

А.М. Польвий, Л.Ю.Божко

БІОЛОГІЧНІ Й ЕКОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ
ПРОДУКТИВНОСТІ АГРОЕКОСИСТЕМ

(Підручник)

Одеса, 2016

ББК
П
УДК 631 : 55

*Друкується за рішенням Вченої ради Одеського державного екологічного університету
(протокол № _____ від _____ 20 р)*

Р е ц е н з е н т и:

В.І. Михайлюк, д. г. н., професор, завідувач кафедри земельного кадастру Одеського державного аграрного університету;

Н.С. Лобода, д.г.н., професор, завідувач кафедри гідроекології і водних досліджень Одеського державного екологічного університету.

Польовий А.М., Божко Л.Ю.,

П 49. Біологічні й екологічні основи формування продуктивності агроєкосистем: підручник. / А.М.Польовий, Л.Ю. Божко, Одеський державний екологічний університет. – Одеса : 2016. – 282 с.

В підручнику представлені всі розділи дисципліни «Біологічні й екологічні основи формування продуктивності агроєкосистем», які охоплюють дослідження біологічних і екологічних основ формування продуктивності агроєкосистем на основі теорії енерго-масообміну в системах « ґрунт – рослина – атмосфера» та «погода – урожай», а також впливу факторів навколишнього середовища на ріст, розвиток і формування продуктивності сільськогосподарських культур з позицій кількісної теорії фотосинтезу.

Підручник призначений для студентів та магістрів, які навчаються за напрямом навчання «Екологія» та «Гідрометеорологія», спеціалістів агрометеорологів та агроєкологів, студентів ВНЗ сільськогосподарського напряму навчання.

This textbook covers all aspects of the subject “Biological and ecological foundations of productivity in agricultural ecosystems,” including an examination of biological and ecological foundations of productivity in agricultural ecosystems on the basis of the theory of energy and mass exchange in systems of the following types: “soil – plant – atmosphere” and “weather – crop.” This textbook also examines the influence of the environmental factors on growth and development of crop productivity from the perspective of quantitative photosynthesis theory.

This textbook is intended for undergraduate and graduate students studying ecology and hydrometeorology, specialists in agricultural meteorology and agricultural ecology, and students of post-secondary institutions with a general agricultural focus.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	5
1. КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО ПРОБЛЕМ УРОЖАЙНОСТІ	7
1.1 Закономірності формування продуктивності рослин.....	7
1.2 Первісні концепції формування урожайності.....	7
1.3 Концепція А.О. Сапегіна.....	11
1.4 Концепція критичних періодів П.І. Броунова.....	12
1.5 Концепція біологічного урожаю О.А. Ничипоровича.....	13
1.6 Концепція програмування урожаю І.С. Шатілова.....	14
1.7 Концепція продукційного процесу.....	16
1.8 Агроекологічна концепція «погода й урожай» УкрНДГМІ.....	22
1.9 Моніторингові концепції.....	27
2. ПОНЯТТЯ ПРО ЕКОСИСТЕМИ ТА АГРОЕКОСИСТЕМИ.....	31
2.1 Поняття про загальну структуру екосистеми.....	31
2.2 Агроекологічні системи	35
3. ТЕОРІЯ ВРОЖАЮ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР.....	43
3.1 Біологічні властивості рослин.....	43
3.2 Фенологічні фази розвитку рослин.....	50
3.3 Етапи органогенезу в онтогенезі вищих рослин.....	53
3.4 Основні положення закону єдності етапів органогенезу.....	58
3.5. Механізм формування властивостей урожаю.....	62
3.5.1 Біологічні типи механізмів формування врожаю.....	62
3.5.2 Формування кінцевого врожаю.....	64
3.5.3 Структура врожаю.....	65
3.6. Мінливість урожаїв.....	67
3.7. Основні показники якості насінневого матеріалу.....	72
4. РОЛЬ ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ У ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ РОСЛИН.....	78
4.1 Уявлення про фактори врожаю.....	78
4.2 Світло як фактор існування рослин	82
4.2.1 Фотосинтетична діяльність рослин	85
4.2.2 Радіаційний режим рослинного покриву.....	92
4.3 Тепло як фактор життєдіяльності рослин.....	97
4.3.1 Температура повітря.....	97
4.3.2 Температура ґрунту	108
4.3.3 Тепловий баланс рослинного покриву.....	112
4.4 Волога як фактор життєдіяльності рослин.....	119
4.5 Мінеральне живлення як фактор існування рослин.....	131
4.5.1 Агрометеорологічні аспекти мінерального живлення рослин.....	131
4.5.2 Ефективність добрив та континентальність клімату.....	140
4.5.3 Агрометеорологічні умови та оптимізація строків і доз живлення.....	142

4.5.4 Засвоєння мінеральних речовин рослинами.....	147
4.6 Вплив несприятливих явищ на урожай.....	149
4.6.1 Вплив посушливих умов на продуктивність рослин.....	151
4.6.2 Вплив заморозків і знижених температур на продуктивність рослин.....	157
4.6.3 Вплив надмірного зволоження на продуктивність рослин.....	160
4.6.4 Вплив несприятливих умов перезимівлі на продуктивність рослин.....	165
4.7 Кліматична складова урожаю	172
4.8 Родючість ґрунтів і урожай.....	174
4.9. Агротехнічні основи рослинництва як фактор формування урожаю.....	176
4.9.1 Сівозміни як важливий біологічний і екологічний фактор... рослинництва.....	176
4.9.2 Система обробітку ґрунту.....	177
4.9.3 Площа живлення та сівба польових культур як фактор формування урожаю.....	178
4.9.4 Біоенергетичні основи рослинництва.....	182
5. ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР.....	186
5.1 Загальна характеристика продукційного процесу.....	186
5.2 Ефективність використання сонячної радіації фітоценозами....	193
5.3 Потенційний і дійсно можливий урожай посівів.....	199
5.4 Рівняння росту і функції розподілу асимілятів.....	203
6. АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІ УМОВИ І ПРОДУКТИВНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР	210
6.1 Зернові культури	210
6.2 Зернобобові культури.....	220
6.3 Прядивні та олійні культури.....	234
6.4 Коренеплоди та бульбоплоди.....	240
6.5 Овочеві та баштанні культури.....	245
6.6 Однорічні і багаторічні сіяні трави.....	255
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	260
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК.....	267
ІМЕННИЙ ПОРКАЖЧИК.....	269
ДОДАТКИ.....	271

ПЕРЕДМОВА

Основою виробництва високих сталих урожаїв сільськогосподарських культур є створення оптимальних агроекологічних і технологічних передумов на базі фотосинтезуючої діяльності посівів, при одночасному збереженні та підвищенні родючості ґрунту.

Врожайність є результатом біологічних та біофізичних процесів, які відбуваються в рослинах та напрям яких залежить від генетичної природи самих рослин і умов навколишнього середовища.

Умови навколишнього середовища – це потужний фактор регулювання росту та розвитку рослин, окремих їх органів, проходження всього вегетаційного процесу.

Межа використання зовнішніх умов залежить від внутрішніх генетичних і біологічних можливостей механізмів, а ступінь реалізації цих можливостей - від комплексу зовнішніх умов.

Продуктивний процес рослин протікає впродовж трьох етапів – ембріонального, репродуктивної зрілості, розмноження. Умови проходження рослиною кожного з цих етапів різною мірою впливають на кількість і якість продукції.

В ювенільний період визначаються лише загальні можливості продуктивного процесу. Реалізація цих можливостей залежить від конкретних умов подальшого періоду росту та розвитку.

В період репродуктивної зрілості відбувається найбільш активне накопичення біомаси і проходять основні етапи органогенезу [46]. Від умов, в яких формується генетична програма, значною мірою залежать контури майбутнього врожаю. Особливе значення для продуктивного процесу мають умови в період формування тих органів, які складають урожай, тобто в критичні періоди щодо основних факторів середовища – світла, тепла, вологи, живлення. Деякі з цих факторів можна регулювати за допомогою агротехнічних заходів.

Як відзначав А.А. Ничипорович [60], формування врожаю – процес не тільки кількісний, але і якісний; в ньому безперервно весь час змінюються процеси живлення, співвідношення між різними їх видами, використання речовин, які утворились в процесі живлення, вплив на ріст та формування органів, спочатку тих, що живлять, а потім тих, що запасують, репродуктивних.

Умови навколишнього середовища, які впливають на рослини, впливають також на напрям процесів і функцій, закладених в генетичних властивостях рослин і взаємопов'язаних між собою

Останнім часом виконані глибокі і детальні дослідження взаємозв'язків, процесів, які відбуваються в рослинах, з умовами їх вирощування, розроблена велика кількість динамічних моделей опису продуктивного процесу [2,4,7,9 - 11,16,17,22,27,35, 59,60,72—78 та ін].

Запропоновано багато різних методів визначення залежності врожаю від факторів навколишнього середовища [19, 20,32,38,50,58,65,67,86,88-123 та ін.]. На основі досліджень наукової спільноти світу, Українського гідрометеорологічного центру, Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту, регіональних гідрометеорологічних центрів та науково-дослідних гідрометеорологічних інститутів на теренах СНГ, були розроблені кількісні методи, які дозволяють давати оцінку впливу агрометеорологічних умов на продуктивність рослин в різні періоди їх розвитку [90,92-95,111,114- 123та ін.].

Технічний прогрес і загальне вдосконалення культури землеробства дозволяють повніше використовувати у сільськогосподарському виробництві сприятливі метеорологічні умови та переборювати несприятливі. Із зростанням культури землеробства значення досліджень впливу агрометеорологічних умов на продуктивність сільськогосподарських культур зростає. Ці дослідження використовуються при розробці заходів, що забезпечують підвищення ефективності боротьби з несприятливими умовами погоди.

Вивченню численних закономірностей впливу навколишнього середовища на ріст і формування продуктивності рослин і присвячено цей підручник.

Підручник створено на матеріалах великої кількості публікацій, в яких містяться результати розробки різних методів дослідження формування продуктивності агроєкосистем та впливу агрометеорологічних умов на продуктивність рослин в різних природно - кліматичних зонах. У підручнику наводиться бібліографічний список, на основі якого і було його складено.

Автори висловлюють глибоку подяку інженеру Друмову Д.В, доценту О.А. Барсуковій за допомогу у технічній обробці матеріалів для рукопису, а також О.Д. Соколенко за допомогу в редагуванні та доброзичливе ставлення.

1. КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО ПРОБЛЕМИ УРОЖАЙНОСТІ

1.1 Закономірності формування врожаїв

Одним із основних показників у рослинництві є продуктивність. У кожної культури продуктивність має свої складові. Так у пшениці вона складається із кількості продуктивних стебел, середньої кількості зерен в колосі, маси 1000 зерен і т. ін.

Між компонентами врожаю існують генетичні кореляції і добір за компонентами є добром на саму врожайність. В цілому врожайність складається із чотирьох компонентів А, Б, В, Г. Із них А, В, і Г – первинні, Б – похідна від В і Г. Первинні компоненти врожайності мають три виміри – довжину, ширину і висоту, тобто розміри прямокутного паралелепіпеда, об'єм якого відповідає врожаю зерна. Якщо один із компонентів збільшується, збільшується врожай. Для збільшення компонентів необхідний надійний добір на врожайність. Критерієм добору є **індекс добору або індекс врожайності**. Збільшення індексу добору – це головна задача селекціонерів. Одним із засобів збільшення індексу добору є підвищення фотосинтетичної активності рослин і посилення генетичної продуктивності. Крім того, важливе значення має подовження вегетаційного періоду та зміна структури листків і стебел.

Таким чином бачимо, що врожайність сільськогосподарських культур формують багато факторів: біологічні властивості рослин, сукупність технологічних заходів вирощування рослин, особливості ґрунтового покриву, погодні умови і клімат, соціальна значущість продукції, її економічне значення. Теорія формування врожаю містить питання механізму його формування, факторів всебічного впливу та засобів управління. Механізм формування врожаю враховує структуру і зміст онтогенезу, особливості росту і розвитку рослин.

Аналіз підходів до формування проблеми урожаю дозволив виокремити декілька концепцій, в основу яких покладено засади структурності врожаю [22]. Найбільшим загальним науковим принципом поділу на концепції є їх розгляд за емпіричними, евристичними та теоретичними підходами обґрунтування і розв'язання проблеми урожаю. Крім того, при визначенні концепцій використовувались теоретичні засади математизації одержаних результатів за ступенем застосування підходів, теорій і засобів математичного моделювання.

1.2. Первісні концепції впливу факторів на врожай

Це концепції, в яких надаються первісні уявлення про фактори врожаю і його потенціал без визначення механізмів формування В цих

концепціях ознаки системності зосереджувались на значенні зовнішніх факторів. Первісні концепції впливу факторів на врожай опирались на емпіричні закони росту Ю.Лібиха, Ф.Ф. Блекмана, Е.А. Мітчерліха, Б.Бауле, Е. Богуславського, А. Фоїзіна, Т.Б.Робертсона, І. Гекслі. Первісні концепції формування врожаю ґрунтові засновані на уявленні про переважне значення його факторів, насамперед ґрунтового покриву і мінерального живлення. Дослідження впливу окремих факторів на врожай, які дозволили визначити закони формування врожаю, врахування всіх факторів, що зумовлюють географію розподілу агроєкосистем, засновуються на основних біологічних і екологічних законах. На разі сформульовано 14 законів.

1. Закон нерівноцінності факторів середовища для рослин. Основою закону є положення про те, що не всі фактори середовища однаково впливають на рослини. За дією на рослини фактори поділяються на основні та другорядні. *Основні:* світло, тепло, волога, повітря та живильні речовини, які безпосередньо впливають на ріст, розвиток і формування продуктивності впродовж всього життєвого циклу рослини. *Другорядні:* вітер, хмарність, орієнтація та крутизна схилів і ін. Вони лише корегують дію основних факторів на локальних територіях.

2. Закон рівнозначності (незамінності) основних факторів життя. Полягає в тому, що роль основних факторів життя рівнозначна, оскільки ні один із факторів не може бути повністю виключеним або заміненним на інший. Сукупна дія цих факторів на рослини забезпечує їхній стан, інтенсивність росту, розвитку та формування продуктивності.

3. Закон критичних періодів у житті рослин. Цей закон сформував проф. П.І. Броунов, який стверджував: „ В отдельные периоды жизни растения особо чувствительны к определенным количественным значениям основных факторов среды – к уровню температуры, количеству влаги в почве, освещенности и др.” В житті рослин - це часовий проміжок біологічного циклу (вегетаційного періоду), впродовж якого рослинам притаманна максимальна чутливість до певних кількісних значень основних факторів середовища.

4. Закон мінімуму (або закон лімітуючого фактора). Цей закон ще називають іменем його автора – німецького хіміка Ю.Лібиха (1840). Основою цього закону є положення про те, що навіть єдиний фактор за межами свого оптимуму спричиняє стресовий стан живого організму, а в екстремальних величинах – призводить до його загибелі.

5. Закон максимуму. Цей закон полягає в тому, що кількісне збільшення параметрів екологічних умов не може збільшити біологічну продуктивність живого організму або виробничу потужність агроценозу чи екосистеми понад речовинно-енергетичних лімітів, які визначаються спадковими властивостями біологічних об'єктів та їх спільноти.

6. Закон толерантності. Закон сформулював американський зоолог В. Шелфорд (1913р.), який встановив, що існування виду визначається одночасно і надлишком, і нестачею будь-якого фактора, значення якого близьке до межі витривалості. Таким чином організми характеризуються *екологічним максимумом і екологічним мінімумом*, на які однаково реагують. Витривалість організмів до дії факторів між крайніми значеннями екологічних факторів називається *межею толерантності*.

7. Закон оптимуму (або закон сукупної дії всіх факторів) засновується на тому, що максимальна продуктивність рослин формується тільки при оптимальному кількісному поєднанні основних і другорядних факторів життя рослин в критичні періоди в умовах оптимального використання агротехніки вирощування сільськогосподарських культур.

8. Закон послідовного проходження фаз розвитку. Фази розвитку рослин можуть наставати лише в еволюційно закріпленому порядку, загалом від відносно простої побудови до складної. Ні головні ні проміжні фази не випадають із процесу розвитку організму і тільки в окремих випадках під дією стресових ситуацій можливе прискорене їх проходження.

9. Закон фотоперіодичної реакції полягає в тому, що рослини реагують на тривалість дня і ночі, прискорюючи чи уповільнюючи розвиток при зміні світлої пори доби (Шульгін А.М., 1978).

10. Закон плодозміни полягає в тому, що чергування сільськогосподарських культур в часі і просторі (сівозміна) за рівних інших обставин забезпечує одержання більш високих урожаїв в порівнянні з багаторічною сівбою однієї і тієї ж культури на одному і тому ж полі.

11. Закон зменшення родючості. В умовах багаторічних посівів монокультури внаслідок витрати питомих речовин із ґрунту при формування врожаю, а також при винесенні живильних речовин під час сильних і тривалих дощів в глибокі горизонти або у водоймища на землях відбуваються процеси ґрунтоутворення та зменшення природної родючості ґрунтів. Цей закон може нейтралізуватися накопиченням біомаси підземної частини культурних рослин або внесенням добрив.

12. Закон сукупності або закон сумісної дії природних факторів полягає в тому, що врожай залежить не від окремих факторів, а від сумісної дії факторів одночасно. Внесок кожного фактора в сукупній дії різний і може визначатись кількісно. Цей закон ще носить назву «закон Е.Мітчерліха – А.Тинемана – Б.Бауле».

13. Закон періодичної географічної зональності полягає в тому, що інтенсивність і характер усіх форм обміну енергією і речовиною між основними процесами і компонентами географічного середовища визначаються тепловим і водним балансом земної поверхні у природному географічному середовищі.

14. Закони Фур'є (розподіл тепла в ґрунті). Стосовно розподілу тепла в ґрунті Фур'є сформулював чотири закони.

Перший – чим більша щільність і вологість ґрунту, тим краще вона проводить тепло, тим скоріше розповсюджується в глибину і тим глибше проникає коливання температури. Незалежно від типу ґрунту період коливань не зменшується з глибиною.

Другий – збільшення глибини ґрунту в арифметичній прогресії спричиняє зменшення амплітуди її температури в прогресії геометричній.

Третій – терміни настання максимальних і мінімальних температур в добовому і річному ході запізняються із збільшенням глибини ґрунту пропорційно глибині

Всі фактори навколишнього середовища діють на живий організм одночасно та сумісно. І при цьому дія одного фактора значною мірою залежить від кількісного виразу інших факторів.

Але серед цієї необмеженості відзначаються найбільш суттєві фактори:

- *мікрометеорологічні*: освітлення, температура та вологість приземного шару повітря, вміст в ньому CO₂ та O₂;
- *ґрунтові*: температура, вологість, аерація ґрунту, фізико-механічні властивості, вміст гумусу, хімічний склад, окисно-відновні процеси;
- *біотичні*: густина популяції, фізіологічні та інші характеристики.

У комплексній дії середовища значення окремих факторів у житті рослин неозначене. Відзначають фактори головні і другорядні. У різних рослин, та навіть для однієї і тієї ж рослини, вимоги до факторів навколишнього середовища змінюються впродовж вегетаційного періоду.

Загальні властивості наведених законів полягають у тому, що в концепції впливу окремих факторів на урожай відображені провідні чинники впливу у вигляді

$$dy/dx = f(F - x), \quad (1.1)$$

де y – регульований фактором урожай, що досягає максимального значення F ;

f – коефіцієнт пропорційності.

Концепція первісних законів росту визначала закономірності динаміки маси організму чи окремих його органів. Загальний вигляд положень концепції в диференціальній формі виглядає як

$$dm/dt = f(m, d, M, t), \quad (1.2)$$

де m – маса або розмір організму;

d - параметр частки організму;

M - максимальна маса або розмір організму;

t - час.

Принципи первісних концепцій вміщують положення про закономірності динаміки маси організму в цілому або окремих органів від початкового до максимального значень.

1.3 Концепція А.О. Сапегіна

Концепція, яка опирається на врахування головних компонентів формування врожаю і започаткована як визначення механізмів урожаю його кінцевим значенням. Концепція запропонована А.О.Сапегіним і ґрунтується на поєднанні експериментальних засобів вегетаційного методу з теорією диференційованих обчислень. За цією концепцією вперше визначено рівнозначний внесок густоти посіву та маси рослин, а також принципи їх взаємодії у формуванні врожаю.

Концепція ґрунтується на таких принципах:

- закон урожаю - урожай із площі складається з урожаїв окремих рослин, які виростили на цій площі [84];
- уточнення закону врожаю на основі закону мінімуму

$$u = nV_o k^{n1-a/1-a}, \quad (1.3)$$

де V_o – біологічний потенціал урожаю однієї рослини;

n – кількість поживної речовини;

k – коефіцієнт пригнічення рослин факторами;

a – показник засвоєння та доступності елементів споживання залежно від зовнішніх умов;

- оптимальна густота посіву одного і того ж виду і сорту не постійна, змінюється зі змінами умов вирощування; ; співвідношення між ростом окремих рослин та ростом маси асоціації рослин на одиниці площі визначається насиченням простору особини лише за оптимальної густоти . Це поняття введено за дослідженнями В.М. Любименко [85];
- визначені зв'язки між кількістю рослин на одиницю площі, кількістю колосоносних стебел та урожаєм зерна (Н.П.Низеньков);
- існує онтогенетична закономірність між динамікою різних органів рослин та урожаєм (Ф.Ф.Мацков);
- поєднання особливостей формування маси рослин із метеорологічними умовами (Ф.Ф.Мацков).

Принципові положення концепції головних компонентів формування врожаю мають вираз

$$Y = y(p, m, V, V_o, a, k, t), \quad (1.4)$$

де y - урожайність рослини на певній площі;
 p - густота стояння рослин;
 m - маса окремих органів;
 V - середній урожай однієї рослини;
 V_o - біологічний потенціал урожаю однієї рослини;
 a - показник доступності і засвоєння поживних речовин;
 k - коефіцієнт пригнічення рослин факторами;
 t - час.

Загалом концепція головних компонентів формування врожаю А.О.Сапегіна – Ф.Ф.Мацкова добре науково обґрунтована .

1.4 Концепція критичних періодів П.І. Броунова.

Концепція, яка заснована на уявленнях П.І. Броунова про несприятливий вплив різних факторів навколишнього середовища впродовж критичних періодів на формування врожаю. Вихідне положення теорії критичних періодів П.І. Броунова ґрунтується на засобах поєднання агрометеорологічних спостережень за станом рослин і показників стану атмосфери і підстильної поверхні. Головною тезою цієї концепції є те, що урожайність визначається мінімальним значенням провідного фактора у критичний період, що призводить до його зменшення. Зміст концепції критичних періодів П.І. Броунова має такі положення

- особливі та критичні періоди виникають за підвищеної потреби рослини до певного фактора або за його шкідливістю;
- критичні періоди для різних рослин різні за змістом і значенням факторів, за часом їх настання;
- вивчення критичних періодів потребує поділу вегетаційного періоду рослини на частини (міжфазні періоди);
- критичні періоди за ознаками локальності та епізодичності можуть відображати процеси пристосування польових культур до клімату.

Загальний вигляд концепції П.І. Броунова

$$Y_p = f(\sum t_i, t_{кр}, x_{i,кр}, z, y_{кр}), \quad (1.5)$$

де Y_p – розрахований рівень урожайності;
 t_i - сукупність періодів вегетаційного циклу;
 $t_{кр}$ - критичний період;
 $x_{i,кр}$ - визначальні фактори критичного періоду;
 z – ознаки стану рослин, які формують визначений рівень урожайності ;
 $y_{кр}$ – визначений рівень урожайності;

f – коефіцієнт пропорційності.

На відміну від попередніх концепцій теорія критичних періодів збагатила методологію дослідження врожаю принципами відбору факторів та відбору узагальнених періодів онтогенезу.

Пізніше концепцію критичних періодів П.І. Броунова підтвердив своїми дослідженнями В.М. Обухов. Не зважаючи на значну позитивну перевагу цієї концепції, в ній теоретично та формально не вказується на значення механізму формування врожаю.

1.5. Концепція біологічного врожаю О.А. Ничипоровича.

Концепція біологічного врожаю О.А. Ничипоровича засновується на механізмі формування потенціалу врожаю за поглинанням сонячної радіації. Зміст концепції О.А. Ничипоровича опирається на деякі основоположні принципи:

Біологічний урожай (Y_{δ}) – це прирости сухої маси рослин (m)_c на 1 га посіву за кожен добу протягом вегетаційного періоду (τ) із урахуванням добових приростів (C)

$$Y_{\delta} = C \sum_{i=1}^{\tau} m_{c,i} \quad , \quad (1.6)$$

За твердженнями О.А. Ничипоровича добовий приріст сухої маси збігається з чистою продуктивністю фотосинтезу. Сумарний приріст сухої біомаси відповідає динаміці площі листя.

Для аналізу приросту біомаси використовується *чиста продуктивність фотосинтезу* посівів, яка визначається як

$$\Phi_{\text{ч.пр}} = m_2 - m_1 / 0,5 (S_2 - S_1)t \quad , \quad (1.7)$$

де m_2 , m_1 - біомаса в кінці та на початку періоду ;

S - фіксує часові ознаки періоду;

t – період.

Неоднорідність надходження сонячної радіації та добового значення кількості вуглекислого газу Φ_{CO_2} зумовлює необхідність визначення ефективності фотосинтезу через його коефіцієнт $K_{\text{еф}}$, який є відношенням добової кількості Φ_{CO_2} до добових приростів біомаси m_c у сухому вигляді

$$K_{\text{еф}} = \Phi_{CO_2} / m_c \quad (1.8)$$

Обсяг добових приростів біомаси C визначається за формулою

$$C = \Phi_{CO_2} \cdot K_{\text{еф}} \cdot L_o / 10000 \quad . \quad (1.9)$$

де L_o - площа синтезуючої поверхні.

За сукупністю наведених положень про чисту продуктивність фотосинтезу, його ефективність, добові прирости біомаси біологічний урожай визначається за формулою

$$Y_{\delta} = \sum(\Phi_{CO_2} \cdot K_{ef} \cdot L_o) / 10000. \quad (1.10)$$

Концепція біологічного врожаю О.А. Ничипоровича [61] пов'язала фотосинтетичну діяльність з біологічним та максимальним урожаєм в польових умовах. Але загальна біомаса рослин не завжди становить господарський врожай. Тому О.А. Ничипорович увів поняття *господарського врожаю* (K_2) як частини біологічного

$$K_2 = m_2 / m_{\delta}, \quad (1.11)$$

де m_2 - маса господарсько значущої частини врожаю;
 m_{δ} - загальна біомаса рослин.

Із врахуванням K_2 господарський урожай визначається за формулою

$$Y_2 = Y_{\delta} \times K_2. \quad (1.12)$$

Ця концепція істотно наблизила уявлення про динамічність процесів формування врожаю із періодизацією онтогенезу, визначила наявність потенціалу рослин в онтогенезі та біологічного врожаю у зв'язку із фотосинтетичною діяльністю.

Недоліком концепції біологічного врожаю О.А. Ничипоровича є те, що вона не відображує механізм формування врожаю в онтогенезі за взаємодією маси рослин і густоти посіву.

1.6 Концепція програмування врожаю І.С. Шатілова.

Концепція програмування врожаю І.С. Шатілова основана на уявленнях про значення і вплив окремих факторів та поєднанням із технічними засобами їх регулювання [97]. Концепція описується складною символічною функцією

$$Y = f(\Phi, E, A, G), \quad (1.13)$$

де Y – урожайність; Φ – фізіологічні фактори;
 E – екологічні фактори;

A – агротехнічні фактори;

Γ – економічні фактори.

Концепція ґрунтується на таких принципах:

1 - урахування гідротермічного показника Π за сукупністю теплового фактора T і фактора зволоження W , які визначають обсяги і якість урожаю

$$Y = \Pi (T, W) ; \quad (1.14)$$

2 - визначення урожайності за коефіцієнтом використання фотосинтетично активної радіації

$$Y = f_1(\Phi AP); \quad (1.15)$$

3 - визначення потенційних можливостей використання польовою культурою (Y_m) місцевих погодних умов із урахуванням даних сортоділень (Y_c) та наукових установ (Y_y)

$$Y_m = f_2 (Y_c, Y_y) ; \quad (1.16)$$

4 - формування відповідного фотосинтетичного потенціалу ($\Phi\Pi$) на полі за чистою продуктивністю фотосинтезу ($\text{ЧП}\Phi$)

$$\Phi\Pi = f_3 (\text{ЧП}\Phi);. \quad (1.17)$$

5 - правильне застосування основних законів землеробства і рослинництва при визначенні урожайності (Y) із врахуванням критичних періодів ($t_{кр}$) стосовно вимог рослин до вологості ($W_{кр}(t)$) та елементів мінерального живлення ($NPK_{кр}(t)$)

$$Y = f_4[t_{кр}, W_{кр}(t), NPK_{кр}(t)]; \quad (1.18)$$

6 - розробка системи внесення добрив NPK з урахуванням ефективної родючості ґрунту F_e та потреби рослин у поживних елементах $N_oP_oK_o$, яка забезпечує одержання запланованого урожаю Y високої якості

$$Y = f_5[F_e, (N_oP_oK_o)] ; \quad (1.19)$$

7 - розробка комплексу агротехнічних заходів за потребами культури стосовно обробітку ґрунту (OG), глибини оранки, термінів і способів сівби (C)

$$Y = f_6 (OG, C) ; \quad (1.20)$$

8 - у зрошуваному землеробстві забезпечити рослини вологою (W) в оптимальних обсягах (W_o), а на суходолі – за поточними умовами

$$Y = f_7 (W : W_o); \quad (1.21)$$

9 –запобігти негативному впливу шкідників і хвороб (n) на ріст (m), розвиток (n) та врожайність сільськогосподарських культур (Y)

$$Y = f_8[(m, n, y_i)-n(t)] , \quad (1.22)$$

10 - визначити експериментальні дані автоматизованих технологій і математичного апарату для оптимізації сукупності заходів програмування врожаю [98].

Узагальнений підсумок цієї концепції визначався як метод оптимального програмування урожаю.

Загальні методологічні недоліки концепції оптимального програмування урожаю полягають у несистемному підході до її змісту, ігноруванні положень формування понятійного апарату, відсутності уявлень про механізм формування врожаю та його динамічні властивості.

1.7 Концепція продукційного процесу

Продукційний процес рослин за [7] - одна з центральних проблем Міжнародної біологічної програми (МБП), яка базується на низці положень, що визначають властивості рослин і зміст процесів формування їхньої маси.

Зелені рослини при поглинанні сонячної енергії, використання у процесі фотосинтезу вуглекислого газу CO_2 , води та елементів мінерального живлення створюють високоенергетичні органічні речовини. Із них у наступних процесах росту та розвитку утворюються окремі органи, їх маса та вся рослина. Частина продуктів фотосинтезу витрачається на процеси дихання, підтримання життєдіяльності рослин і на будову нових органів.

Апарат продукційного процесу та його працеспроможність визначаються видовими та сортовими властивостями рослин [76,78]. Залежно від їх габітусу, зовнішніх розмірів, порядку розташування та черговості появи, тривалості дії, а також накопиченої рослинної маси та інших морфологічних і фізіологічних характеристик і процесів формується відповідний вегетативний чи репродуктивний тип продукційного процесу. За визначеними характеристиками періодизації онтогенезу він вміщує комплекс процесів енергообміну та масообміну між рослинним покривом і навколишнім середовищем - ґрунтом і атмосферою як однією із цілісних екосистем. Взаємодія між фітоценозом і зовнішнім середовищем здійснюється фізіологічними процесами фотосинтезу, дихання,

транспірації і випаровування, всмоктування з ґрунту та пересування поживних і органічних речовин у рослинах. Врешті - решт увесь цей комплекс процесів взаємодії рослин із середовищем відображається зовнішніми ознаками рослин - їх ростом, збільшенням розмірів і маси окремих органів і сукупної маси, розвитком і появою нових органів чи втратою органами попередніх функцій або їх відмиранням.

Способи оцінки якості результатів досліджень становлять перевірку за методами числових та натурних експериментів.

Оснoву концепції продукційного процесу становить ідея про взаємини фотосинтезу і дихання рослин, вперше висловлена Л.А.Івановим [27] у 1941 р. Надалі концепцію розвинули М.Монсі та І.Саєкі [118] а також значне коло інших дослідників. За своїм основоположним змістом концепція продукційного процесу пояснює механізм формування рослинної маси. На початковому етапі вона відображається моделлю балансу динаміки фітомаси

$$dm/dt = \phi(m) - R(m), \quad (1.23)$$

де m - маса рослин;

$\phi(m)$ - сумарний фотосинтез;

$R(m)$ - сумарне дихання.

Надалі Галямін Е.П.[16], за виразом (1.23), відображав внесок надземної та загальної фітомаси агроценозу, структурні особливості фотосинтезу і дихання, біологічний потенціал цих процесів і його вплив на максимальні значення добових приростів фітомаси та на максимальну тривалість росту агроценозу.

Наступними за основними положеннями концепції продукційного процесу слід вважати проблеми дослідження фізіологічних процесів, їх внесок у ріст рослин, оснoви розвитку рослин і формування урожаю. Але головними питаннями розв'язання проблеми формування урожаю у системі «погода-урожай» і у будь-якій іншій концепції ми вважаємо проблематику агроєкосистеми та процесів енерго- і масообміну між її компонентами. В проблемі дослідження внеску фізіологічних процесів у формування урожаю, крім фотосинтезу та дихання, теоретично та експериментально опрацьовані механізми транспірації і продуктивності рослин при водному дефіциті [7], волого- і газообміні рослин при зменшенні вологості ґрунту, розподілу асимілятів [75].

Значна увага у концепції продукційного процесу приділена механізму росту рослин. До опрацювання цієї частини проблеми урожаю долучені дослідження Дж.Г.М.Торнлі [95] щодо розгляду біологічної системи рівнянь росту, динамічних моделей росту та приросту біомаси [16] та ін.

Слід зазначити, що проблематика розвитку рослин як головної складової онтогенезу в концепції продукційного процесу не набула провідного значення, хоч у низці досліджень [16] цьому питанню приділена належна увага.

Розгляд основних принципів і положень концепції продукційного процесу дозволяє висловити думку про те, що її зміст в основному спрямований на дослідження та розкриття і пояснення механізмів фізіологічних процесів у рослинах, які врешті-решт ведуть до утворення урожаю. Але зміст і вплив механізмів на його формування не висвітлено. Тобто між фізіологічними процесами, їх наслідками та кінцевою продукцією утворилась логічна, фізіологічна, морфологічна та екологічна прогалина. Її частковому заповненню у концепції продукційного процесу присвячені праці О.Д.Сиротенка [86], З.Н Біхеле, Х.А.Молдау, Ю.К.Росса [7,83], А.М.Польового [73,74] та ін.

О.Д.Сиротенко [86] висловив думку щодо необхідності побудови моделі агроєкосистеми, визначив зміст її структури враховуючи і вплив погоди на режим фітоценозу, та запропонував екологічну систему рівнянь енерго- і масообміну між рослинами та середовищем.

У роботі [7] вперше наведено результати опрацювання взаємозв'язків між рослинним покривом, атмосферою та ґрунтом у процесах енерго і масообміну, а також між листком і повітрям.

Змістові і моделюванню загальних властивостей та окремих складових продукційного процесу присвячено значний обсяг світової літератури, починаючи від визначення його ідеї за дослідженнями Л.А.Іванова [27], її розвитком М.Монсі та І.Саєкі [118] і наступним поглибленням та деталізацією наукових положень у багатьох роботах. Серед них варто зазначити дослідження Ю.К.Росса зі співавторами [7,83], О.Д.Сиротенко [86], А.М.Польового [73], Є.П.Галяміна [16] та багатьох інших. Існує значна кількість визначень характеристик та ознак продукційного процесу. Найбільш змістовним, на наш погляд, є формулювання, запропоноване Де Фрізом [57].

Продукційний процес сільськогосподарської культури є системою з інтенсивною взаємодією асиміляції вуглекислого газу, росту, дихання, підтримки та розвитку. Швидкість їх фізіологічних процесів істотно залежить від умов погоди, але ріст рослин не справляє активного впливу на неї.

Таким чином, за визначенням Де Фріза, яке в явному чи прихованому вигляді увійшло до змісту переважної більшості досліджень цієї проблеми, склад продукційного процесу вміщує низку фізіологічних процесів утворення органічних речовин. До них, крім основних процесів фотосинтезу та дихання, належить сукупність фізіологічно поєднаних процесів. До їх переліку входять процеси газообміну в середовищі рослини, між рослинами та з навколишнім середовищем, процеси

водообміну за тими самими засадами. Крім того, провідними називають процеси регулювання термічного режиму рослин, перенесення поживних речовин, всмоктування елементів живлення та ін. Інтенсивність і обсяги всіх перелічених та інших фізіологічних складових продукційного процесу, разом із регулюючим значенням спадкового коду, істотно залежать від умов зовнішнього середовища. Ці обставини з урахуванням взаємин між фізіологічними процесами рослин та взаємодією останніх із середовищем висвітлено у висновках певних досліджень. Так, взаємодія між сукупністю фізіологічних процесів у формуванні маси рослин відображена ростовими функціями [7], взаємодія рослин із навколишнім середовищем на засадах екосистемного підходу відображена архітектонікою рослинного покриву тощо [73].

Перелік наведених положень свідчить про глибоке проникнення ідеї щодо змісту продукційного процесу та поєднання його складових у формуванні продукції рослин за сукупністю провідних процесів.

Разом із тим концепція продукційного процесу, надаючи наукові підстави стосовно розуміння значення внеску окремих і всього комплексу фізіологічних процесів у формування продукції рослин, за своїм змістом не охоплює проблеми формування урожаю. У цьому питанні існує низка недоліків. Відсутні уявлення про механізми формування урожаю залежно від густоти посіву. Відсутні певні сумісні ознаки залежності всіх відокремлених фізіологічних процесів від метеорологічних умов зовнішнього середовища у вигляді атмосферних опадів, підстильної поверхні. Неповним є уявлення про значущість онтогенезу за особливостями періодизації розвитку рослин та його значення у різних механізмах продукційного процесу і їх ролі в формуванні врожаю тощо.

Завдяки потребі відобразити сумісне значення сукупності як головних, так і окремих фізіологічних процесів у методології продукційного процесу, узагальнені величини та рівні продуктивності рослинної системи за механістичними функціями росту та зміст ростових функцій, які мають вирішальне значення у продукційному процесі. Формалізовані емпіричні функції росту поділяються на первісні закони росту Т.Б.Робертсона, Ф.Ф.Блекмана, Е.А.Мітчерліха, І.К.Гекслі та емпіричні криві росту.

Загальною особливістю емпіричних кривих, як і попередніх, є формальне математичне відображення графічного вигляду функції росту, яка практично не несе інформації щодо змісту та фізіологічних властивостей процесів формування рослинної маси. Усі розглянуті ростові функції не враховують онтогенетичних особливостей динаміки рослинної маси та відокремлені від механізму формування урожаю. Тому їх значення має формальний характер. Хоча властивості наведених моделей дозволяють позначити їх внесок та розширення механістичних уявлень у ростовий процес.

Як зазначає Ю.К.Росс [83], недоліком емпіричних кривих росту є їх формальний характер. Рівняння росту пропонується у вигляді

$$dm_p/dt = \varepsilon(\Phi_p - R_p) = \varepsilon P_p \quad (1.24)$$

де dm_p - фітомаса рослин у момент τ ;

ε - перехідний коефіцієнт від засвоєного вуглекислого газу CO_2 до сухої фітомаси у г сухої речовини $(г CO_2)^{-1}$.

Опис розподілу асимілятів і росту в сучасних математичних моделях продукційного процесу здійснюється за підходом Ю.К.Росса [83] та Є.П.Галяміна [16]. Підхід Ю.К.Росса визначає опис росту окремих органів рослин за допомогою системи рівнянь росту:

$$dm_j/dt = \varepsilon \sum_{i=1}^4 A_{i,j} \Phi_i - \varepsilon R_j - V_j + m_p \sum_{i=1}^4 B_{i,j}, \quad (1.25)$$

де i та j відзначають органи рослин; $m_p = m_a P$, відповідно сумарний фотосинтез та дихання j -го органа (у $г CO_2 \cdot \text{добу}^{-1} \cdot \text{росл}^{-1}$);

V_j - витрати сухої фітомаси j -го органа за її опаданням (у $г$ за $\text{добу}^{-1} \cdot \text{росл}^{-1}$);

$A_{i,j}$ — частка створених за добу в i -му органі рослин «свіжих» асимілятів, що відтекли протягом доби в j -й орган;

$B_{i,j}$ — обмін «старими» асимілятами між i -м і j -м органами, віднесений до 1 г сухої фітомаси цієї рослини.

У виразі (1.25) символи $A_{i,j}$ та $B_{i,j}$ визначаються як ростові матриці.

У період вегетативного росту $B_i \approx 0$, тоді модель (1.25) визначається у такий спосіб:

$$dm_j/dt = A_i dm_p/dt \text{ або } A_i = dm_j/dm_p. \quad (1.26)$$

Під час репродукційного росту функції притоку-відтоку асимілятів B_j ; описуються виразом

$$dm_j/dt = A_i dm_p/dt + m_p B_j \quad (1.27)$$

Зіставляючи вирази (1.25) та (1.27), визначаємо зміст функцій частки створених за добу асимілятів A_p . За фізіологічним змістом ростові функції A_i та B_i окремих органів із їх зміною у часі встановлюють внутрішні закономірності росту цих органів. Певною мірою вони залежать від факторів зовнішнього середовища, що у наведених виразах не показано, однак, виявлено у наведеній далі моделі «погода—урожай» УкрНДГМІ [22].

За підходом Є.П.Галяміна [16], ростові функції описуються не за шкалою фізичного часу, як наведено у (1.24)-(1.27), а за відліком біо-

логічного часу - періодами настання та тривалості міжфазних періодів, що є біологічною основою моделі «погода-урожай» УкрНДГМІ [22]. Біологічний час ідентифікується за сумою ефективних або активних температур у виразі

$$n = A / T - T_o \quad (1.28)$$

де n — тривалість відповідного міжфазного періоду,

A — сума ефективних або активних температур, при досягненні якої за інших сприятливих умов освітлення та вологозабезпечення утворюються нові органи;

T, T_o — поточна та порогова температури у вигляді біологічного чи екологічного мінімуму.

За цим підходом біологічний час τ_B у відносних одиницях встановлюється за співвідношенням

$$\tau_B = 1 / \sum (T - T_o) \quad (1.29)$$

Коли $\tau_B > 1$, то розвиток органа рослини у досліджуваній період завершено.

Загалом математичні моделі продукційного процесу вміщують п'ять субмоделей, які розподіляються на блоки. Метеорологічною субмоделлю описують блоки архітекtonіки наземної частини рослин, впливу радіаційного режиму на ріст рослин, турбулентності у рослинному покриві, водно-теплого режиму та режиму вуглекислого газу. Ґрунтова субмодель вміщує блоки архітекtonіки кореневої системи, теплового режиму ґрунту, водного режиму ґрунту та режиму елементів мінерального живлення. Субмодель фотосинтезу охоплює блоки продишової регуляції, теплового балансу листка, транспірації, фотосинтезу та дихання. Субмодель росту описує блоки фонду вуглеводів, фонду мінеральних речовин, росту органів рослин, онтогенезу та регуляції росту.

Ю.К.Росс зі співавторами [7] визначили ступінь завершеності та інші якісні ознаки моделей продукційного процесу, які систематизовані за етапами розробки та блоковим змістом субмоделей. Загальний висновок визначає, що за концепцією продукційного процесу істотно розширилися теоретичні знання числових та комплексних експериментів і як їх практичне застосування очікується у майбутньому.

Поеднанню положень продукційного процесу з певними уявленнями про агроєкосистему присвячена робота [61], в якій на засадах енергообміну і масообміну між структурними ознаками рослин та фізичними властивостями атмосфери і ґрунту досліджені і змодельовані процеси їх взаємодії та внеску в формування продуктивності посівів. Здійснено моделювання процесу поглинання води кореневою системою, водного

обміну і формування біомаси рослинного покриву. Розглянуті питання моделювання сумісного енерго- і масопереносу в системі «грунт-рослина-приземний шар атмосфери» у вертикальному профілі за умов горизонтальної однорідності посіву. Виконані дослідження та моделювання фотосинтетичної діяльності посівів, а також процесів метаболізму і росту рослин.

Результати проведених авторами [57] досліджень на основі розглянутої комплексної моделі продукційного процесу подано як основу для розробки спрощених прикладних моделей продуктивності посівів польових культур. Останні відрізняються від моделей продукційного процесу за складом вміщених у модель блоків та ступенем деталізації опису кожного з блоків. Загальна риса прикладних моделей полягає у більш узагальнених агрегованих і генералізованих просторово-часових ознаках.

Концепція продукційного процесу за своїм змістом охоплює принципи та механізми внутрішньої взаємодії фізіологічних процесів рослин у фітоценозі на засадах енерго та масообміну в системі «рослина-грунт-атмосфера» у ході формування продуктивності під час фотосинтезу, дихання, транспірації, живлення, утворення і пересування органічних речовин тощо задля росту і розвитку.

Мета концепції - пізнання та пояснення механізмів фізіологічних процесів у формуванні продуктивності для створення теорії урожаю і визначення й обґрунтування прикладних завдань застосування.

Методи дослідження - лабораторні, вегетаційні, натурні експерименти за принципами польового досліду та спряжених спостережень, числові експерименти, а також математичне моделювання із формування імітаційних моделей.

Засоби оцінки якості результатів досліджень становлять перевірку за методами числових експериментів та натурних експериментів.

Слід зазначити, що проблематика розвитку рослин, як головної складової онтогенезу, у концепції продукційного процесу не набула провідного значення. Розвитку концепції присвячені роботи З.Н. Біхеле, Х.А. Молдау, Ю.К. Росса, О.Д. Сиротенка, А.М. Польового, Є.П. Галяміна, В.С. Антоненка та ін. З доробками за дослідженнями вказаних авторів ця концепція продукційного процесу існує і понині і має досить значне поширення. На основі цієї концепції розроблені моделі формування урожайності та її прогнозування [2, 22, 73, 85].

1.8. Агроєкосистемна концепція «погода і урожай» УкрНДГМІ

Агроєкосистемна концепція «погода і урожай», розроблена в УкрНДГМІ, охоплює головні компоненти урожаю, їх визначення і врахування їх динамічних можливостей відобразити сукупність механізмів

формування врожаю [21,22,39]. Загалом агроекосистемна концепція «погода – урожай» заснована на сукупності принципів, які охоплюють:

- принцип структурності та головних властивостей агро екосистеми;
- принцип періодизації онтогенезу польової культури;
- принцип структурності урожаю;
- принцип толерантності та побудови кривих толерантності окремих факторів;
- принцип онтогенетичності кривих факторів;
- мультипрограмний принцип взаємодії факторів;
- принцип подібності властивостей рослин умовам і факторам зовнішнього середовища.

Стрижневим у структурі агроекосистеми є поняття польової культури, головна властивість якої описується процесами онтогенезу. Їх послідовність створює періодичні ознаки росту і розвитку. Зміст цього положення визначається *принципом періодизації онтогенезу польової культури*. На кожному етапі розвитку залежно від впливу зовнішніх факторів визначаються особливості динаміки ознак онтогенезу. Це положення описується *принципом мінливості ознак онтогенезу*, який можна описати як

$$n_i(x_i) = n_o(x_{i,o}), \quad (1.30)$$

де n_i , n_o – поточна та оптимальна тривалість визначеного періоду розвитку;

x_i , $x_{i,o}$ – поточне та оптимальне значення провідних факторів росту та розвитку.

На кожному етапі органогенезу формується відповідний обсяг рослинної продукції. Відносними або абсолютними показниками обсягів цієї продукції за сукупністю інтервалів формуються криві толерантності окремих факторів, які узагальнюють уявлення про закони оптимуму, мінімуму, максимуму тощо [73]. Сукупність цих положень визначається як *принцип толерантності та побудови кривих толерантності окремих факторів* [22].

Принцип онтогенетичних кривих полягає у поєднанні оптимальних значень кожного фактора в єдину систему.

Всі принципи агроекологічної концепції формування врожаю виникали на різних етапах дослідження і їх можна звести до спрощеної методологічної схеми (рис. 1.1).

Принципи і методи одержання емпіричної та експериментальної інформації про агроекосистему польових культур і її головні компоненти здійснювались із використанням основ прикладної математики. За наслідками застосування основ прикладної математики створена базова модель «погода і урожай» УкрНДГМІ, на основі якої розроблені

агrometeorологічні моделі урожайності основних польових культур, призначені для оцінки і прогнозу.

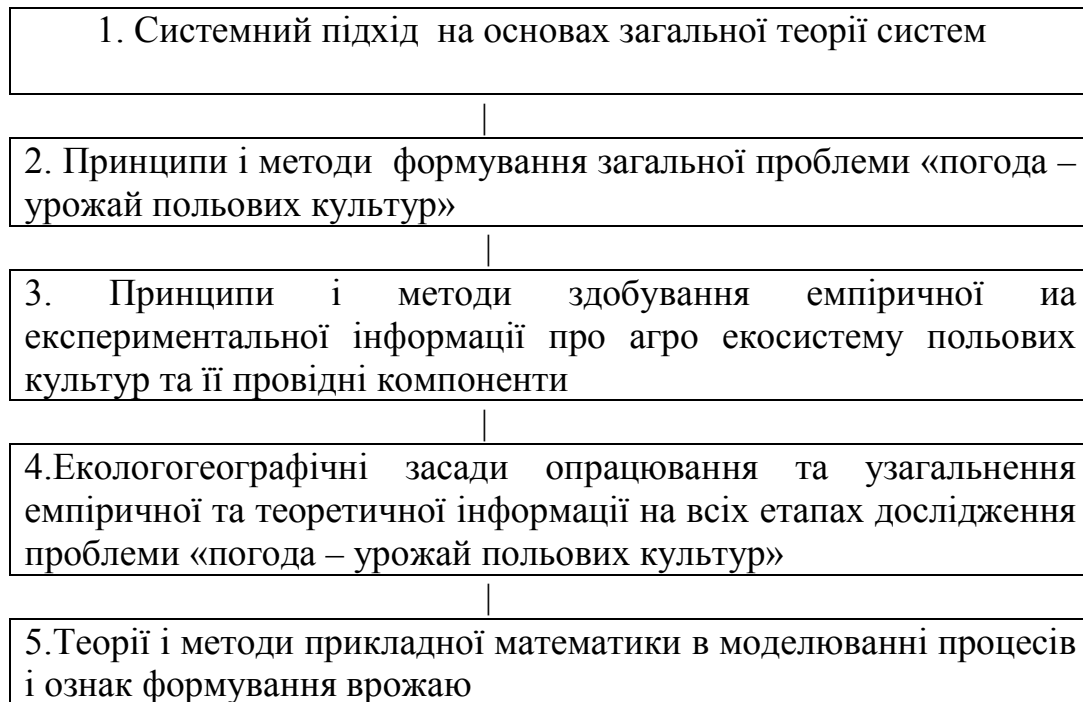


Рис 1.1. Провідні положення досліджень проблеми «погода – урожай» польових культур за агроекосистемною концепцією.

Виразником дієвості агроекосистемної концепції можна вважати впровадження і поширення методів прогнозів урожайів польових культур, заснованих на базовій моделі «погода і урожай».

Загальний вигляд математичної моделі «погода – урожай» УкрНДГМІ має блокову структуру та описується виразом

$$y = y_1 (1 - U) f(k) S(T, W, R)_{III-VIII} + \Delta \quad , \quad (1.31)$$

де y – очікуваний врожай , ц/га;

y_1 – щорічний статистичний максимум врожаю, ц/га;

U – показник зрідження посівів;

$f(k)$ – функція кущистості;

$S(T, W, R)$ – сумарний коефіцієнт продуктивності, розрахований за гідрометеорологічними показниками весняно – літнього періоду;

Δ – похибка розрахунків через невраховані фактори.

В моделі y_1 – відображає щорічне підвищення врожаю культури внаслідок поліпшення культури землеробства і розраховується за формулою

$$y_1 = y_c + At \quad , \quad (1.32)$$

де y_c – статистичний максимум врожаю з ймовірністю 99,9 % щодо початкового року;

A – середньорічний приріст врожаю;

$t = t_1 - t_c$ – відхилення даного року від реперного y_c , яке визначається кількістю років у статистичному ряду.

Зрідження посівів U – це різниця між найбільшою N_0 та фактичною N густиною рослин, яка визначається кількістю рослин на метр квадратний, віднесеною до найбільшої густоти на одиницю площі

$$U = \frac{N_0 - N}{N_0} = 1 - \frac{N}{N_0} \quad , \quad (1.33)$$

де $\frac{N}{N_0}$ – густина посіву.

Кущистість визначається з формули:

$$f(k) = 1 - \left(\frac{K - K_0}{K_0} \right)^2 \quad (1.34)$$

де K – фактична кущистість навесні після відновлення вегетації;

K_0 – найбільша кущистість рослин навесні для даної території.

В зв'язку з тим, що сортовий набір посівів неоднаковий, необхідно також визначати середню вагову найбільшу кущистість

$$K_0 = \frac{\sum K_{oi} S_i}{\sum S_i} \quad , \quad (1.35)$$

де K_{oi} – найбільша весняна кущистість даного сорту;

S_i – площа його посівів у відсотках або гектарах.

Кількісна оцінка впливу температури повітря, опадів та запасів продуктивної вологи у весняно – літній період виконується за формулою

$$S(T, W, R)_{III-VIII} = \eta(W) a_3 + \sum \eta_i(T) \eta_i(R) a_i, \quad (1.36)$$

де $\eta_i(T)$, $\eta_i(R)$, $\eta_i(W)$ – коефіцієнти продуктивності розраховані відносно температури повітря T , опадів R , запасів продуктивної вологи W навесні в i -ий період розвитку культури відповідно;

a_3 , a_i – вагові коефіцієнти, які враховують внесок осінньо – зимового періоду (a_3) та наступних періодів розвитку (a_i) в урожай.

Коефіцієнт продуктивності за температурою розраховується за формулою

$$\eta_i(T) = \frac{y_i(T)}{y_i(T_0)} = \left[e^{a \left(\frac{T - T_0}{10} \right)^2} \right], \quad (1.37)$$

де $\eta_i(T)$ – числовий відносний вираз приросту продукції при температурі T до найбільш можливого $y_i(T_0)$ при оптимальній температурі T_0 .

Вплив опадів на формування врожаю озимої пшениці визначається з формули

$$\eta_i(R) = \frac{y_i(R)}{y_i(R_0)} = \left[\left(1 + \frac{R - R_0}{R_0 - R_{\min}} \right)^{a_1} \left(1 - \frac{R - R_0}{R_{\max} - R_0} \right)^{a_2} \right]_i, \quad (1.38)$$

де $\eta_i(R)$ – числовий відносний вираз приросту продукції $y_i(R)$ в i -тий період вегетації при сумі опадів R до найбільш можливого $y_i(R_0)$ при найбільш сприятливій сумі опадів R_0 ;

R_{\min} , R_{\max} – відповідно найменша та найбільша сума опадів в кожному періоді вегетаційного циклу;

a_1 , a_2 – параметри.

Вплив вологості ґрунту на формування врожаю озимої пшениці визначається з формули

$$\eta(W) = \frac{y(W)}{y(W_0)} = 1 - \left(\frac{W - W_0}{W_0} \right)^2, \quad (1.39)$$

де $\eta(W)$ – числовий коефіцієнт відносного приросту продукції $y(W)$ при запасах вологи (W) навесні до найбільш можливого $y(W)$ при найбільш сприятливих вологи W_0 після відновлення вегетації.

Ваговий множник a у кожен період вегетації сільськогосподарської культури визначається за всіх оптимальних умов за моделлю

$$a = y(r) / y(t) = 1 / 1 - c(1-n)e^{-rt}, \quad (1.40)$$

де $y(r)$ – урожайність за поточною тривалістю вегетаційного періоду r ;
 $y(t)$ – максимальний урожай за тривалістю всього вегетаційного циклу t ;
 c – параметр, який враховує вплив факторів передпосівного періоду на урожайність;
 n – коефіцієнт самозріджування посівів.

За екосистемним підходом визначена ціла низка універсальних властивостей методологічного характеру опрацьованих методів оцінки і прогнозу врожайності сільськогосподарських культур. Завдяки застосуванню екосистемної концепції за допомогою базової моделі описується процес формування врожаїв протягом вегетаційного періоду будь-якої польової культури у суходільному, зрошуваному та осушувальному землеробстві. Крім того, екосистемна методологія врахування впливу агрометеорологічних факторів на екологічні, біологічні, агрономічні ознаки вегетації польових культур дозволяє досягти різномасштабної площинної універсальності [21, 22].

1.9 Моніторингові концепції формування врожаю польових культур

Соціально-економічна значущість вирощування урожаю за наявності світових проблем загального розвитку спільноти в умовах глобальних коливань та змін клімату по істотному розвитку високих інформаційних технологій і дистанційного зондування земної поверхні створили умови та викликали потребу в моніторингових засобах управління сільськогосподарським виробництвом продуктів харчування.

Моніторингові концепції формування урожаю польових культур за даними дистанційного зондування становлять сукупність принципів і методів у вигляді динамічної комплексної системи із розробки інформаційної технології прогнозування урожаю на території окремих господарств, районів, областей, держав. Комплексна система моніторингу складається з принципів і методів здобуття інформації про стан агроекосистем у певний час за їх структурою та властивостями засобами наземних і дистанційних спостережень та обстежень, про вплив на них атмосферних, ґрунтових факторів і прийомів агротехніки [2].

Стан агроекосистеми характеризується її внутрішньою властивістю. Значення її за ознакою $x(t_1)$ є x у час , зображеною вхідним сигналом $u(t_1)$ відповідно до механізму взаємодії, визначає вихідний сигнал $y(t_2)$ у наступний момент часу t_2 , тобто

$$y(t_2) = \eta(x(t_1), u(t_1), t_2), \quad (1.41)$$

де η - функціональний зв'язок між змінними, позначеними в дужках, яким встановлюється множина можливих значень вихідних функцій $y(t)$.

Агроекосистема є динамічною системою. У її визначення входять і спосіб відображення нового стану системи $x(t_2)$ в наступний момент часу t_2 на основі інформації про стан системи $x(t_1)$ в попередній час і значення про вхідний сигнал $u(t_1)$ виразом

$$x(t_2) = \varphi(x(t_1), u(t_1), t_2), \quad (1.42)$$

де φ — знову заданий функціональний зв'язок між наведеними змінними.

За принципом динамічності інформація про стан екосистеми вміщує дані за минулий час, поточний та на майбутнє.

Визначальними показниками значення технологічної інформаційної системи є гнучкість та адаптованість у часі. Під гнучкістю розуміють здатність надсистеми змінювати склад, структуру і функції за потребою адаптації. Пристосованість системи означатиме її можливість адаптуватися до змін внутрішніх і зовнішніх умов моніторингу за нагромадженням і використанням інформації, спрямованої на досягнення оптимального її стану за початкової невизначеності та зовнішніми умовами, що змінюються. Адаптованість системи характеризується змінюванням її параметрів, структури, алгоритму функціонування, керуючої дії тощо.

Головною метою моніторингових засобів є прогноз урожайності польових культур. Ця мета має базуватись на поєднанні провідних положень теорії урожаю, сутність якої полягає у визначенні механізмів формування, врахування впливу провідних факторів та опрацювання рекомендацій стосовно управління технологією вирощування рослин і розподілу продукції. Кожна складова теорії урожаю охоплює певну сукупність моніторингових положень.

Так, головна частина теорії урожаю, в якій визначаються та обґрунтовуються механізми формування урожаю як передбачувана оцінка його рівня, ґрунтується на теоретичних судженнях про закономірності утворення урожаю, поєднаних відповідними математичними моделями. Тобто основним положенням моніторингу урожаю є моделювання урожайності.

Найбільш змістовною та складною моніторинговою частиною концепції формування урожаю польових культур є складова, яка визначає вплив середовища та способи отримання вихідної інформації про стан об'єкта, його динаміку та результати діяльності під впливом основних факторів. Це система спостережень, яка охоплює сукупність ознак об'єкта і характеризує середовище, а саме: земну поверхню на певних формах

рельєфу з рослинністю польових культур, ґрунти й атмосферу. Ця система спостережень класифікується за методами на наземні й аерокосмічні та вміщує збір картографічної і статистичної інформації. Наземна система спостережень використовує методи фітометричних, агрометеорологічних, фенологічних, ґрунтових, спектрофотометричних і метеорологічних вимірювань [2].

Аерокосмічна система спостережень та обстежень застосовує методи дистанційного зондування посівів сільськогосподарських культур і навколишнього простору та шару атмосфери між земною поверхнею і висотою зйомки. До них належать пасивні та активні способи. Пасивні засновані на теорії випромінювання. Це багатозональне фотографування, телевізійна зйомка, спектрофотометрична інфрачервона та мікрохвильова зйомки. Шляхом застосування системи методів розпізнавання образів та автоматизованої обробки даних з допомогою електронних обчислювальних машин за спеціальними програмами отримують спектральні характеристики різних властивостей земної поверхні. До них належать спектральні характеристики рослинності та ґрунтів, які змінюються у просторі і часі в залежності від біологічних властивостей рослин та їх фізичних характеристик випромінювання електромагнітної енергії за її розподілом на відбиту, поглинуту та пропущену [22,98]. Інтерпретація сукупності наведених ознак дає підстави до визначення виду польових культур, стану рослин за індексом листової поверхні, обсягів надземної рослинної маси, захворювання і пошкодження рослин, посушливих явищ, вологості рослин і ґрунтів та ін.

Урожай формується системою «рослина – ґрунт – атмосфера - агрофітотехнологія». Кожна з цих складових містить властивості, процеси і фактори, що визначають рівень урожайності за відповідними ознаками.

Так, сукупності рослин у формі агрофітопопуляції притаманні загальні морфологічні ознаки її стану за певний відтинок онтогенезу, їх динаміка в процесах росту і розвитку. Згадані морфологічні ознаки за генетичною програмою спадкового коду кожної культури підпадають під дію факторів довкілля, що розподілені у фітоценозах і зосереджені у ґрунті й атмосфері. За цими об'єктами, як невід'ємними компонентами агроєкосистеми, визначаються основні складові моніторингу: моніторинг посівів, погоди, ґрунтів, технології.

Головними ознаками кожного об'єкта є його стан та зміна стану в часі і просторі за наслідками взаємодії між компонентами агроєкосистеми, що здобуваються та фіксуються як характеристики інформації.

Зміст моніторингових концепцій формування урожаю на засадах дистанційного зондування компонентів агроєкосистем становить комплексний, багаторівневий, багатоплановий екосистемний підхід за складовими моніторингу. Останній вміщує методи неперервного отримання вихідної інформації засобами повторних спостережень за ком-

понентами агроecosистем задля оцінки та контролю їх стану, динаміки, розподілу в просторі під впливом факторів. Методологія оцінки і контролю стану агроecosистем базується на застосуванні широкого спектра наземних фітометричних, фенологічних, агрометеорологічних, ґрунтових та інших засобів спостережень та обстежень, дистанційного зондування. Ця методологія вміщує визначення інформативності ознак об'єктів за допомогою методів їх ідентифікації з сигналами та використання наслідків математичного моделювання на основі продукційного процесу.

Застосування моніторингових засобів відображаються у вигляді інформації. За визначенням Ю.А.Ізраеля [28], моніторинг є багатоцільовою комплексною інформаційною системою. Головними джерелами її формування про стан компонентів агроecosистеми є методи і способи спостережень та обстежень, які розподіляються за компонентами агроecosистеми і вміщують відображення їх фізичних і біологічних особливостей стосовно впливу на стан складових агроecosистеми.

Моніторингові концепції формування урожаю на засадах дистанційного зондування мають методологічні особливості, які відображають зміст комплексної інформації про стан об'єктів на сцені за їх розподілом у просторі і змінами у часі як джерело енергії від поверхні Землі й атмосфери, що надходять до датчика.

Певні методологічні ознаки системи агрометеорологічного моніторингу наведені в працях В.І.Рачкуліка та М.В.Ситнікової [81], К.Я.Кондратева, В.В.Козодьорова та П.П.Федченко [36] та ін. Але системного характеру ці дослідження не носять.

Контрольні питання

- 1. З яких компонентів складається врожайність ?*
- 2. Які фактори створюють урожайність?*
- 3. В чому полягають концептуальні підходи до формування врожайності?*
- 4. Що покладено в основу концепції А.О.Сапегіна?*
- 5. На які положення опирались первісні концепції впливу факторів на врожай?*
- 6. Які ви знаєте біологічні і екологічні закони формування врожаю?*
- 7. Що називається «критичним періодом» в розвитку рослин?*
- 8. На чому засновується концепція біологічного врожаю О.А.Ничипоровича?*
- 9. На чому заснована концепція програмування врожайів І.С. Шатілова?*
- 10. Якими показниками визначається працеспроможність апарату продукційного процесу?*
- 11. Що є основою концепції продукційного процесу?*
- 12. На яких принципах заснована агроecosистемна концепція «погода – врожай» ?*

13. Яку сукупність принципів становлять моніторингові концепції формування урожаю польових культур ?

14. Які методологічні ознаки системи агроекологічного моніторингу?

2. ПОНЯТТЯ ПРО ЕКОСИСТЕМИ ТА АГРОЕКОСИСТЕМИ

2.1 Поняття про загальну структуру екосистеми

Нерівномірний розподіл континентів, океанів, континентальних і морських водоймищ, гірських масивів, різних ґрунтово – кліматичних зон та високогірних поясів, які утворились в процесі еволюції Землі, є особливістю біосфери.

Екологічна система представляє собою складний об'єкт, який складається з великої кількості організмів, має здатність до нагромадження і багаторазового використання енергії і речовини, з великою кількістю механізмів, які підтримують цілісність його структури в умовах навколишнього середовища (рис. 2.1).

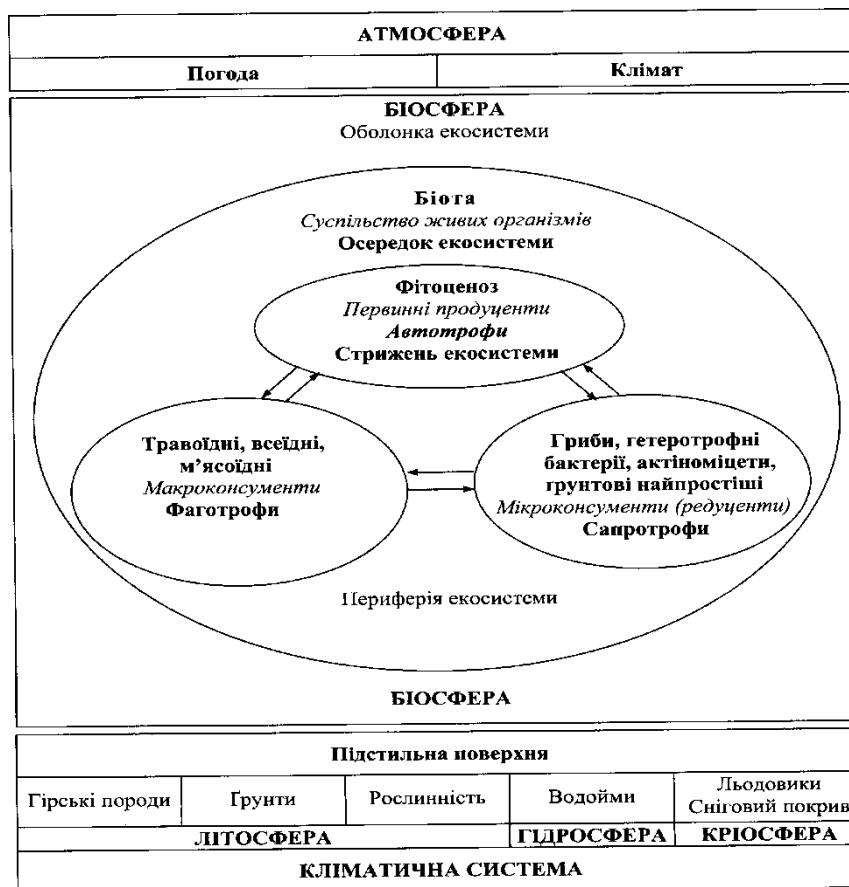


Рис. 2.1. Принципова різнокласифікаційна (біотична, трофічна, функціональна) схема структури екосистеми

В сучасній екології склалась певна класифікація поняття середовища: **природне середовище** – це сукупність неорганічних (абіотичних) і органічних (біотичних) факторів по відношенню до рослин, тварин і інших організмів без залежності від спілкування з людством.

Навколишнє середовище – це речовина, енергія і простір, які оточують організми і впливають на них як позитивно, так і негативно[72]. **Антропогенне середовище** - це природне середовище, яке тою чи іншою мірою було змінене людством.

Виокремлюють також поняття *середовище існування і умови існування*. *Середовище існування* – це частка природного середовища, яка оточує живі організми та з якою вони взаємодіють.

Зовнішнє середовище - це сукупність сил і явищ природи, її речовина, її простір, будь - яка діяльність людини , яка знаходиться із зовні об'єкту, без контакту з природою.

Природне середовище - це сукупність сил і явищ природи, її речовина, її простір, будь - яка діяльність людини, яка контактує з нею.

Середовище мешкання – включає в себе сукупність абіотичних і біотичних факторів окремого організму або біоценозу в цілому, які впливають на його ріст та розвиток. В живій природі існує чотири типи середовищ мешкання: 1- водне, 2 – наземне, 3 – ґрунтове, 4 – тіло іншого організму.

Умови існування – це сукупність елементів середовища , з якими організми середовища знаходяться в поєднанні і без яких вони не можуть існувати. Ці два поняття вміщують в собі також поняття « *екологічний фактор*», що являє собою будь – який мінливий елемент навколишнього середовища, який спричиняє у живих організмів зворотні еколого – фізіологічні пристосованості, які потім спадкоємно закріплюються в процесі еволюції.

Екологічні фактори поділяються на *зовнішні* (сонячна радіація, інтенсивність атмосферних опадів, атмосферний тиск, швидкість вітру, швидкість течії і т. ін.) та *внутрішні* (чисельність і біомаса популяцій, запаси різних речовин, характеристика приземного шару повітря, водної та ґрунтової маси).

Умови середовища, в якому який - небудь фактор (або сукупність факторів) виходить за межі зони толерантності і пригнічує рослини, називаються *екстремальними*. Це визначення екстремальних умов стосується не тільки екологічних факторів, а взагалі всіх умов, де життя майже закінчується (полярні зони, високогір'я, пустелі).

Екологічні фактори чисельні і вони розрізняються за середовищем виникнення (повітряні, водні, ґрунтові і ін.), за мірою впливу (лімітуючі,

летальні, екстремальні та ін.), за часом дії (еволюційні, сезонні та ін.) та за характером дії (геофізичні, географічні, біогенні та ін.).

Загальні властивості навколишнього середовища за ознаками підстильної поверхні, метеорологічних умов та кліматичних ресурсів формують ієрархію екосистем (рис. 2.2).

В сільському господарстві завше виділяють три групи факторів: абіотичні, біотичні і антропогенні.

Абіотичні фактори – це елементи неорганічної природи, які впливають на живі організми. До них відносяться рівень сонячної радіації, світловий і тепловий режими, газовий склад, атмосферний тиск, рух повітряних потоків, особливості рельєфу місцевості, волога (різні її форми).



Рис. 2.2 – Структурна схема суміщення біологічної та екологічної ієрархії екосистем

Біотичні фактори – це сукупний вплив на живі організми життєдіяльності інших організмів. Вплив може бути прямий та побічний.

До прямих форм впливу відноситься широко розповсюджене в природі використання одних організмів іншими. До побічних форм впливу відноситься зміна умов існування для інших організмів (наприклад дія бур'янів на культурні рослини).

Антропогенні фактори відображають вплив господарської діяльності людства на навколишнє середовище (наприклад, заміна лісу ріллею, зрошення, осушування та ін.).

Існує і інший підхід до класифікації екологічних факторів, основою якого є їх природа. Екологічні фактори поділяють на три категорії: погодно – кліматичні, едафічні (вплив на рослину через ґрунт) та біотичні (вплив на рослину інших організмів).

Екологічна система - це цілісна природна одиниця, яка утворилась в результаті взаємодії компонентів групи істот і неорганічного середовища їх проживання. Екологічну систему зазвичай визначають як сукупність живих істот та умов середовища:

$$\text{Екосистема} = \text{Біотип} + \text{Біоценоз}.$$

Життя на планеті - це велетенський всеосяжний біологічний комплекс, який називається *біосферою*. Розрізняють три основні частини біосфери – *літосферу, гідросферу і тропосферу*. Основу біосфери становлять трофічні зв'язки. Між трьома основними частинами існують добре відрегульовані зв'язки рослинних і тваринних організмів. Розрізняють такі екологічні групи рослинних і тваринних організмів, які забезпечують безперервний зв'язок між різними формами життя на Землі: *продуценти* – створювачі органічної речовини, *консументи*- споживачі продукції продуцентів, *редуценти* – дрібні організми (гриби, бактерії). Ці екологічні групи відрізняються будовою і типом живлення (табл.2.1).

Таблиця 2.1 – Основні складові живої природи (за І.П. Бабаєвою та Г.М. Зеновою) [66]

Екологічні групи		Продуценти	Редуценти	Консументи
Тип живлення		Автотрофний	Гетеротрофний	
		Фотосинтез	Абсорбція	Перетравлення
Тип будови	Еукаріоти тканинні	Рослини		Тварини
	Еукаріоти одноклітинні і багатоклітинні	<i>Plantae</i>	<i>Mycota</i>	<i>Animalia</i>
		Водорості	Гриби	Найпростіші

	Прокаріоти переважно одноклітинні	Фотобактерії Скотобактерії, Архабактерії Прокаріоти	
--	-----------------------------------	---	--

За даними [22], екосистема може розглядатись як біоцентричне поняття. Стрижнем системи є фітоценоз, осередком – біота відповідного угіддя, а середовище охоплює підстильну поверхню й атмосферу із властивими біотичними, абіотичними характеристиками, факторами і умовами.

Система складається з мікроконсументів (редуцентів) і макроконсументів або фаготопів. Сукупність осередку екосистеми утворює біоту завдяки енергомасообміну і масообміну прямого та зворотного характеру.

Осередок кожної екосистеми за властивостями біологічних систем вміщує ознаки цілісності, здатності до адаптації, розвитку, самовідтворення, еволюції.

2.2 Агроекологічні системи

В процесі еволюції вказані екологічні групи змінюються. Проте найбільшою мірою рослинний і тваринний світ змінюється під впливом діяльності людини, тобто під впливом **антропогенного фактора**.

Під впливом направленої антропогенної дії природні екосистеми руйнуються і на їхньому місці утворюються штучні *агроекологічні* системи.

Агроекологічною системою називається спеціальний вид екосистеми - екологічна система сільськогосподарського поля, на якому вирощуються культурні рослини, ростуть інші види рослин і тварин і відбувається складний ланцюг фізичних і біогеохімічних трансформацій енергії та речовини. На відміну від природних екосистем агроекологічна система характеризується нестійкістю, але значно вищою продуктивністю. Характерною особливістю агроекосистеми є те, що вона - продукт трансформування природних систем.

В агроекологічних системах саморегуляція зруйнована, розірвана більшість зворотних зв'язків і зруйнований природний обмін енергією і речовиною на різних трофічних рівнях. В агроекологічній системі фітоценоз не може самовідновлюватись, для цього необхідна антропогенна діяльність. Період існування агроекосистем різний. Так, посіви зернових культур існують не більше одного року, посіви багаторічних трав – 3 – 4 роки, насадження плодівих культур – від 6 – 7 років (персик) до 20 – 30

років (яблуні, груші). Своєрідною формою агро екосистеми вважаються парникові та оранжерейні насадження.

Структура будь – якої агроекосистеми складається із біотичних сполук *агрофітоценозів*, які характеризуються обмеженою кількістю видів рослин і абіотичних компонентів, що становлять середовище існування рослин і тварин. Основу агрофітоценозу становлять культурні рослини, тобто *едифікатори*, про доміную роль яких дбає людина (рис. 2.3)

Штучно створені агроекосистеми відрізняються від природних рядом особливостей : різко зниженим різноманіттям організмів, залежністю від турботи людини, отриманням додаткової енергії від людини, вилученням вирощеного врожаю, потребою належного догляду.

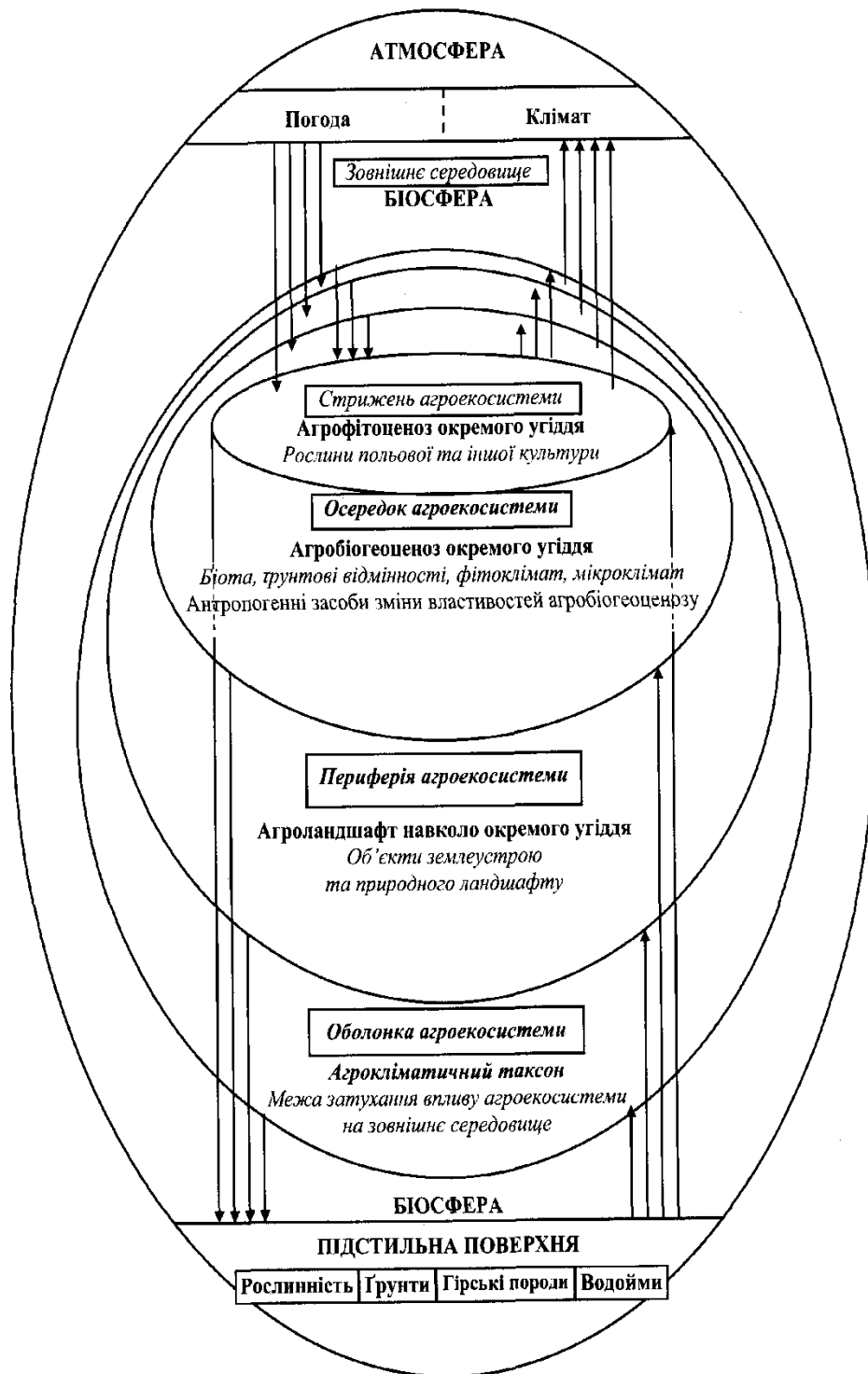


Рис 2.3. – Загальна структурна схема агроєкосистеми

Агроєкосистеми характеризуються обов'язковим домінуванням вирощуваних культурних рослин.

Стрижем агроєкосистеми є агрофітоценоз окремого угіддя за сукупністю рослин будь-якої культури. Агроєкосистема має принципові відмінності від будь-яких інших екосистем. Вона вміщує окрім

структурних одиниць екосистеми ще й виробничі компоненти (системи землеробства, системи овочівництва, системи плодівництва, системи тваринництва і т.ін.

Під *типом агроекосистеми* розуміють сукупність окремих агро екосистем, однорідних за компонентним складом середовища та їх динамікою. Найвищою ієрархічною одиницею агроекосистемного рівня є *агросфера*.

Н.А. Уразаев та ін. (2000), пропонують такі екологічні терміни для визначення сільськогосподарських екосистем: 1) **агросфера** - глобальна екосистема, що об'єднує територію земної поверхні, перетворену сільськогосподарською діяльністю людини; 2) **аграрний ландшафт** - екосистема, сформована в результаті сільськогосподарського перетворення ландшафту (степового, пустельного тощо); 3) **сільськогосподарська екологічна система** (сільськогосподарська екосистема) - екосистема на рівні господарства; 4) **агроекосистема** - поле, сад, теплиця, оранжерея; 5) **пасовищна агроекосистема** - природне чи культурне пасовище.

Основними **елементами** сільськогосподарських екосистем є:

1) культурні рослини, висіяні або висаджені людиною; 2) бур'яни, які потрапили в агроекосистеми всупереч волі людини; 3) мікроорганізми ричосфер культурних рослин і бур'янів; 4) бульбочкові бактерії на корінні бобових рослин, що зв'язують вільний азот повітря; 5) мікоризотворні гриби на корінні вищих рослин; 6) водорості, бактерії, гриби, актиноміцети, вільноживучі в ґрунті; 7) безхребетні тварини, що живуть у ґрунті і на рослинах; 8) хребетні тварини (гризуни, птахи та ін.), які живуть у ґрунті й посівах; 9) гриби, бактерії, віруси - паразити (напівпаразити) культурних рослин і бур'янів; 10) бактеріофаги - паразити мікроорганізмів.

Характерна **особливість сільськогосподарських екосистем** у тім, що вони є продуктом трансформування природних. Трансформуючи природні екосистеми в сільськогосподарські, людина змінювала живі та неживі компоненти природних комплексів: рослинний і тваринний світ, ґрунт, воду, атмосферу. Рослини природної флори знищували, змінювали на нові, потрібні для задоволення потреб людини.

Біотична частина агроекосистеми має всі ланки, характерні для будь-яких надземних систем: продуценти, консументи і редуценти. Разом з популяціями живих організмів різних видів до складу агро екосистеми входять певні абіотичні компоненти, пов'язані з біотичними компонентами та із зовнішніми різними відношеннями, які поряд із зовнішніми біотичними компонентами утворюють структуру агро екосистеми і відіграють важливу роль у функціонуванні її як єдиного цілого.

Абіотична частина системи – це середовище мешкання рослин і тварин, – використовується ними як життєвий простір і як джерело енергії і мінеральних елементів.

Абіотична частина системи одночасно знаходиться в двох середовищах – в приземному шарі повітря та у верхніх шарах літосфери і дуже активно взаємодіє з ними.

Із неорганічних сполук, які надходять із зовнішнього середовища, рослини синтезують вуглеводи і інші речовини багаті хімічною енергією органічної речовини. Надходження енергії відбувається на межі стикання рослин з фізичним середовищем. Так, процес фотосинтезу відбувається в листках, стеблах та репродуктивних органах рослин, тобто на межі рослин і атмосфери. Надходження води та мінеральних речовин здійснюється через межі стикання коріння і ґрунту. Обидва названі процеси відбуваються в рослинах одночасно і зв'язок між ними забезпечує складна сукупність процесів переносу всередині рослин (вуглецевий і водний обмін рослин, обмін мінеральних речовин).

Склад і режим повітряного і ґрунтового середовища знаходиться під безпосередньою дією внутрішніх компонентів агроєкосистеми та відчуває сильний вплив зовнішніх атмосферних та ґрунтових процесів.

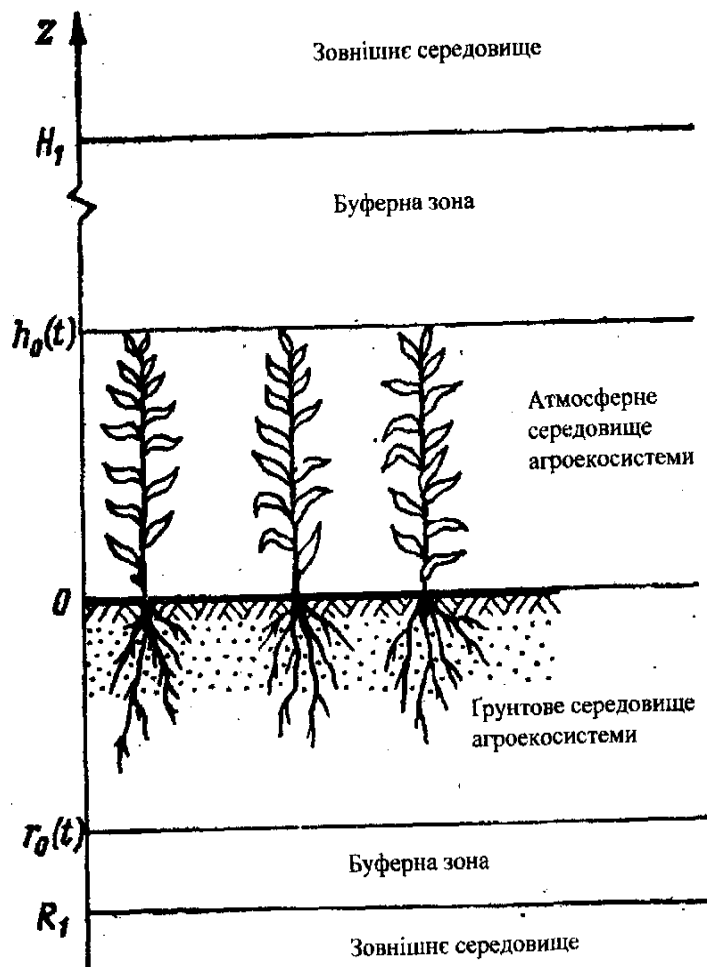
Під дією цих процесів змінюється повітряне та ґрунтове середовище мешкання рослин і створюється система «ґрунт-рослина-атмосфера» [73].

У повітряному середовищі ці зміни охоплюють такі процеси енерго- та масообміну між рослинним покривом і атмосферою: перенесення сонячної радіації в рослинному покриві, її поглинання і розсіювання фітоелементами, поглинання і відбиття сонячної радіації ґрунтом, ослаблення швидкості вітру та зміна характеристик атмосферної турбулентності в шарах повітря над рослинним покривом і всередині нього, конвективне перенесення тепла в шарах повітря над рослинним покривом і всередині нього, виділення водяної пари з ґрунту (випаровування) і фітоелементів (транспірація) і їх перенесення в повітрі. Під впливом цих процесів формуються температурні режими ґрунту і рослинності. Разом з тепловим випромінюванням атмосфери вони зумовлюють перенесення теплового випромінювання в шарах повітря над рослинним покривом і всередині нього. Процеси фотосинтезу і дихання рослинного покриву визначають режим вуглекислого газу, який охоплює виділення CO_2 з ґрунту, його перенесення в повітрі і поглинання (вдень) або виділення (вночі) рослинами. Протилежно перенесенню CO_2 йде перенесення кисню та його поглинання ґрунтом і виділення (вдень) або поглинання (вночі) рослинами [22, 66].

Ґрунтове середовище є свого роду фокусом агроєкосистеми, оскільки воно пов'язане з усіма іншими її компонентами, причому підтримка цих зв'язків має життєво важливе значення для функціонування всієї агроєкосистеми. Її властивості доцільно розбити на дві групи.

Перша група включає відносно консервативні властивості, хоч і різні в ґрунтах різних агроекосистем, але в кожному конкретному типі ґрунту змінюються порівняно мало. Вони відображають початкові умови формування і сучасний комплекс екологічних чинників в даній агроекосистемі. Це основні фізичні і хімічні властивості ґрунтової маси (щільність, пористість, механічний склад, валовий хімічний склад, вміст гумусу і азоту, кислотність, місткість катіонного обміну), а також біомаса і розподіл живих організмів.

Другу групу властивостей ґрунту утворюють досить мінливі характеристики ґрунтового профілю, які визначаються процесами



взаємодії ґрунту з атмосферою і рослинним покривом. Під впливом цих процесів формується тепловий, водний і повітряний режим ґрунту, вміст в ґрунті елементів мінерального живлення.

Рослини знаходяться одночасно і в атмосфері і в ґрунті і створюють систему «ґрунт – рослина – атмосфера» яка поділяється на шість горизонтальних шарів (рис.2.4)[74].

Рис 2.4 – Схема системи «ґрунт – рослина – атмосфера»

По вертикалі від поверхні ґрунту до верхньої межі рослинності $z_o = h_o(t)$ і до нижньої межі поширення коріння $r_o(t)$ виділяється внутрішнє середовище – невід'ємна складова частина агроекосистеми. Це відповідно атмосферне і ґрунтове середовище агроекосистеми. До них примикають перехідні, буферні зони з верхньою межею H_1 для атмосферного середовища та нижньою межею R_1 для ґрунтового середовища агроекосистеми. В цих зонах елементи фітомаси відсутні, але їх фізичні

характеристики, завдяки процесам обміну, зберігають деяку залежність від культурного фітоценозу (*агроценозу*).

Властивості внутрішнього атмосферного і ґрунтового середовища агроєкосистеми, що охоплюють приземний шар атмосфери і верхні шари ґрунту, визначаються процесами взаємодії з іншими компонентами агроєкосистеми (теплообмін, вологообмін, фотосинтез, дихання та ін.) На відміну від них властивості зовнішнього середовища агроєкосистеми ($z > H_1$ і $z < R_i$) формуються під впливом процесів іншого, більш великого масштабу, незалежних від впливу агроєкосистеми: атмосферних процесів і процесів, що протікають у підстильній породі.

Властивості внутрішнього атмосферного і ґрунтового середовища агроєкосистеми визначаються особливостями взаємодії з іншими фізичними і фізіологічними процесами, які протікають в агро екосистемі. Властивості зовнішнього середовища агро екосистеми формуються під впливом великомасштабного впливу атмосферних процесів та процесів, які відбуваються в підстильних породах ґрунту. Межі внутрішнього та зовнішнього середовища агроєкосистеми дуже динамічні в часі та просторі і визначаються сезонними особливостями росту та розвитку сільськогосподарських культур.

Межа зовнішнього і внутрішнього середовища агроєкосистеми вельми рухлива у часі і в просторі, вона визначається ростом і розвитком агрофітоценозу. В залежності від вигляду агрофітоценозу і фази його розвитку, межа атмосферного і ґрунтового середовища агроєкосистеми може коливатися від декількох десятків сантиметрів до декількох метрів.

Всі екологічні фактори поділяють на дві основні групи: 1) ресурси, які безпосередньо використовуються рослиною (сонячна енергія, вода, елементи мінерального живлення, вуглекислий газ і кисень повітря та ін.); 2) умови, які впливають на життєдіяльність рослин (температура повітря і ґрунту, кількість і розподіл атмосферних опадів, гранулометричний склад ґрунту, його кислотність тощо). На практиці ці дві групи факторів об'єднують у загальному понятті **агрокліматичні ресурси**.

Існує й інший підхід до класифікації екологічних факторів, в якому фактори поділяють на 3 групи: 1) *погодно-кліматичні* (комплекс атмосферних впливів; 2) *едафічні*, які об'єднують всі екологічні впливи на рослину через ґрунт; 3) *біотичні*, які пов'язані з впливом на рослини інших організмів.

У сільськогосподарських екосистемах ланцюги живлення залучені в сферу діяльності людини. В них змінена екологічна піраміда, на вершині якої стоїть людина, що є специфічною ознакою будь-якої сільськогосподарської екосистеми. При умовному розгляді агроєкосистеми як поєднання природної екосистеми з антропогенною енергією, неважко виявити, що питомі затрати енергії в доіндустріальному сільському господарстві були порівнянні з енергозатратами в природних

екосистемах. З переходом на інтенсивне ведення сільського господарства енерговикористання набагато зросло.

Людина як споживач має підтримувати свій трофічний (**антропогенний**) ланцюг у біосфері і використовувати з нього органічної речовини (тобто поживних речовин або загалом енергії) не більше, ніж надходить у нього. Лише за такої умови забезпечується цілісність екосистеми. Тому створюване на полях в системі сівозмін штучне біологічне середовище, має функціонувати так само ефективно, як і природне.

Проте об'єм біологічного колообігу речовин у ньому повинен бути набагато більшим, щоб забезпечити одержання необхідної кількості продуктів харчування і сировини для промисловості. Штучно створена екосистема сівозміни або агроландшафту добре функціонує лише за оптимальної взаємодії усіх трьох складових трофічного ланцюга - продуцентів, консументів усіх порядків (включаючи людину) та редуцентів - деструкторів.

Від рослинництва люди повинні мати якісну продукцію. Для її одержання (аналогічно тому, як цього добиваються в промисловості) слід використовувати якомога менше енергоресурсів, тобто рослинництво, як провідна галузь сільського господарства повинно заощаджувати енергію і бути екологічно доцільним виробництвом. Цьому, як засвідчують дослідження і практика сучасного інтенсивного рослинництва, сприяють застосування переважно біологічних, агротехнічних прийомів вирощування культур (застосування органічних добрив, біологічної азотфіксації, широке використання асоціативної мікрофлори, правильний догляд за посівами, впровадження сортів польових культур, які мало уражуються хворобами та шкідниками, тощо).

Однією з головних умов, які визначають географію розподілу агро екосистем, є кліматичні особливості.

Контрольні питання:

1. *Яка система називається екосистемою?*
2. *Чим відрізняються поняття «середовище існування» і «умови існування»?*
3. *Яка система називається агро екосистемою?*
4. *Рівні організації та типи агро екосистем.*
5. *Що таке біосфера та її складові?*
6. *Наведіть приклади співіснування в агрофітоценозах.*
7. *Глобальність антропогенного фактора.*
8. *Продуценти, консументи та редуценти.*
9. *Які властивості має ґрунтова екосистема?*
10. *З яких шарів складається система «ґрунт-рослина-атмосфера»?*
11. *Як класифікуються екологічні фактори?*

3. ТЕОРІЯ ВРОЖАЮ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

3.1 Біологічні властивості рослин

Весь процес формування врожаю сільськогосподарських культур від сівби до дозрівання господарсько корисної продукції завжди знаходиться під контролем і управлінням рослини. Тому всі етапи формування врожаю, поява нових органів, весь продукційний процес, всі фізіологічні процеси органічного змісту під впливом факторів зовнішнього середовища та ті, що залежні від антропогенного чинника, неодмінно спричиняють зумовлене ними реагування рослини. Тому можна сказати, що головну складову теорії врожаю становлять *біологічні особливості рослин*.

Ріст і розвиток рослин відбувається за певною генетичною програмою під впливом факторів зовнішнього середовища. Ці фактори теж становлять складову теорії урожаю.

В практиці землеробства відчутно впливає на врожай антропогенний чинник. Він може збільшити або зменшити кількість та якість сільськогосподарської продукції. Антропогенний чинник є засобом управління урожаєм. Загалом теорію формування врожаю можна представити схемою [66]

Біологічні властивості рослин		
Механізм формування врожаю	Фактори формування врожаю	Засоби управління формуванням врожаю

Механізми формування урожаю мають висвітлити його структурні складові та загальні закономірності їх взаємодії, відображені у часі, зокрема на основних етапах онтогенезу та у цілому, а також внесок урожаю відокремлено і сукупно. Залікова складова змісту механізму формування урожаю має формуватись обсягом або рівнем кінцевої господарської корисної продукції. Урожай формується чисельністю рослин на певній площі (p) та масою рослини або окремих органів (m).

За цим положенням у кінцевому вигляді урожай має визначатись рівнянням

$$y = pt . \quad (3.1)$$

Формування врожаю здійснюється всією масою рослини, яка вміщує масу коріння (m_k), масу стебел (m_c), масу листків (m_l), масу зерна (m_z)

тощо. Загальна маса урожаю складається із сукупності всіх елементів. Взаємодію складових у формуванні врожаю можна описати формулою

$$dy = md_p + md_m \quad (3.2)$$

де dy – прирощення врожайності;

md_p – прирощення маси продуктивного органа;

md_m – прирощення густоти рослин.

Фактори формування урожаю за екосистемним підходом створюють надзвичайно складну сукупність різноприродних, різномістовних, різнорівневих, різнопланових, різночасових та різнопросторових діяльних процесів, явищ, чинників тощо. Слід зазначити, що вплив кожного чинника відзначається за ознаками обсягу, рівня або його інтенсивності з визначенням меж сфери його дії. Разом із тим усі фактори формування урожаю мають бути розподілені за значенням, змістом, обсягом чи рівнем постійного повсякчасного впливу тощо. Але в окремі періоди на рівень урожайності можуть вплинути тимчасові епізодичні та локальні явища, які мають бути враховані.

За оглядом зазначених положень механізми та фактори формування урожаю є головними невід'ємними складовими його теорії. Але у системі засобів формування урожаю зазначається антропогенний чинник, який може істотно порушити як безпосередній механізм, так і вплив і значення факторів впливу на рівень чи обсяги урожаю. Зміст таких порушень визначається викривленням засад механізму формування урожаю (наприклад, різкою зміною густоти посіву в певний період вегетаційного циклу, облаштуванням або видаленням дієздатних органів, зменшенням або збільшенням чисельності плодотворних осіб тощо).

Засоби управління формуванням урожаю у вигляді агротехнічних правил і процедур визначення його рівнів, обсягів чи інших показників зазвичай не досягають сформульованої мети за відсутності науково обґрунтованих положень за теорією механізму формування урожаю та досконало визначеного впливу факторів середовища на об'єкт [22].

Таким чином, головну складову теорії урожаю взагалі та за системним підходом становлять біологічні властивості рослин. Їх нехтуванням ніяка система вивчення впливу будь-яких чинників та властивостей не здолає розуміння механізмів формування урожаю.

Засоби управління формуванням врожаю виражені агротехнічними правилами і процедурами.

Біологічні властивості рослин утворюють складну систему фізіологічних, різнорівневих за змістом, різномасштабних у часі процесів зародження, формування, функціонування, передачі властивостей та створення собі подібних нащадків. Вони узагальнюються процесами індивідуального розвитку рослин у онтогенезі, історичного їх розвитку у

філогенезі та у законах міжвікового розвитку органічного світу як еволюції (рис. 3.1).

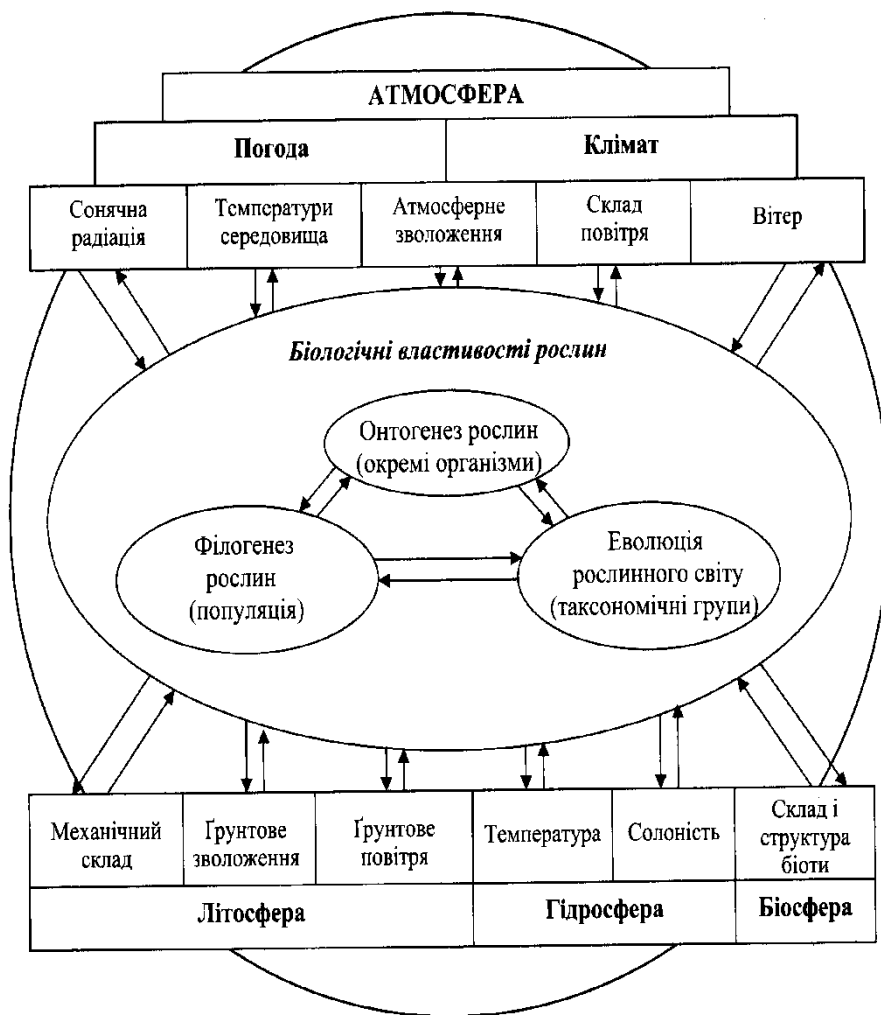


Рис. 3.1 Структурна схема біологічних властивостей рослин

Під *онтогенезом* (індивідуальним розвитком або *життєвим циклом*) розуміють життя рослини з моменту появи заплідненої яйцеклітини (зиготи) або виникнення зародкової бруньки, яка дає початок органам вегетативного розмноження, до природного відмирання рослинного організму. Рослинний організм в цілому в онтогенезі взаємодіє з усіма складовими атмосфери, ґрунту, водою тощо.

Нормальний онтогенез у більшості видів вищих рослин складається з двох основних періодів - вегетативного і генеративного. Перший період це формування коренів, стебел, листя – вегетативних органів або, так званої, *вегетативної сфери рослини*, яка виконує найважливіші функції живлення, дихання, водопостачання, синтезу і пересування речовин в організмі. Другий період - це формування генеративних органів (розмноження) – суцвіть, квіток, плодів і насіння – *генеративної сфери*. Однак такий

розподіл життєвого циклу відносний, тому що формування кожного органа, у тому числі й усіх вегетативних, тісно пов'язано не тільки з ростом, але і з розвитком генеративних органів та рослини в цілому.

Онтогенез рослин являє собою індивідуальний розвиток організму. Він здійснюється поєднанням процесів росту, диференціації тканин та інтеграції частини організму із послідовною зміною морфологічних ознак.

Основними характеристиками онтогенезу рослин, які становлять фундаментальну основу агрометеорологічних досліджень за розглянутими типами розвитку, є початок та закінчення вегетаційного циклу певної культури, його тривалість. Наступна деталізація вміщує поділ на вегетативний та репродуктивний періоди, визначення термінів настання і закінчення, тривалості періодів активної вегетації, анабіозу. Поглиблення цих уявлень досягається поділом вегетаційного циклу на міжфазні періоди, а також проходженням етапів органогенезу рослин.

Ріст рослин є однією із складових частин продукційного процесу. Елементарним показником росту фітомаси є її приріст, $\Delta M = M_2 - M_1$, тобто різниця між сухою фітомасою за певний проміжок часу (за визначенням А.М. Польового, 1992).

$$\Delta M / \Delta t = (M_2 - M_1) / (t_2 - t_1) \quad . \quad (3.2)$$

Сумісний вплив зовнішніх (екологічних) і внутрішніх (генетичних) факторів на ріст рослин проявляється в їх розмірах, формі, морфологічній структурі. Складність і різноманітність росту визначається фізіолого – біохімічними і біофізичними процесами, які відбуваються в рослині під впливом зовнішніх факторів: світла, тепла, вологи повітря і ґрунту, мінерального живлення тощо. Ріст є функцією часу. Загальним виразом залежності ростових процесів від часу є закон великого періоду росту, який відображає S- подібний хід кривої інтегрального наростання маси (розмірів) рослин та параболічний хід диференційованої кривої приростів за визначені відрізки часу (табл. 3.1)

Тривала відсутність росту рослини називається *спокоем*. Відрізняється *примусовий спокій*, який виникає під дією зовнішніх умов, *фізіологічний спокій*, який пов'язаний з особливостями зародку та тканин, які його оточують; *спокій бруньок і пагонів*, який пристосований до сезонних змін кліматичних умов; *фотоперіодичний спокій*, який визначається тривалістю дня.

Розрізняють генетичну, гормональну та екологічну зумовленість росту, його інтенсивність, масштабність та просторову локалізацію. В процесі росту рослини адаптують до змін умов вегетації.

В процесі росту рослин відбувається його саморегуляція. Екзогенні коливання росту регулюються зовнішніми факторами, ендогенні - «біологічним годинником».

Регуляторна функція росту в онто- і морфогенезі рослин виявляється у його впливі на швидкість і напрям метаболічних процесів синтезу, розпаду, руху і накопиченні органічних сполук та інших речовин.

Таблиця 3.1 – Залежність процесів росту і розвитку озимої пшениці від впливу факторів абіотичного середовища [22]

Процеси розвитку	Фактори середовища			Фізіологічні процеси
	Ґрунтове зволоження	Температура повітря, °С	Тривалість дня, год	
Насіння у ґрунті	Більше від вологості розриву капілярів	Вища 3 – 5 °С	-	Набухання насінини, ріст зародкових корінців і поява колеоптиля
Росток, перехід до сходів	Те саме	Між біологічним мінімумом і біологічним максимумом	Опромінення квантом світла	Надбання зеленого кольору хлоропластами, ріст рослини, фотосинтез
Припинення та відновлення вегетації	Не менше від вологості розриву капілярів	> < 1 °С	< 12 год	Перехід до анабіозу та початок ростових процесів
Вихід у трубку	Те саме	> 10 °С	> 12 год	Початок утворення репродуктивних органів
Колосіння	Те саме	> 15 °С	> 15 год	Запліднення, утворення зерна

Регулятори росту рослин. Ріст і розвиток рослин зумовлюються вмістом у них фізіологічно активних речовин (регуляторів росту) [66].

Регулятори росту рослин – це природні або синтетичні сполуки, які використовуються для обробки рослин з метою прискорення змін у процесах їх життєдіяльності для покращення якості рослин, підвищення врожайності, полегшення збирання та зберігання врожаю.

Процеси росту та розвитку залежать від спадкових (біологічних) та екологічних особливостей рослин. Зміна цих процесів відбувається під дією агротехнічних заходів та застосування регуляторів росту.

За особливостями дії регулятори росту поділяють на *активатори(стимулятори, фітогормони)* які підсилюють ріст;

інгібітори, які пригнічують процеси росту та летальні речовини, що спричиняють в рослинах незворотні зміни та їх загибель.

До активаторів росту відносяться хімічні речовини, що виробляються в рослинах і регулюють їх ріст та розвиток: речовини фуксинового ряду, похідні фенолу, гіберилини, цитокеніни та ін.

До інгібіторів росту належать: гідрозид малеїнової кислоти, похідні диметиламіноянтарної кислоти, холін хлорид та ін.

До летальних речовин відносяться похідні фен оксикислот, симетричного триазину та ін.

Регулятори росту використовуються для впливу на процеси цвітіння і плодоношення, керування станом спокою, прискорення опадання листя, запобігання полягання посівів, знищення бур'янів тощо.

При використанні регуляторів росту слід пам'ятати про те, що кожен фактор потрібен рослинам у певній кількості, яка обмежується трьома характеристиками – мінімумом, оптимумом і максимумом. Крім того, більшість регуляторів росту можуть мати певний негативний екологічний вплив. Тому використання регуляторів росту повинно бути під постійним контролем.

На сьогодні при вирощуванні польових культур найчастіше використовуються такі регулятори росту: потейтін, емістим, агростимулін, бетастимулін, зеастимулін, трептолем, люцис.

Застосування регуляторів росту дозволяє повніше реалізувати потенційні можливості рослин і збільшувати продуктивність сільськогосподарських культур.

Регулятори росту позитивно впливають на ріст та розвиток кореневої системи та поверхні листя. Це сприяє ефективному використанню рослинами елементів живлення, прискоренню окремих етапів розвитку, підвищенню стійкості до хвороб та шкідників. В останні роки повсюдно швидко поширюється впровадження регуляторів росту в практику сільськогосподарського виробництва. Особливого значення регулятори росту набувають у випадках, коли технологія вирощування не відповідає генетичним можливостям сорту стосовно забезпечення надійності та захищеності генотипу від несприятливого впливу факторів середовища.

Розрізняють генетичну, гормональну та екологічну зумовленість росту, його інтенсивність, масштабність та просторову локалізацію. В процесі росту рослини адаптують до змін умов вегетації. У процесі росту рослин відбувається його саморегуляція. Екзогенні коливання росту регулюються зовнішніми факторами, ендогенні - *«біологічним годинником»*. [46,48].

Для сезонних ритмів росту більшості рослин притаманні два періоди покою: зимовий і літній. Зимовий спокій обумовлюється нестачею

тепла, літній – настанням посушливих періодів вкупі з високими температурами. Ріст рослин тісно пов'язаний з розвитком рослин [64].

Розвиток рослин – це послідовні якісні зміни, які відбуваються в точках росту, в яких проходить поділ клітин меристеми з подальшим їх збільшенням і диференціюванням.

В розвитку вищих рослин відзначається чотири вікових етапи: *ембріональний, ювенільний, репродуктивний і старіння*. Тривалість кожного етапу у різних рослин різна - від декількох тижнів до декількох років.

Чисельними дослідженнями встановлено, що вплив екологічних факторів навколишнього середовища неоднаковий в різні періоди життєвого циклу. В ранні періоди розвитку рослини більш пластично реагують на зміну умов існування, ніж в період репродуктивного розвитку і старіння.

Життєвий цикл багатьох видів рослин включає також період «спокою», коли ріст і органоутворювальні процеси різко сповільнюються або майже припиняються через несприятливі умови вегетації (низькі температури, посухи та ін.). Тривалість періоду спокою буває різною – від декількох тижнів до багатьох місяців.

За загальною тривалістю життєвого циклу всі вищі рослини поділяються на: однолітні, дволітні та багаторічні.

При цьому однолітні рослини прийнято відносити до таких груп: а) *ефемери* – рослини, весь онтогенез яких завершується протягом декількох весняних місяців; звичайно це рослини пустель і напівпустель, які використовують для свого розвитку і росту зимові та ранньовесняні опади; б) *однолітні ярі рослини*, вегетація яких починається навесні або влітку і завершується в це ж літо або восени; в) *однолітні озимі культури*, тривалість життя яких не перевищує одного року, але вегетація рослин починається восени і завершується плодоносінням влітку або восени наступного року [67,74].

У дволітніх рослин на першому році життя звичайно утворюються вегетативні органи, на другому році йдуть процеси цвітіння і плодоносіння, після чого рослини відмирають.

Багаторічні рослини характеризуються найбільш різною тривалістю життєвого циклу: від декількох місяців – ефемероїди (трав'янисті рослини) до багатьох століть (дуб, липа) і навіть, тисячоліть (секвоя, мамонтове дерево та ін.).

Крім того, рослини поділяються на дві великі групи: одноразово плодоносні – монокарпіки і багаторазово плодоносні – полікарпіки. У монокарпічних рослин після плодоносіння настає відмирання материнського організму. У полікарпічних рослин плодоносіння не веде до повного відмирання материнського організму, тому цвітіння і плодоносіння в них повторюється протягом ряду років.

До групи монокарпічних рослин відносяться однолітні (ефемери, ярі й озимі сільськогосподарські зернові культури), більшість дволітніх, а також деякі види багаторічних рослин: різні види бамбука, деякі види пальм, мексиканська агава, види роду ферула. До числа полікарпічних рослин відноситься велика частина чагарників (наприклад, смородина, малина, шипшина, таволга, бузина, жимолость, бузок та ін.), плодові дерева (яблуня, слива, вишня, груша та ін.), деревні породи (дуб, липа, клен, ясен, верба й ін.), кімнатні декоративні рослини (бегонія, герань, примула та ін.), багаторічні трав'янисті рослини (люцерна, еспарцет, конюшина, тимофіївка лугова, костер, костриця та ін.) [74].

Полікарпічні багаторазово плодоносні рослини розрізняються також за терміном настання першого плодоношення: рослини, які цвітуть на першому році життя, наприклад, тимофіївка лугова; зацвітають на другому році – багаторічний люпин, конюшина та ін.; рослини, які зацвітають на третьому році – багато видів ягідних чагарників; рослини, що плодоносять на 8–11-му році життя – ряд сортів яблунь, груш; рослини, які переходять до масового цвітіння на 25–30-му роках життя – липа, клен й ін., або на 40–60-м році життя – дуб і ряд інших лісових порід.

Довговічність багатьох полікарпічних видів рослин обчислюється століттями і навіть тисячоліттями. Так, мамонтове дерево (секвоя) живе до 5000 років; кипарис, кедр ліванський, тис – до 3000 років; каштан – до 2000 років; дуб, ялина, липа, сибірський кедр – понад 1000 років; тополя, бук, сосна, горіх волоський – від 300 до 600 років; яблуня, груша, черешня — від 100 до 400 років і більше.

Навіть серед багаторічних трав'янистих злаків, поряд з такими, як райграс, тимофіївка, їжа, життєвий цикл яких обчислюється від 3 до 7, іноді до 10 років, є ряд видів, наприклад, щучка і біловус, у яких тривалість життя обчислюється десятиріччями. Причому не довгорічні злаки швидко розвиваються і починають плодоносити вже на першому і другому роках життя, а багаторічні розвиваються повільно і починають цвісти і плодоносити лише на 5–8-му році життя.

Межі між монокарпічними і полікарпічними формами в життєвому циклі рослин певною мірою умовні. В залежності від умов і району вирощування ті ж самі види рослин швидко переходять від вегетативного росту до генеративного розвитку, або навпаки, дуже довго затримуються на фазі формування вегетативних органів [74].

3.2 Фенологічні фази розвитку рослин

Рослини в процесі розвитку зазнають ряд зовнішніх змін: проростання насіння, поява сходів, ріст стебла, утворення органів цвітіння, формування

плодів. Спостереження за проходженням життєвого циклу дозволили О.І. Воейкову і П.І. Броуну вже наприкінці ХІХ ст. поряд з основними періодами вегетативного і генеративного розвитку виділити ряд фаз розвитку і росту рослин, які одержали назву *фенологічних фаз розвитку*. Кожна фенологічна фаза характеризується появою ряду нових зовнішніх морфологічних ознак або нових органів [74].

Вченими фенологами [22,74] розроблена методика визначення фенологічних фаз для багатьох культурних рослин.

У хлібних злаків (пшениця, жито, ячмінь, овес) відзначаються такі фенологічні фази: 1) проростання насіння, 2) сходи, 3) 3-й листок, 4) кушіння (розгалуження) з підземних вузлів стебла, 5) вихід у трубку (стеблуння, початок росту стебла головного пагона), 6) колосіння (викидання волоті), 7) цвітіння, 8) молочна стиглість, 9) воскова стиглість, 10) повна стиглість.

У кукурудзи відзначаються: сходи, поява 3-го листка і наступних листків, викидання волоті, цвітіння султана, молочна, воскова і повна стиглість.

В однолітніх трав'янистих рослин (соняшник, гречка, коноплі та ін.) розрізняють наступні фази: 1) проростання насіння 2) сходи, 3) поява першої пари дійсних листків, 4) розгалуження стебла, 5) стеблуння, 6) утворення суцвіть, 7) цвітіння, 8) утворення плодів (зелена стиглість насіння), 9) дозрівання насіння (повна стиглість).

У зернобобових – сої, гороху, кормових бобів, вики, квасолі, люпину та ін. бобових з моменту початку формування плодів відзначаються фази зелених, сизих і бурих бобиків.

У томатів також визначаються окремі фази дозрівання плодів: зелені плоди, бланжова стиглість, повна стиглість, переспілі плоди. У баштанних культур визначається так звана збиральна стиглість.

У капусти на першому році життя визначають такі фази: сходи, поява 1-го справжнього листка, поява 3-го справжнього листка, початок завивання качана, технічна стиглість.

У плодкових культур (яблуна та ін.) відзначають такі фази: 1) набрякання бруньок, 2) розпускання квіткових і листкових бруньок, 3) розгортання перших листків, 4) утворення суцвіть, 5) цвітіння, 6) зав'язування плодів, 7) дозрівання плодів, 8) осіннє розцвічування листя, 9) листопад.

При спостереженнях за коренеплодами в перший рік життя (буряк цукровий і кормовий, бруква, морква та ін.) відзначаються фази сходів, появи 1-ї, 2-ї і 3-ї пари справжніх листків, початок росту коренеплоду. На другий рік життя коренеплодів відзначаються такі фази: поява розетки, стеблуння, поява бокових пагонів, цвітіння, початок дозрівання, збиральна стиглість.

Таким чином, фенологічні фази характеризують не тільки зміну морфологічних ознак рослин, але вони найчастіше пов'язані з детальною характеристикою господарсько-важливих ознак культурних рослин. Вивчення фаз розвитку і росту рослин, термінів настання окремих фаз у різних видів рослин у різних географічних умовах і визначення їхньої тривалості становить предмет окремої дисципліни сільськогосподарської метеорології – *фенології*.

В онтогенезі рослин відбувається ряд закономірних змін у їхній будові в зв'язку з віковими періодами їхнього життя. Тому поряд з фенологічними фазами й етапами органогенезу варто розрізняти також і вікові періоди.

Процеси старіння, які залежать від фактора часу в індивідуальному житті рослини, є найбільш загальними. Всі явища і процеси в житті рослини протікають у часі, мають визначену тривалість, свій початок і свій кінець, тобто зазнають вікових змін. Протопласт, ядро, органіди клітини, тканини, органи, фізіологічні процеси та в цілому весь рослинний організм зазнають вікових змін.

При нормальних умовах існування і розвитку особини вікові зміни відбуваються синхронно з її розвитком; їх практично важко відокремити від стадійних і органоутворювальних процесів. При несприятливих умовах для розвитку рослин синхронність цих процесів порушується. У цьому випадку стадійні та органоутворювальні процеси затримуються, а процеси старіння продовжуються і навіть можуть прискорюватися. Тому вікова періодизація життєвого циклу, зокрема, багаторічних полікарпічних рослин проводиться за морфофізіологічними ознаками, в зв'язку з розвитком.

Таким чином, вікові зміни відображають не тільки певний морфофізіологічний стан самої особини, але і стан тих процесів, які пов'язані безпосередньо з відтворенням нових індивідумів. Отже вони відображають загальні біологічні закономірності життя не тільки особин, але і усього виду.

Життєвий шлях індивідуума у насінневих рослин починається з проростання насіння. Тому перший віковий період часто визначається як період або стан паростка рослини. При цьому, на відміну від наступного вікового періоду, паростки поряд з автотрофним живленням використовують і запаси поживних речовин насіння. Стан паростків характеризується тим, що всі органи (корені, листки, зародковий пагін) є зародковими органами, які утворилися за рахунок речовин материнського організму і насіння. Тривалість періоду паростка в однолітніх рослин визначається декількома днями, рідше декількома тижнями, у багаторічних займає не більш одного вегетаційного періоду, а частіше, як і в однолітніх рослин, триває кілька днів [74].

Тривалість періоду проростання визначається в залежності від ступеню диференціації бруньки й у цілому зародка в насінні, який у різних видів різний.

Другим віковим періодом є ювенільний період. Він характеризується формуванням вегетативних органів – листків, стебел, коренів. У цей період найбільш чітко в онтогенезі проявляються ознаки, властиві віковим формам. Морфологічно в цей період усі органи звичайно різко відрізняються від дорослих рослин за своєю будовою та розміщенням. Ювенільний період найчастіше називають також виргінільним (незайманим), відзначаючи тим самим невідповідність рослини до плодоношення. Тривалість ювенільного періоду варіює від декількох тижнів в однорічних трав'янистих рослин до декількох років у деяких багаторічних трав і особливо деревних порід.

Третій віковий період – статева зрілість або зрілість рослин – характеризується формуванням органів розмноження, починаючи від утворення квіткових горбків у зародковому суцвітті, диференціації археспоріальних клітин у тканинах пильовика і насінневого зародка бруньки (материнських клітин мікро- і макроспор) і закінчуючи утворенням зиготи.

Із загасанням процесів, пов'язаних із плодоношенням і відмиранням основних вегетативних органів рослини, починається наступний, останній віковий період онтогенезу рослин – старіння, яке завершується відмиранням рослини.

У полікарпічних багаторічних форм процес старіння має ряд особливостей у порівнянні з однолітніми, тому що окремі пагони можуть старіти і відмирати, а в організмі в цілому продовжуються процеси росту і розвитку нових пагонів (за рахунок своїх запасів і сплячих бруньок).

Між фенологічними фазами і етапами органогенезу існує тісний зв'язок [19,48,74].

3.3 Етапи органогенезу в онтогенезі вищих рослин

Фенологічні спостереження – це спостереження за основними фазами росту і розвитку рослин, однак вони не відображають усіх складних органоутворювальних процесів, які протікають у міжфазні періоди. Весь процес органогенезу рослин відбувається етапами на базі визначених стадій розвитку і тому, якщо встановити, на якій стадії проходить той або інший етап органогенезу, можна потім за станом етапів органогенезу з порівняно високим ступенем вірогідності судити про зворотне, тобто на якій стадії розвитку знаходиться рослина.

При всій специфічності формоутворювальних процесів, властивих кожному виду, роду і сімейству рослин, існують закономірності і

послідовність органогенезу пагонів і суцвіть, спільні для усіх вищих рослин. Ф.М. Куперман [46,48] встановила дванадцять основних етапів органогенезу, спільних для усіх видів покритонасінних рослин, які наведені на рис. 3.1. та табл.3.2 На I-II етапах органогенезу формується вегетативна сфера пагона.

I *етап органогенезу* у більшості сільськогосподарських культур проходить у міжфазний період проростання насіння – поява сходів. У багаторічних полікарпічних рослин пазушні бруньки, з яких розвиваються пагони другого, третього і наступного порядків, також починають свій розвиток з I етапу. При цьому в конусі наростання відбувається анатомічна диференціація первинної меристеми на основні тканини майбутнього стебла і листя.

В основі конуса наростання добре розрізняються зародкові листки. Так, наприклад, у ярої й озимої пшениці є 3–5 зародкових листків, у кукурудзи – 5-7, у соняшнику – від 3 до 7 в залежності від скоростиглості сорту. На цьому етапі конуси наростання не тільки різних сортів, але і різних видів рослин зовні дуже подібні й розрізняються частіше розмірами і ступенем опуклості первинного горбика зародкового стебла.

II *етап органогенезу*. Слідом за появою сходів рослини переходять у II етап органогенезу. Цей етап у більшості рослин проходить у міжфазний період сходи – вихід у трубку або початок стеблуння, а в багаторічних рослин збігається з процесом внутрішньобрунькової диференціації верхівкової і пазушних бруньок.

II етап органогенезу характеризується диференціацією конуса наростання на вузли й укорочені міжвузля зародкового стебла, а також формуванням листових зачатків. У багатьох видів рослин визначається не тільки кількість вузлів і міжвузля дорослого пагона, але ступінь і характер куціння злаків і розгалуження стебла у дводольних рослин. У рослин з незавершеним ростом пагона (наприклад, у багатьох видів бобових і гарбузових рослин) на II етапі тривало йдуть процеси диференціації вузлів і міжвузлів стебла.

Кількість вузлів і листків стебла метамерів, що закладаються на II етапі органогенезу, визначається видовими (сортowymi) спадковими особливостями рослин і умовами їхнього розвитку в цей період. За сприятливих умов погоди кількість метамерів стебла є типовим для кожного сорту або різновидності.

У більшості зернових культур фаза виходу в трубку супроводжується переходом пагона до III етапу органогенезу і майже відразу переходить до IV етапу. На III і IV етапах органогенезу відбувається диференціація осі суцвіття.

III *етап органогенезу*. Витягування і «сегментація» конуса наростання – зародкової осі суцвіття. Чим сприятливіші умови для ростових процесів на III етапі, тим більше формується зародкових члеників колоса, мітелки,

кошика і тим довший буде колос, більший початок, ширший діаметр кошика соняшника. Оскільки III етап проходить швидко, то спостереження за сегментацією конуса наростання здійснюються без детального підрахунку зміни кількості сегментів.

IV етап органогенезу. Формування так званих лопатей суцвіття, зародкових віточок суцвіття або колоскових горбиків у злаків.

Таким чином, на III і IV етапах органогенезу, які у більшості рослин проходять ще на початку виходу в трубку або на початку стеблуння, уже визначаються можливі величини суцвіття, колоса, мітелки, качана, кошика і парасольки. Завершується IV етап органогенезу утворенням квіткових недиференційованих горбиків (квіткової меристеми). Кількість квіткових горбиків у суцвітті може продовжувати наростати на V етапі.

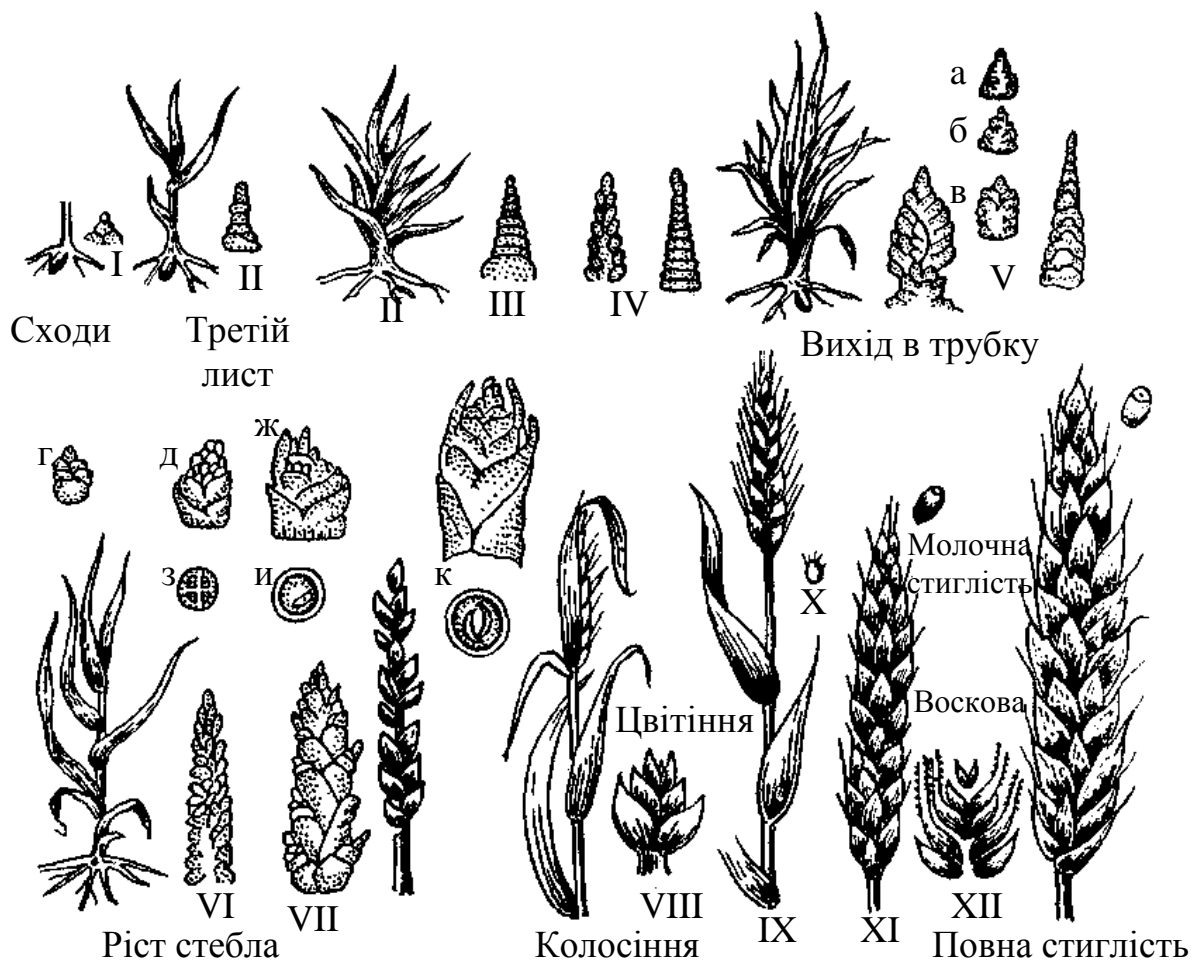


Рис. 3.2 – Фази розвитку й етапи органогенезу пшениці.
(Ф.М. Куперман, О.І. Ржанова, 1963).

На V і VI етапах органогенезу формуються квітки і генеративні органи, археспорії, мікроспори (материнські клітини пилку) і макроспори (зародкові мішечки).

V етап органогенезу характеризується диференціацією основних органів квітки. Спочатку в більшості видів рослин утворюються зачатки покривних органів – чашечки та віночка і власне генеративних органів — тичинкових і пестичних горбиків.

Таблиця 3.2 Фенологічні фази, етапи органогенезу та елементи продуктивності рослин (за Ф.М. Куперман)

Етапи органогенезу	Суть процесу	Фенологічна фаза	Елементи продуктивності
I	Конус наростання недиференційований, розміром 0,1-0,3 мм	Проростання насіння, поява сходів (1-2листки)	Густота рослин
II	Закладання вузлів і міжвузлів стебла у вигляді поперечних рубчиків, диференціація конусів наростання бокових пагонів	Сходи (3 листки), початок і середина кущіння	Коефіцієнт загального кущіння, зимостійкість озимих
III	Закладання члеників стрижня колоса, міжвузлів волоті	Кінець кущіння	Кількість члеників у стрижня колоса, гілочок у волоті
IV	Формування колоскових горбочків	Початок виходу у трубку (випрямлення пагона)	Кількість колосків у суцвітті, посухостійкість
V	Формування квіткових горбочків (археоспорогенез)	Стеблування	Кількість квіток у колосках
VI	Формування пиляків і маточки	Середина фази стеблування	Фертильність квіток, жаростійкість
VII	Закінчення формування яйцеклітини і пилку, інтенсивний ріст усіх частин суцвіття (гаметогенез)	Набухла піхва останнього листка	Те ж саме
VIII	Закінчення формування і досягання усіх органів квітки (гаметогенез)	Колосіння, викидання волоті	Те ж саме
IX	Запилення, запліднення, формування зиготи (зиготогенез)	Цвітіння	Озерненість колоса
X	Формування зернівки (ембріогенез)	Формування зернівки (перед молочний стан)	Розмір зернівки
XI	Накопичення поживних речовин	Молочний і тістоподібний стан зернівки	Маса зернівки
XII	Перетворення рухомих	Воскова і повна	Те ж саме

	поживних речовин у зернівці на запасні	стиглість зернівки	
--	--	--------------------	--

Наприкінці V етапу в них можна розрізнити утворення первинного археспорія, потім спостерігається подальша диференціація клітин вторинного археспорія.

VI *етап органогенезу* характеризується процесами утворення материнських клітин пилку (мікроспор і мікроспороцитів) і зародкового мішечка (макроспор і макроспороцитів). Цей етап характеризується також початком посиленого росту покривних органів квітки.

На VII і VIII етапах органогенезу звичайно завершується формування гамет (полових клітин рослини – пилку і яйцевого апарата зародкового мішечка). Квітка здатна до здійснення основної функції — запліднення.

VII *етап органогенезу*. На цьому етапі відбувається формування чоловічого і жіночого гаметофіта. Тобто відбувається поділ ядра й утворення двоклітинного пилкового зерна – генеративної клітини і вегетативного ядра пилку. Пилкові зерна значно збільшуються в розмірах. Одночасно продовжується посилений ріст зародкового мішечка.

Спостерігаються високі темпи росту покривних органів квітки, які захищають на цьому етапі генеративні органи, причому, віночок росте швидше, ніж чашечка. Посилено розростаються вегетативні органи суцвіття – членики колосу, гілочки волоті, головка конюшини, квітколоже кошика; витягаються тичинкові нитки, росте стовпчик маточки, збільшується розмір зав'язі.

VIII *етап органогенезу*. Завершуються процеси гаметогенеза і формування статевого апарата рослин – пилку і яйцеклітини. На цьому етапі відбувається формування видимої частини фази бутонізації, вихід віночка за межі чашечки, посилений ріст міжвузля, яке несе суцвіття і квітконос. Відзначаються фази колосіння у пшениці, жита, ячменю і багаторічних злаків, а також появи нитковидних стовпчиків з обгортки качана у кукурудзи (цвітіння).

IX *етап органогенезу*. Цвітіння, запліднення й утворення зиготи. Процеси цвітіння у квіткових рослин розрізняються за тривалістю, способами запилення, типами запліднення і нарешті ведуть до утворення зиготи.

X *етап органогенезу*. Посилений ріст плоду, зародка й ендосперму насіння. На цьому етапі дуже рано починається ділення зиготи, утворення зародка і заповнення клітинами ендосперму зародкового мішечка.

На X етапі органогенезу зародок починає диференціюватися на осьові органи і сім'ядолі. Встановлено, що до кінця X етапу органогенезу насіння багатьох видів рослин (пшениці, жита, бавовнику та ін.) є життєздатним; його можна пророщувати на живильних середовищах і при дотриманні необхідних умов схожість насіння досягає 90–100 %. В цей час у зародка

добре помітний зародковий корінь з кореневим чохлаком і брунька з декількома зародковими листочками. Кількість і форма їх визначаються видовими (сортовими) особливостями насіння.

На XI–XII етапах органогенезу завершується формування плоду і насіння, йдуть процеси нагромадження поживних речовин і перетворення їх на запасні, специфічні для кожного сімейства, роду, виду (сорту).

XI етап органогенезу. Цей етап характеризується ростом плодів у діаметрі, різкою зміною будови стінок зав'язі і нагромадженням поживних речовин. На цьому етапі, коли в плодах і насінні накопичується велика кількість води, вони досягають свого максимального розміру, при цьому в насінні відповідно до їх видової і сортової специфіки йде ряд складних біохімічних процесів. У той же час із завершенням морфологічної диференціації їхній ріст (плоду, насіння і зародка) як у довжину, так і в ширину різко сповільнюється.

XII етап органогенезу – дозрівання насіння. Цей етап характеризується перетворенням поживних речовин на запасні, різким зневоднюванням насіння, переходом зародка насіння у деяких видів в стан тимчасового змушеного (у багатьох видів глибокого органічного) спокою. При цьому від специфіки запасних поживних речовин, накопичених у насінні, залежать не тільки видові, але і сортові особливості росту паростків на ранніх етапах органогенезу. Ці особливості у величезній більшості видів рослин впливають на ріст рослин на більш пізніх етапах. У деяких крупно насінневих видів рослин диференціація органів квітки (аж до VI етапу) може здійснюватися при вирощуванні рослин у темряві за рахунок запасних речовин насіння (за умови нормального формування материнської рослини на XI–XII етапах). У більшості видів рослин XII етап завершується повною стиглістю насіння.

Тривалість етапів органогенезу, інтенсивність органоутворювання й амплітуда варіювання тривалості кожного етапу визначається ходом спадкоємної інформації виду (сорту) і ступенем оптимізації основних факторів, до яких адаптована рослина.

У багаторічних, полікарпічних трав'янистих і деревних рослин пагони різних років життя, так само, як і пагони різних порядків на тій же самій рослині, можуть бути одночасно на різних етапах органогенезу. В той час як одні пагони тільки ще закладаються у бруньці й перебувають на I–II етапах органогенезу і з них потім виростають ростові пагони, репродуктивні пагони, які багато років перебувають на II етапі у стані вегетації, швидко розвиваються і досягають XII етапу органогенезу. Тому в багаторічних рослин прийнято розрізняти систему пагонів, а про стан розвитку рослини в цілому судять по пагонах, які досягли найбільш високого рівня розвитку (етапів органогенезу).

Стежачи за фенологічними фазами росту рослин, їх інтенсивністю можна, застосовуючи технологічні прийоми, регулювати елементи продуктивності рослин у запрограмованому напрямку.

3.4 Основні положення закону єдності етапів органогенезу

Багаторічні спостереження за розвитком, ростом і процесами органогенезу різних життєвих форм, які представляють значну кількість видів, родів і сімейств культурної і дикоростучої флори, дослідження росту і диференціації органів у зв'язку зі зміною режиму живлення, освітлення, зволоження, температури та інших факторів дозволили сформулювати такі основні положення закону єдності етапів органогенезу квіткових рослин [48].

1. Усім квітковим рослинам притаманна єдність процесів формування пагонів, яка виражається в послідовності проходження дванадцяти етапів органогенезу.

2. Розходження в тривалості етапів органогенезу пагонів характеризують основну розмаїтість життєвих форм квіткових рослин і їхнє довголіття.

Найбільші розходження в тривалості існують на I – Петапах органогенезу. Тривалість цих етапів у різних видів сімейств і їхніх життєвих форм варіює від декількох годин до багатьох десятків і сотень років. Так, у ефемерів I – II етапи тривають не більше 1–2 днів, у інших – до 5–6 днів. У однорічних рослин тривалість I – II етапів варіює від 6–7 днів до 200–240 днів у озимих культур. У дволітніх рослин I–II етапи тривають залежно від виду (сорту) і умов збереження від 150 до 300 днів і більше. У багаторічних трав'янистих і деревних форм період формування вегетативної сфери (кореневищ, цибулин, крони та ін.) може тривати від одного до багатьох десятків років. Тривалість III – IX етапів, і особливо III–V етапів, також варіює від десятків днів у однолітніх пагонів до декількох сотень днів і 2–3 років у багаторічних життєвих форм.

Таким чином, життєві форми квіткових рослин і їхнє довголіття визначаються переважно тривалістю I – II етапів органогенезу. При цьому довголіття різних життєвих форм квіткових рослин визначається не тільки тривалістю проходження I – II етапів функціонуючих пагонів, але і потенційною тривалістю спокою сплячих бруньок [48].

3. Для всіх життєвих форм квіткових рослин характерне формування пагонів з різними циклами етапів органогенезу.

Закон єдності етапів органогенезу квіткових рослин в усіх життєвих формах полягає у формуванні трьох морфофізіологічних типів пагонів:

– перший тип характеризується завершеним циклом етапів органогенезу, коли пагони проходять послідовно від I до XII етапу (так названі генеративні або репродуктивні пагони);

– другий тип відрізняється незавершеним циклом етапів органогенезу, коли пагони не переходять до III етапу, можуть довгостроково рости на II етапі, а потім відмирають у стані I або II етапів (так названі вегетативні або ростові пагони і сплячі бруньки);

– третій тип з перерваним у період від III до X етапу циклом органогенезу (потенційно репродуктивні пагони, окремий випадок першого типу).

Співвідношення кількості пагонів із завершеним і незавершеним циклами етапів органогенезу визначає життєві форми рослин, їхнє довголіття і поновлення. В однолітніх монокарпічних рослин чисельно переважають пагони з завершеним циклом органогенезу. У багаторічних полікарпічних форм рослин переважають пагони з незавершеним циклом органогенезу, які забезпечують вегетативне розмноження, що сприяє довголіттю рослин.

4. Закон єдності органогенезу квіткових рослин полягає у морфологічній ярусній мінливості будови пагонів (гетерофілії, гетерорамії, гетерокарпії) і відображає кількісні та якісні відмінності біохімічних і фізіологічних процесів, які властиві кожному етапу.

В оптимальних умовах для росту і розвитку пагонів із завершеним циклом етапів органогенезу існує асинхронне, послідовне проходження чергових етапів у пазушних бруньках. При цьому, чим далі в стадійному розвитку просунулися тканини і пазушні бруньки, тим швидше в них протікають V – VIII етапи органогенезу в межах однієї і тієї ж особини, тим сильніше виявляється асинхронність у розвитку пазушних бруньок різних ярусів, а також різних ярусів квіток у суцвітті.

При розвитку найбільш розвинутих пазушних бруньок більше на два-три етапи має місце припинення в розвитку, а потім редукція органів, які відстають у розвитку, або їхній перехід у стан покою. Останнє частіше має місце, коли бруньки знаходяться на I або II етапах органогенезу.

Після опадання нормально дозрілих органів або при ушкодженнях (механічних, шкідниками або поїдання тваринами) органів, які пішли на два-три етапи вперед і спричинили внаслідок зміни біохімізму редукцію відсталих органів, пазушні сплячі бруньки можуть почати функціонувати і пройти в залежності від умов і їхнього розташування на пагоні завершений цикл органогенезу або затриматися на II етапі в стані ростових пагонів.

У багатьох видів квіткових рослин припинення в розвитку на II етапі характерне для головної осі пагона: завершений цикл етапів органогенезу в них здійснюється пагонами другого і наступного порядків. У рослин, які відносяться до життєвих форм із пагонами індетермінантного росту (ліани), завершений цикл органогенезу мають лише бокові пагони різних порядків.

Припинення на II етапі в розвитку пагона призводить до переходу рослин від моноподіального до симподіального типу розгалуження.

Онтогенетична мінливість пагона, властива усім життєвим формам квіткових рослин, виявляється як у морфологічній мінливості органів, так і в численних кореляціях між морфологічними ознаками і рівнем показників біохімічних і фізіологічних процесів. До їхнього числа відноситься ярусна мінливість у вмісті пігментів, продуктивності фотосинтезу, білкового і нуклеїнового обміну, дихання, інтенсивності росту і диференціації тканин.

5. Закон єдності етапів органогенезу квіткових рослин виявляється в онтогенетичній мінливості будови їхніх органів.

Типовий морфогенез життєвої форми квіткових рослин і їхніх пагонів, реалізація спадкоємного коду інформації визначаються ступенем оптимізації умов, необхідних для проходження етапів органогенезу, росту органів і для переходу рослини від одного етапу до іншого.

В залежності від ступеня оптимізації умов у межах, визначених генетичним кодом спадковості, спостерігається кількісна варіабельність ознак, яка позначається на загальній величині біомаси рослин і їхній насіннєвій продуктивності. Так, наприклад, у злаків оптимальні умови: на II етапі органогенезу визначають типову для даного виду кількість продуктивних пагонів кущіння; на III–IV етапах – потенційну величину суцвіть (кількість колосків у колосі, гілочок у мітелці); на V етапі – потенційно можливу кількість квіток. У бобових, пасльонових і гарбузових на X етапі визначають оптимальні розміри плодів, у хрестоцвітих визначають також і довжину суцвіття; на XI–XII етапах – розміри і якість плодів і насіння.

Уповільнення в темпах проходження етапів органогенезу, відхилення від оптимуму може спричинити збільшення кількості метамерних органів відповідно до того, на якому етапі мала місце затримка в розвитку. Так, на II етапі може збільшитись кількість вузлів, міжвузля, листків, на III–IV етапах – кількість члеників осей суцвіття, на V етапі – кількість квіток, на VI–VIII етапах може бути збільшення розмірів покривних органів квітки, збільшення кількості насінин у плодах.

Уповільнення темпів розвитку на ранніх етапах органогенезу в поєднанні з інтенсивним ростом підсилює онтогенетичну мінливість і підвищує ступінь дивергенції ознак на більш пізніх етапах. Навпаки, відхилення від оптимуму при прискоренні в темпах проходження окремих етапів органогенезу і при зниженні інтенсивності ростових процесів, можуть викликати зменшення кількості метамерів відповідно тому, на якому етапі мали місце ці явища. Так, на всіх етапах органогенезу зниження інтенсивності росту при прискоренні в розвитку призводить до формування карликовості (нанізму): зменшується кількість листків, розмір суцвіть, кількість квіток і плодів.

Особливе значення для продуктивності рослин мають умови проходження III, IV і V етапів органогенезу. Якщо умови для росту на IV–V етапах органогенезу сприятливі, то формуються багатоколоскові

колоски пшениці, жита, ячменю, розвинуті, багаторазово розгалужені волоті у вівса, проса, великі кошики з великою кількістю квіткових горбиків у соняшнику. Чим сприятливіші умови для росту в цей період, тим більше буде колосків у колосі або мітелці, кількість колосків, а потім квіток і зерен у кожному рядку в качані, тим більше буде рядків у кошику соняшнику. Навпаки, якщо ІУ етап проходить занадто швидко або в несприятливих умовах для росту рослин (недостатня вологозабезпеченість і занадто високі температури), то кількість органів у суцвітті різко скорочується, і вже на цьому етапі йде відмирання (усихання) частини колоскових горбиків і зародкових гілочок суцвіття.

Такі факти неодноразово спостерігаються в умовах південних районів України, коли високі температури і низька відносна вологість повітря при дефіциті ґрунтової вологи призводять до усихання від 20 до 80 % закладених на ІV етапі колосків. Тому важливо саме тоді, коли рослини вступають у ІІІ і ІV етапи органогенезу, створити шляхом міжрядної обробки ґрунту і за допомогою дуже ранніх весняних підживлень найкращі умови для використання зимових і весняних опадів, пристосувавши саме до цих етапів підживлення і поливи. Якщо упущені ІІІ – ІV етапи формування суцвіть, то наступні навіть найрясніші поливи звичайно вже не можуть вплинути на розміри колоса, волоті качана.

Різниця в термінах внесення підживлення може іноді визначатися всього лише декількома днями, а ефект його дії може бути дуже різним. Особливо важливо це для такої культури, як рис, де ефективність поливу майже цілком залежить від ІV етапу органогенезу.

Забезпеченням рослин вологою, теплом, світлом і живленням на ІІІ – ІV етапах органогенезу в період формування зародкового колоса мусить значною мірою визначатися і вибір найбільш оптимальних термінів посіву в кожному районі, з урахуванням термінів збирання, які гарантують повну господарську реалізацію урожаю.

У роки з надзвичайним дефіцитом вологи в період проходження рослинами VI і VII етапів органогенезу різко зменшується кількість нормального (фертильного) пилку і порушується формування зав'язей, що призводить до недорозвинення квіток і різкого зниження врожаю. Тому у всіх районах, де застосовується зрошення пшениці, овочевих і технічних культур, варто проводити другий вегетаційний полив на VI етапі органогенезу.

На VI етапі при нормальній вологозабезпеченості посилено ростуть середні міжвузля пагонів, при дефіциті вологи у ґрунті стебла рослин бувають укороченими. За довжиною міжвузля можна встановити, чи мали місце відхилення у розвитку рослин.

3.5 Механізми формування властивостей урожаю

3.5.1 Біологічні типи механізмів формування урожаю

Урожай рослин являє собою кінцеву продукцію життєдіяльності структурної системи, її елементів, що розвиваються і взаємодіють у онтогенезі за генетичною програмою у відповідності до біологічних властивостей рослин і під впливом факторів зовнішнього середовища та антропогенного внеску.

За цим визначенням виявляються певні типи біологічних механізмів формування урожаю у зв'язку зі змістом і формою природних екосистем і надорганізмені важелі, що додаються до природних механізмів [22].

Механізми формування урожаю засновані на біологічних властивостях рослин. За особливостями генетичної програми можемо виділити онтогенетичний та філогенетичний їх типи механізмів формування врожаю.

Онтогенетичні механізми формування врожаю здійснюються згідно з характером періодизації онтогенезу за генетичною програмою простого регулювання розвитку рослин і програмою факторного регулювання. Просте регулювання відбувається за оптимальних умов навколишнього середовища. Воно без перешкод здійснює наявну генетичну програму спадкового коду. За цим типом механізм формування урожаю не залежить від факторів зовнішнього середовища. Він зумовлений лише біологічними властивостями рослин та їх динамікою протягом онтогенезу.

Зазначимо, що механізм формування врожаю за типом простого регулювання заданою генетичною програмою вміщує основоположні принципи, методи і засоби, які становлять фундаментальний кістяк теорії урожаю. Але в розглянутих нами концепціях урожаю такий механізм не знайшов навіть натяку ні часткового, ні цілковитого відображення.

Другий тип формування врожаю заснований на генетичному регулюванні за впливом факторів зовнішнього середовища. Цей тип доцільно визначити як онтогенетичний механізм факторного регулювання урожаю.

Регулювання генетичною програмою процесів за впливом факторів на життєдіяльність рослин становить факторний тип онтогенетичного механізму формування урожаю. До фундаментальних принципів і закономірностей біологічного характеру першого типу долучаються біохімічні та біофізичні засади впливу умов і факторів середовища за законами збереження енергії і маси на фізіологічні процеси, що не спричиняють зміни змісту спадкового коду. Але їх значення відчуває генетична програма, яка вносить корективи у процеси органогенезу та морфогенезу за спільною дією факторів, специфічних для особин рослинного організму. У факторному механізмі формування урожаю відбувається найбільш повна взаємодія генотипу та фенотипу. Вона визначає продукційний процес протягом всього онтогенезу.

Філогенетичний механізм формування урожаю пов'язаний з істотною взаємодією генотипу і фенотипу та переважаючим відчутним впливом факторів зовнішнього середовища на спадкові властивості організму за рахунок процесів адаптації. Внаслідок незворотних адаптаційних змін вони коригують чи навіть змінюють генотип. Цей процес започатковується в онтогенезі, здійснюється протягом низки вегетаційних циклів у філогенезі та визначається в еволюції рослин. Такий тип механізму формування урожаю зумовлений генетичною програмою формування онтогенезу за замкненим циклом із зворотними зв'язками.

Теоретичні положення біології розвитку рослин та емпіричні й експериментальні надбання з питань регулювання онтогенезу генетичною програмою за замкненим циклом зі зворотними зв'язками істотно виходять за межі нашої роботи і потребують спеціальних досліджень зміни генотипу за взаємодією з фенотипом.

Таким чином, за біологічними засадами визначені два онтогенетичні та один філогенетичний тип механізмів формування врожаю [22].

Перший онтогенетичний тип механізму формування врожаю заснований на генетичній програмі простого формування розвитку рослин у відповідності до їх біологічних особливостей періодизації. Він надає фундаментальні положення до заснування теорії урожаю.

Другий онтогенетичний тип механізму формування врожаю заснований на генетичній програмі факторного регулювання розвитку рослин і формування рослинної продукції на кожному етапі періодизації згідно з обраною системою. Цей тип механізму формування врожаю є головним у дослідженні біологічних властивостей механізму та впливу факторів протягом вегетації [22].

3.5.2 Формування кінцевого урожаю

Онтогенетичний механізм формування урожаю за простим регулюванням генетичною програмою має враховувати динаміку та особливості взаємодії органів морфогенезу. Протягом вегетації завдяки росту і розвитку рослин змінюються маса, розміри і форма органа, що встановлює нові потреби та змінює співвідношення між оптимальними значеннями факторів у їх динаміці. На цьому етапі ми вважаємо, що це положення має стабільні властивості, які не вносять змін у періодизацію онтогенезу і взаємодію між органами. Формування врожаю здійснюється головними складовими структури урожаю та всією масою рослини. І потенціал урожаю складається з кількості рослин, маси рослин та їх відношення.

Дослідженнями між урожайністю та її різними елементами [21,22,67] у основні періоди онтогенезу на емпіричному матеріалі доведено, що за законами максимуму та оптимуму максимальна урожайність утворюється

за оптимального значення елемента продуктивності. Оскільки він відокремлений від інших елементів, то згаданий максимум є частинним. Якщо ж усі елементи продуктивності одночасно отримують оптимальні значення, то вони визначають біологічний потенціал урожаю або абсолютний максимум урожайності [22,66,74].

Дослідженнями залежності між урожаем та різними його елементами у основні періоди онтогенезу встановлено, що головними ознаками формування врожаю за простим механізмом є густина посіву та маса рослин.

Найчастіше до урожаю належать плодові органи у вигляді зерна, бобів, насіння тощо. Найбільш загальною є структура урожаю, запропонована А.О. Сапегіним у вигляді взаємодії кількості рослин на визначеній площі та середньої маси продуктивного органа .

Рівень урожаю контролюється нормою висіву насіння та кількістю рослин, які утворили сходи, а потім розвитком рослини та її кореневої системи. Вплив складових структури врожаю на врожай озимої пшениці підтверджують дані табл.3.3, в якій наведені коефіцієнти кореляції урожайності з різними показниками структури урожаю.

Крім вказаних вище складових урожайності, на її формування впливають антропогенні фактори. Дія антропогенних факторів на метаболізм формування урожаю відбувається як на біологічному рівні, так і поза його межами.

3.5.3 Структура урожаю

Залежно від господарського призначення польової культури вміст урожаю можуть становити стебла рослин (льон, коноплі), їх листки (капуста, салат та ін.), коренеплоди (буряк, картопля, морква) тощо.

Найчастіше до урожаю належать плодові органи у вигляді зерна, бобів, насіння тощо. Кожному із наведених типів вмісту урожаю притаманна власна структура його складових. Найбільш загальною та переконливою є схема структури врожаю зернових культур, запропонована А.О.Сапегіним [85] у вигляді взаємозв'язку чисельності злакових рослин p на визначеній площі та середньої маси m продуктивного органа у вигляді зерна.

Для зернових культур такий підхід набув розвитку у роботах В.Є.Пісарєва [71], В.С.Немчинова [62] та ін.

У подальшому завдяки дослідженням В.Я.Юр'єва (1941), В.С.Немчинова (1967), М.С.Савицького (1948), О.І.Носатовського (1965), Д.П.Томашевського (1970) і багатьох інших деталізувались уявлення про структуру врожаю і взаємодію органів рослин, визначення їх оптимальних значень та інших властивостей.

За даними М.С. Савицького елементи урожаю зернових культур взаємодіють за механізмом, вираженим схемою

$$Y = p \cdot S \cdot g \cdot m \cdot 10^4, \quad (3.3)$$

де Y - урожайність;

p - густота стояння рослин;

S – середня кількість колосоносних стебел;

g - середня кількість зерен в одному колосі;

m – маса 1000 зерен.

Таблиця 3.3 – Оцінка надійності зв'язків урожайності озимої пшениці із складовими структури урожаю (за В.П. Дмитренком, 2010)

Сорт	Кількість випадків	Коефіцієнт кореляції і похибка	
		R	$\pm\Delta_r$
Кількість рослин на 1 м ² , P			
Миронівська Ювілейна 50	293	0,30	0,05
Безоста 1	675	0,43	0,03
Кавказ	357	0,53	0,04
Кількість пагонів на 1 м ² , S			
Миронівська Ювілейна 50	289	0,54	0,04
Безоста 1	679	0,61	0,02
Кавказ	359	0,60	0,03
Кущистість, B			
Миронівська Ювілейна 50	290	0,10	0,06
Безоста 1	674	0,20	0,04
Кавказ	354	0,02	0,05
Кількість зерен у колосі, G			
Миронівська Ювілейна 50	60	0,23	0,12
Безоста 1	140	-0,12	0,08
Кавказ	62	0,51	0,09
Продовження табл.3.3			
Маса 1000 зерен, A ,г			
Миронівська Ювілейна 50	290	0,55	0,04
Безоста 1	694	0,54	0,03
Кавказ	359	0,55	0,04
Маса зерен у колосі, M ,г			
Миронівська Ювілейна 50	61	0,44	0,10
Безоста 1	140	0,39	0,07
Кавказ	69	0,50	0,09

За змістом формули структури урожаю час утворення кожної складової є власним, зумовлений особливостями онтогенезу рослин.

Як зазначалося раніше, головною складовою урожаю є густина стояння рослин.

Властивості динамічності та оптимальності елементів урожаю у поєднанні із впливом агрометеорологічних чинників вперше були розглянуті у роботах [21,22].

Зазначимо, що схема (3.2) надає деяке формальне досить обмежене уявлення про структуру урожаю за відсутності повноти опису складових стосовно їх маси і висвітлення лише кількісних ознак.

Разом з тим вона спонукає до подальшого дослідження вмісту органів, які формують урожай, часу їх появи та внеску до нього. Саме ці питання і виникають при системному охопленні проблеми моделювання урожаю. У результатах дослідження багатьох авторів розглянуті окремі риси згаданих питань. Найбільш істотна частина їх висвітлена у роботах О.І.Носатовського [74], П.М.Жуковського, Г.М.Добриніна, Ф.Ф.Мацкова [22] та ін. Але цілковиті модельні уявлення про зміст і значення органів формування урожаю, особливості їх динаміки та кількісний внесок у обсяги урожаю у результатах цих та інших досліджень нам не зустрічались.

Сукупність складових урожаю надає певні підстави опрацювати головні властивості фітоценозу стосовно розподілу рослин по поверхні поля та формування структури стрижня агроєкосистеми за розвитком рослин і послідовною появою органів за виразом (3.3). Структурні особливості цього фітоценозу формують його вплив стосовно отримання обсягів сонячної радіації, рівнів і розподілу температури та вологості повітря, вітрової енергії, газообміну, водоспоживання. Вони створюють власний фітоклімат, що забезпечує енергообмін і масообмін рослин із середовищем за принципом самоорганізації за допомогою їх органів.

3.6 Мінливість урожаїв

Прогрес в сільському господарстві сприяв значному підвищенню врожайності усіх культур. Але при загальному зростанні врожайності, коливання її в окремі роки дуже значні і останнім часом не зменшуються. Тому, для одержання програмованих врожаїв і науково - обґрунтованого розміщення сільськогосподарських культур, поряд з вирішенням інших питань, необхідне вивчення часової мінливості врожаїв в різних кліматичних зонах.

Коливання врожаїв сільськогосподарських культур в окремі роки зумовлюється впливом великої кількості факторів, як то: досягнення генетики і селекції, кількість і якість добрив, строки і норми їх внесення, заоби боротьби з шкідниками і хворобами, меліорація земель, види сільськогосподарської техніки і погодні умови.

При вирішенні багатьох практичних питань виникає необхідність оцінки впливу на врожаї окремих факторів або їх груп. Для цього розглядають часовий ряд врожаїв. Часовим рядом називається послідовність спостережень, упорядкованих згідно з часом. Головною особливістю, що відрізняє аналіз часових рядів серед інших видів статистичного аналізу, є суть порядку, в якому проводяться спостереження [63,68]. Якщо в багатьох задачах спостереження, як правило, статистично незалежні, то в часових рядах вони залежні і характер залежності визначається розміщенням спостережень в цій послідовності.

У загальному вигляді часовий ряд являє собою вираз

$$y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n, \quad (3.4)$$

де y_i – значення i -го рівня часового ряду,
 n – довжина часового ряду.

Однією з найважливіших задач аналізу часових рядів є визначення основної закономірності зміни в часі (тенденції) явища, що вивчається. З цією метою розкладають ряд на дві складові, які характеризують різні групи факторів. При цьому за загальну статистичну модель часового ряду беруть модель

$$y_t = f(t) + E_t, \quad (3.5)$$

де $f(t)$ – деяка не випадкова функція часу;

E_t – випадкова складова часового ряду (випадкова компонента).

Ці компоненти часового ряду не спостерігаються, вони – теоретичні величини. В цій моделі вважається, що з часом випадкова компонента не змінюється і будь-яка залежність від часу входить до стаціонарної складової.

Стаціонарна складова часового ряду обумовлюється рівнем культури землеробства, визначає загальну тенденцію зміни врожаю за розглядуваний період, і являє собою плавну лінію – тренд. Тренд характеризує основну закономірність розвитку явищ з часом, але ця закономірність не повністю вільна від випадкових впливів. Тренд описує тенденцію, осереднену для ряду спостережень. Випадкова компонента зумовлена погодними особливостями окремих років, визначає їх вплив на формування врожаїв і характеризує відхилення від лінії тренда [63,68,74].

Такий розклад обумовлюється тим, що рівень культури землеробства впливає на врожайність сільськогосподарських культур не тільки в поточному році, але й у подальшому, тобто сільському господарству притаманна інерційність, внаслідок чого різких коливань врожаїв двох суміжних років, пов'язаних з культурою землеробства, не спостерігається. Тому тренд досить точно характеризує середній рівень урожаїв, сформований певною культурою землеробства, економічними і природними особливостями будь-якого району.

Форма тренда і його параметри визначаються через добір найкращої - (за будь-яким із показників статистичних критеріїв) функції із числа наявних. При правильному виборі тренда відхилення від нього будуть мати випадковий характер. Якщо за певний відрізок часу спостерігається рівномірна зміна врожайності, то лінія тренда описується рівнянням прямої

$$y = a_0 + a_1t \quad (3.6)$$

Якщо ж зміна врожайності нерівномірна то лінія тренда – це парабола другого порядку

$$y = a_0 + a_1t + a_2t^2, \quad (3.6)$$

де y – врожайність;

a_0 – вирівняний рівень врожайності на початку даного періоду;

a_1 – середньорічний приріст врожайності, зумовлений культурою землеробства;

a_2 – прискорення приросту врожайності (тенденція зміни середнього річного приросту);

t – порядковий номер року в ряду врожайності.

Мінливість врожаїв за період оцінюється коефіцієнтом варіації:

$$C_v = \frac{\sigma_y}{\bar{y}}, \quad (3.8)$$

де σ_y – середнє квадратичне відхилення ряду врожаїв;

\bar{y} – середній врожай, ц·га⁻¹.

Коефіцієнт варіації характеризує загальну варіацію ряду врожаїв, яка зумовлена всіма чинними факторами. Доцільно оцінювати також окремо вклад культури землеробства і погодних умов. Для цього загальну дисперсію ряду розкладати на суми двох дисперсій: дисперсію, пов'язану з культурою землеробства ($\sigma_{кз}^2$), і дисперсію, зумовлену погодою окремих років (σ_n^2):

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}; \quad (3.9)$$

$$\sigma_{32}^2 = \sigma_{K3}^2 + \sigma_n^2; \quad (3.10)$$

$$\sigma_n^2 = \sigma_{32}^2 - \sigma_{K3}^2; \quad (3.11)$$

$$\sigma_{32}^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1} \text{ і } \sigma_{\hat{e}_i}^2 = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{n-1}; \quad (3.12)$$

$$\sigma_n^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2 - \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{n-1}; \quad (3.13)$$

$$\tilde{n}_n = \frac{1}{\bar{y}} \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2 - \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{n-1}}, \quad (3.14)$$

де \hat{y}_i – врожайність, розрахована з рівняння лінії тренда
(динамічна середня);

c_n – коефіцієнт варіації врожаїв, зумовлений особливостями
погоди окремих років;

y_i – значення ряду врожаїв;

\bar{y} – середнє арифметичне значення ряду;

n – довжина ряду.

Середня квадратична помилка коефіцієнта варіації σ_{c_n} розраховується з формули

$$\sigma_{c_n} = \frac{c_n \sqrt{1 + c_n^2}}{\sqrt{2(n-1)}} \quad (3.15)$$

В порівнянні з вищеописаними методами розрахунку лінії тренда метод гармонічних зважувань, запропонований З.Хельвігом [74] для прогнозування економічних показників, має ту перевагу, що відпадає необхідність вибору функції аналітичного порівнювання. Головна мета методу гармонічних зважувань полягає в тому, що внаслідок порівняння окремих спостережень часового ряду віддається перевага пізнішим спостереженням.

При використанні методу гармонічних зважувань за деяке наближення $f(t)$ дійсного тренда береться ламаналінія, яка зрівнює чинну кількість даних часового ряду y_t .

Мінливе положення окремих відрізків ламаної лінії, яка представляє тренд, описує безперервну зміну у виучуваному процесі, тобто окремі йо-

го фази. Для визначення окремих фаз руху поточного тренда необхідно вибрати деяке число $k < n$ та за допомогою методу найменших квадратів розрахувати параметри рівнянь лінійних відрізків (фаз тренда)

$$y_i(t) = a_i + b_i t; \quad (i = 1, 2, \dots, n-k+1), \quad (3.16)$$

де $k < n$ – кількість точок згладженого ряду,

при цьому: для $i = 1, t = 1, 2, \dots, k$; для $i = 2, t = 2, 3, \dots, k+1$;

для $i = n - k + 1, t = n - k + 2, \dots, n$.

Параметри a і b визначаються методом найменших квадратів.

Далі слід визначити значення кожної функції $y_i(t)$ у точках: $t=i+n-1, n=1, 2, \dots, k$. Відібрати серед цих значень ті, для яких $t = i$ і визначити через $y_i(t)$ значення функції $y_i(t)$ для $t=i$. Кількість визначень в кожній точці $y_i(t)$ нехай буде q_i . Середнє визначається з виразу:

$$\bar{y}_i(t) = \frac{1}{q_i} \sum_{j=1}^{q_i} y_i(t), \quad j=1, 2, \dots, q_i. \quad (3.17)$$

Прогнозування значення часового ряду визначається з формули

$$\bar{y}_{t+1} = \bar{y}_t + \bar{\omega}_{t+1}, \quad (3.18)$$

де $\bar{\omega}_{t+1}$ – середнє прирощення функції $f(t)$.

Для прогнозу тенденції часового ряду методом гармонічних зважувань повинні виконуватись такі передумови:

- 1) часовий ряд повинен бути досить тривалим, щоб всередині цього ряду була можливість простежити закономірність процесу;
- 2) відхилення від поточного тренда повинні представляти стаціонарний випадковий процес.

Метод гармонічних зважувань враховує ці передумови, а розрахунки виконуються у такій послідовності.

Прирощення функції

$$\omega_{t+1} = f(t+1) - f(t) = \bar{y}_{t+1} - \bar{y}_t \quad (3.19)$$

Середні прирощення

$$\bar{\omega}_{t+1} = \sum_{t=1}^{n-1} C_{t+1}^n \cdot \omega_{t+1} \quad (3.20)$$

де C_{t+1}^n – гармонічні зважування, які визначаються з формули

$$C_{t+1}^n = \frac{m_{t+1}}{n-1}, \quad (3.21)$$

де m_{t+1} – гармонічні коефіцієнти.

При розрахунку гармонічних коефіцієнтів зберігається головна ідея методу – більш пізнім спостереженням надається більше ваги. Найраніші спостереження мають вагу:

$$m_2 = \frac{1}{n-1}, \quad (3.22)$$

в наступний момент вага інформації m_3 буде

$$m_3 = m_2 + \frac{1}{n-1} \quad (3.23)$$

Таким чином, ряд зважувань визначається з рівняння

$$m_{t+1} = m_t + \frac{1}{n-t}; \quad (t = 2, 3, \dots, n-1), \quad (3.24)$$

з початковою величиною, визначеною з рівняння (3.20)

Екстраполяція тенденції часового ряду визначається з виразу

$$y_{t+1} = y_t + \omega_{t+1} \quad (3.25)$$

Запропонований вище алгоритм описує розрахунок динамічної складової часового ряду за методом гармонічних зважувань.

Для екстраполяції тенденції врожайності використовуються щорічні дані середньої обласної врожайності сільськогосподарських культур всіх категорій господарств у центнерах з гектара.

При розрахунках тенденції врожайності сільськогосподарської культури необхідно враховувати те, що часовий безперервний інтервал, в якому розглядається врожайність, повинен складати не менше 18 років. За цієї умови кількість років, що утворюють одну фазу поточного тренда, становить 16 ($k = 16$).

3.7 Основні показники якості насіннєвого матеріалу

Якісний насінний матеріал теж є одним із факторів формування врожаю оскільки забезпечує належний ріст рослин, зменшує негативний вплив бур'янів, хвороб, шкідників і т.ін.

Насіння – це різні плоди- зернівки, сім'янки, горішки, однонасінні боби, бульба та ін. Воно характеризується сортовими і врожайними властивостями і відзначається *фізичними* властивостями: пружністю, механічною міцністю, сипкістю, сорбційною ємністю, вирівняністю та натурою.

Якість насіння – найважливіший фактор урожайності. Вона характеризується *урожайними, сортовими та посівними* якостями [31,66].

Висока якість врожаїв важлива для усіх видів культур. Створення та накопичення поживних речовин в рослинах залежить від ґрунтово-кліматичних умов, технології їх вирощування та сортових особливостей. Обґрунтування раціонального використання технології вирощування, яка б підвищувала якість продукції, потребує встановлення кількісних залежностей якості продукції від факторів навколишнього середовища, серед яких провідне місце займають агрометеорологічні умови [66].

Методику оцінки впливу агрометеорологічних факторів на врожайні якості зерна озимої пшениці розроблено в Одеському селекційно-генетичному інституті М.О. Кіндруком [31].

Під врожайними якостями зерна у насінництві розуміють здатність різних партій зерен одного і того ж сорту давати в різних умовах агротехніки неоднаковий врожай. В залежності від агрометеорологічних умов він може відрізнятись на 4 – 7 ц/га і більше, що навіть перебиває сортові відмінності.

Для оцінки агрометеорологічних умов при прогнозуванні врожайних якостей зерна використовується “екологічна модель” формування врожайних якостей зерна різного рівня: підвищені, середні та зменшені.

За основу при побудові екологічної моделі взяті параметри, розраховані по основних міжфазних періодах, починаючи від колосіння рослин: середня температура повітря, середня відносна вологість повітря, кількість атмосферних опадів, кількість днів з температурою повітря 25° С і вище та 10° С і нижче і кількістю днів з відносною вологістю повітря 50 % і нижче та 80 % і вище (табл.3.4).

Кожен з цих параметрів оцінюється за десятибальною шкалою: 1 – 3 бали для формування насіння із зменшеними врожайними властивостями; 4 – 6 балів – для насіння з середніми властивостями і 7 – 9 балів – для насіння з підвищеними врожайними властивостями. При цьому, найвищий бал відповідає оптимальному значенню фактора. Якщо ж показник значно перевищує екстремальні значення факторів, то він оцінюється балом 0.

Автором методу для практичного використання при складанні прогнозу врожайних властивостей насіння розроблена таблиця, за якою будь яке значення метеорологічного елемента відображено балом врожайності (рис. 3.4).

Сума балів за усіма параметрами моделі у період від колосіння до збирання озимої пшениці відповідає певному рівню врожайних властивостей зерна озимої пшениці. Для зерна з підвищеними врожайними властивостями ця сума становить більше 110 балів, з середніми – від 110 до 95 та зі зниженими – менше 95 балів (табл. 3.5).

Таблиця 3.4 – Межі агрометеорологічних оптимумів формування різного рівня врожайних властивостей насіння озимої пшениці (екологічна модель)(М.О. Кін друк,1990)

Показник	Міжфазний період вегетації	Рівень врожайних властивостей насіння та його оцінка в балах		
		підвищений, 7 – 9	середній, 4 – 6	понижений, 1 – 3
Середня температура повітря, °С	Колосіння – молочна стиглість	13 – 17	10 – 12 18 – 21	менше 10 більше 21
	Молочна – воскова стиглість	16 – 18	11 – 15 19 – 23	менше 11 більше 23
Кількість днів з температу-рою повітря 25 °С і вище	Колосіння – молочна стиглість	0 – 5	6 – 9	більше 9
	Молочна – воскова стиглість	0 – 7	8 – 10	більше 10
Кількість днів з температу-рою повітря 10 °С і вище	Колосіння – молочна стиглість	0 – 4	5 – 9	більше 9
	Молочна – воскова стиглість	0 – 2	3 – 5	більше 5
	Воскова – повна стиглість	0 – 1	2 – 4	більше 5
Кількість днів з температу-рою повітря 5 °С і нижче	Воскова – повна стиглість	0	1	більше 1
Опади, мм	Колосіння – молочна стиглість	61 – 120	21 – 60 121 – 160	0 – 20 більше 160
	Молочна – воскова стиглість	41 – 75	11 – 40 76 – 120	0 – 10 більше 120
	Воскова – повна стиглість	0 – 20	21 – 40	більше 40

Середня відносна вологість повітря, %	Колосіння – молочна стиглість	56 – 80	41 – 55 81 – 95	менше 40 більше 95
	Молочна – воскова стиглість	51 – 75	36 – 50 76 – 90	менше 36 більше 90
	Воскова – повна стиглість	41 – 65	Менше 40 60 – 80	Більше 80
Продовження табл. 3.4				
Кількість днів з відносною вологістю повітря 50% і нижче	Колосіння – молочна стиглість	0 – 6	7 – 15	Більше 15
	Молочна – воскова стиглість	0 – 4	5 – 10	Більше 10
Кількість днів з відносною вологістю 80% і вище	Воскова – повна стиглість	0 – 1	2 – 4	Більше 4

Таблиця 3.5 – Шкала балової оцінки рівня врожайної якості зерна озимої пшениці по міжфазних періодах (М.О.Кіндрук, 1990)

Рівень врожайних властивостей	Сума балів по періодам			Загальна сума балів
	колосіння – молочна стиглість	молочна – воскова стиглість	воскова – повна стиглість	
Підвищений	Вище 36	вище 38	вище 36	вище 110
Середній	31 – 36	33 – 38	31 – 36	95 – 110
Понижений	Нижче 31	нижче 31	нижче 31	нижче 95

Насінництво здійснює два основних процеси щодо розмноження та збереження сортових властивостей: сортозаміну та сортооновлення. При дотриманні агротехнічних вимог сортові і врожайні властивості насіння зберігаються довго. Сортову чистоту насіння визначають як відношення кількості стебел основного сорту до загальної кількості розвинутих стебел даної культури, виражене у відсотках.

На якість насіння впливають умови його дозрівання та організація збирання врожаю.

Щоб одержати насіння з високими посівними якостями зерно після збирання очищується від домішок та калібрується. Практика вирощування більшості культур показує, що перед висівом необхідно проводити передпосівну обробку насіння [31,66].

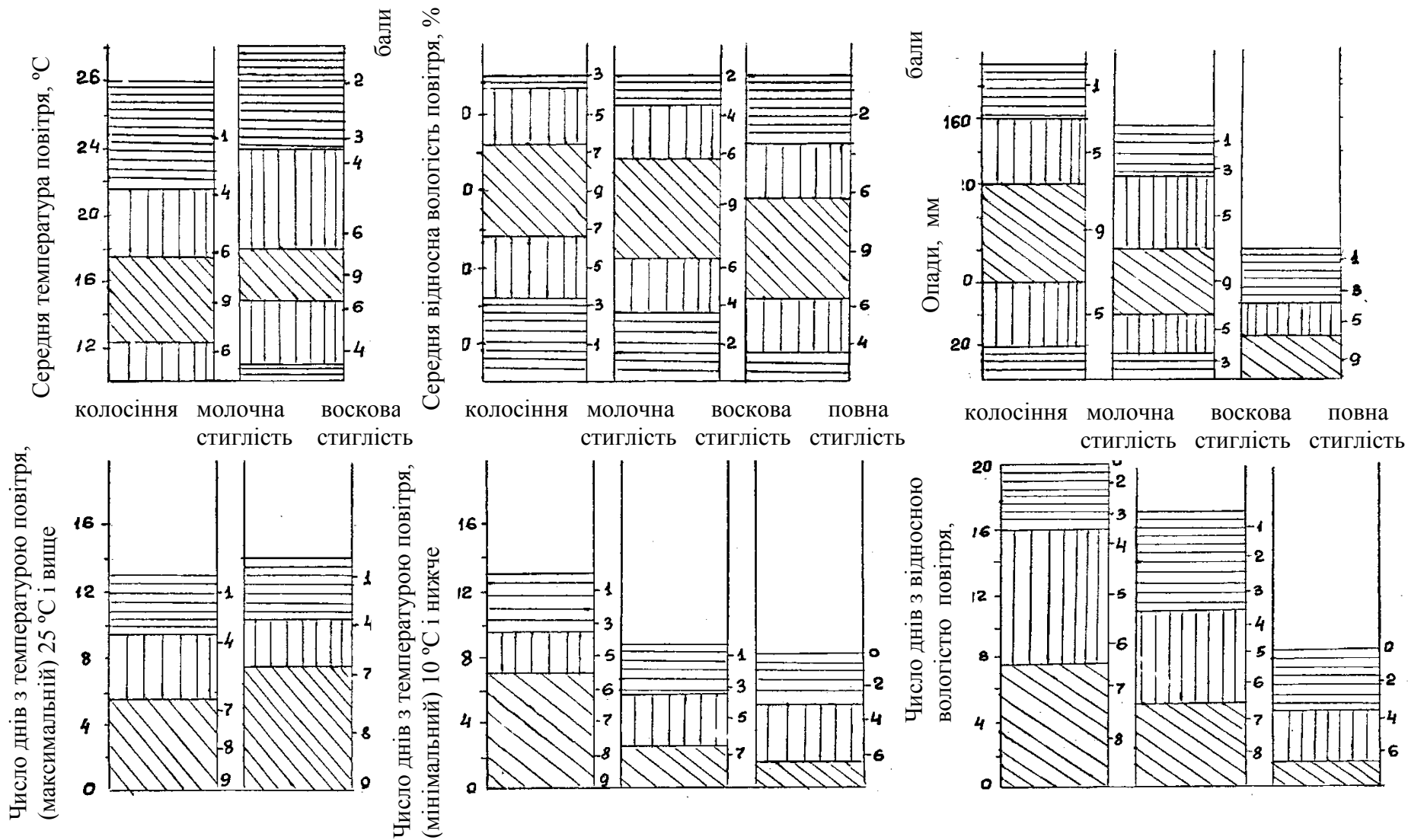


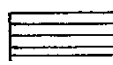


Рис. 3.4 – Номограма оперативної оцінки агрометеорологічних умов для прогнозу врожайних властивостей зерна озимої пшениці.  – підвищений  – середній  – знижений

Контрольні питання

- 1. Із яких факторів складаються біологічні властивості рослин?*
- 2. Що є показником росту рослин?*
- 3. Як впливає абіотичне середовище на ріст рослин?*
- 4. Чим зумовлюється розвиток рослин?*
- 5. Що розуміють під онтогенезом?*
- 6. Що називається фазою розвитку рослин?*
- 7. Скільки етапів органогенезу мають вищі рослини?*
- 8. Що відноситься до елементів продуктивності рослин?*
- 9. В чому полягає закон єдності етапів органогенезу?*
- 10. Що є регуляторами росту рослин?*
- 11. На які типи поділяється механізм формування врожаю рослин?*
- 12. Якими показниками контролюється рівень урожаю?*

4. РОЛЬ ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ У ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ РОСЛИН

4.1 Уявлення про фактори врожаю

Уявлення про фактори врожаю можна відобразити таким виразом

$$Y = y(x, F, R^x, R^{Fx}, R^{xF}, \gamma, Q, t) \quad , \quad (4.1)$$

де x - система внутрішніх елементів;

F - зовнішнє середовище проживання;

R^x - внутрішня структура;

R^{Fx} - пряма взаємодія;

R^{xF} - зворотна взаємодія;

γ - вхід в систему;

Q - вихід із системи;

t - час.

За системним охопленням факторів урожаю їх можна класифікувати. Всі екологічні фактори поділяють на дві основні групи: 1) ресурси, які безпосередньо використовуються рослиною (сонячна енергія, вода, елементи мінерального живлення, вуглекислий газ і кисень повітря та ін.); 2) умови, які впливають на життєдіяльність рослин (температура повітря і ґрунту, кількість і розподіл атмосферних опадів, гранулометричний склад ґрунту, його кислотність тощо) (рис.4.1). На практиці ці дві групи факторів об'єднують у загальному понятті **агрокліматичні ресурси** [22].

Існує й інший підхід до класифікації екологічних факторів, в якому фактори поділяють на 3 групи: 1) *погодно-кліматичні* (комплекс атмосферних впливів); 2) *едафічні*, які об'єднують всі екологічні впливи на рослину через ґрунт; 3) *біотичні*, які пов'язані з впливом на рослини інших організмів.

Однією з головних умов, які визначають географію розподілу агро екосистем, є кліматичні особливості.

Екологічні фактори також поділяються на *зовнішні* (сонячна радіація, інтенсивність атмосферних опадів, атмосферний тиск, швидкість вітру, швидкість течії і т. ін.) та *внутрішні* (численність і біомаса популяцій, запаси різних речовин, характеристика приземного шару повітря, водної та ґрунтової маси).

Для характеристики величезної кількості екологічних факторів введено поняття «*простір екологічних факторів*», який називається евклідовим простором. В цьому просторі кожній конкретній комбінації значень екологічних факторів відповідає точка евклідового простору з точно визначеними властивостями [21,28].

Для кількісної характеристики впливу екологічних факторів на показники життєдіяльності рослин і тварин (швидкість росту та розвитку, плодючість, тривалість життя, харчування, метаболізм, активність рухів, смертність і т.ін.) застосовується *поняття про функції відгуку* одного фактора на зміну інших. Для кожної допустимої комбінації екологічних факторів функція показує відповідне цій комбінації значення швидкості іншого фактора. Загальна класифікація факторів врожаю наводиться на рис. 4.1. Відношення рослини до будь-якого фактора проявляється у вигляді взаємодії, тобто проявляється закон єдності та боротьби протилежностей.

Не зважаючи на те, що кількість екологічних факторів може бути дуже велика, насправді виділяється кількість факторів, за допомогою яких можна пояснити швидкість зміни інших.

Діапазон дії (інакше *зона толерантності*) екологічного фактора обмежується відповідними крайніми пороговими значеннями цього фактора, за яких можливе існування будь-якого організму. Точки мінімуму, оптимуму та максимуму становлять три основні точки, які визначають можливість реакції організму на певний екологічний фактор.

Умови середовища, в якому який - небудь фактор (або сукупність факторів) виходить за межі зони толерантності і пригнічує рослини, називаються *екстремальними*. Це визначення екстремальних умов стосується не тільки екологічних факторів, а взагалі всіх умов, де життя майже закінчується (полярні зони, високогір'я, пустелі).

Описані на рис. 4.1 фактори формування урожаю відображають *принцип оптимальності*. Оптимальній продуктивності відповідає максимальний урожай за оптимального значення факторів. Вони відображають потреби рослин.

Біологічний потенціал продуктивності відображається біологічним максимумом урожайності. Біологічна потреба рослин виражається біологічним оптимумом факторів, тобто найбільша сприятливість навколишнього середовища для життєдіяльності рослин.

Сумісний вплив зовнішніх (екологічних) і внутрішніх (генетичних) факторів на ріст та розвиток рослин проявляється в їх розмірах, формі, морфологічній структурі, фазах розвитку тощо. Складність і різноманітність росту і розвитку визначається фізіолого – біохімічними і біофізичними процесами, які відбуваються в рослині під впливом зовнішніх факторів: світла, тепла, вологи повітря і ґрунту, мінерального живлення тощо. Загальним виразом залежності процесів в рослинах від часу є закон великого періоду росту, який відображає S- подібний хід кривої інтегрального наростання маси (розмірів) рослин та параболічний хід диференційованої кривої приростів за визначені відрізки часу (табл. 4.1)

Рослини і середовище їх існування знаходяться в дуже складній та динамічній взаємодії, інтенсивність якої залежить від сезону року, агрометеорологічних умов, біологічних особливостей та фази розвитку рослин, агротехнічних заходів тощо. Рослини реагують на зміну зовнішніх умов шляхом перебудови біологічних процесів на біохімічному, фізіологічному та клітинному рівні. Вплив зовнішніх умов завжди відбувається комплексно, тобто діє декілька факторів одночасно.

Таблиця 4.1 – Залежність процесів росту і розвитку озимої пшениці від впливу факторів абіотичного середовища (за В.П. Дмитренком)

Процеси розвитку	Фактори середовища			Фізіологічні процеси
	Грунтове зволоження	Температура повітря, °С	Тривалість дня, год	
Насіння у ґрунті	Більше за вологість розриву капілярів	Вища за 3 – 5 °С	-	Набухання насінини, ріст зародкових корінців і поява колеоптиля
Росток, перехід до сходів	Те саме	Між біологічним мінімумом і біологічним максимумом	Опромінення квантом світла	Набуття зеленого кольору хлоропластами, ріст рослини, фотосинтез
Припинення та відновлення вегетації	Не менше від вологості розриву капілярів	> < 1 °С	< 12 год	Перехід до анабіозу та початок ростових процесів
Вихід у трубку	Те саме	>10 °С	> 12 год	Початок утворення репродуктивних органів
Колосіння	Те саме	> 15°С	> 15 год	Запліднення, утворення зерна



Рис. 4.1 Топологічна схема властивостей факторів урожаю (за В.П. Дмитренком)

4.2 Світло як фактор існування рослин

Джерелом енергії для всіх метаболічних процесів на планеті є Сонце. Кількісною мірою сонячної енергії є густина потоку радіації, тобто кількість променевої енергії, яка падає на одиницю площі за одиницю часу. Вона вимірюється у $\text{Вт}/\text{м}^2$ (або $\text{кВт}/\text{м}^2$). Енергетика сонячної радіації, яка падає на верхню межу атмосфери, на одиницю площі, перпендикулярної до сонячного проміння, за середньої відстані Землі від Сонця називається *сонячною сталою*, яка дорівнює $1367 \text{ Вт}/\text{м}^2 \pm 0,03$.

Сонячна енергія є практично єдиним джерелом енергії, тепла і світла. Надходження сонячної енергії визначає всі процеси, які відбуваються в атмосфері, водах Світового океану та на поверхні землі. Практично сонячна енергія забезпечує утворення і існування біосфери. Надходження сонячної радіації на верхню межу атмосфери змінюється в залежності від відстані Землі до Сонця. Вона не залишається постійною через еліптичну форму земної орбіти. Кількість сонячної радіації, яка надходить до поверхні Землі, неоднакова влітку та взимку і залежить від географічної широти місцевості. (табл. 4.2)[11,12].

Таблиця 4.2 – Суми сонячної радіації, яка надходить до поверхні Землі за абсолютно прозорої атмосфери, $\text{ккал}/\text{см}^2$ (за М.І.Будико)

Півріччя	Широта, град.									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Літнє	161	170	175	174	170	161	149	139	135	133
Зимове	161	147	129	108	84	59	34	13	3	0
Рік	322	317	304	282	254	220	183	152	138	133

У зв'язку з тим, що Земля оточена атмосферою, сонячні промені проходять через всю товщу атмосфери, яка частково їх відбиває, а частково розсіює. Поверхня Землі під дією сонячного проміння нагрівається і стає джерелом випромінювання тепла.

Надходження сонячної радіації до поверхні землі буває найбільшим, коли промені падають на неї під кутом 90° . Зі зміною кута нахилу проміння змінюється кількість сонячної радіації. Найбільші значення сонячної радіації в субекваторіальній зоні, при просуванні в помірний пояс її кількість зменшується за законом

$$S' = S_{90} \sin h_o \quad , \quad (4.2)$$

де S' - надходження сонячної радіації на поверхню, перпендикулярну сонячним променям;

h_o – висота Сонця.

На кількість надходження сонячної радіації впливає співвідношення тривалості світлої і темної пори доби. Крім того, на надходження сонячної радіації впливає хмарність, яка зменшує синьо-фіолетову частину радіації.

Промениста енергія Сонця є джерелом усіх біофізичних і фізіологічних процесів, які відбуваються в системі ґрунт-рослина-атмосфера. Сонячна радіація, яка проходить крізь атмосферу, відбивається від підстильної поверхні, при цьому змінюється і перетворюється на інші види енергії, головним чином на теплову; інша частка розсіюється в атмосфері молекулами газів, аерозолями та хмарами.

Внаслідок поглинання і розсіювання в атмосфері на поверхню Землі сонячна радіація надходить вже змінена. Ту частину радіації, що надходить від Сонця у вигляді пучка паралельного проміння, називають *прямою* сонячною радіацією, а ту, що розсіюється в атмосфері і надходить на поверхню землі з усіх частин небосхилу у вигляді дифузійної радіації - *розсіяною* радіацією. У сукупності пряма і розсіяна сонячна радіація складають сумарну радіацію.

Як пряма, так і розсіяна радіація, надходячи на поверхню Землі, частково відбивається від неї і спрямовується назад в атмосферу у вигляді відбитої радіації, частина її поглинається, перетворюючись на теплову, частина розсіюється молекулами газів і парою повітря. Всі ці види радіації мають назву короткохвильова радіація (КХР) на відміну від теплової або інфрачервоної (ІЧР) радіації, які випромінюються атмосферою і поверхнею Землі.

Потоки променистої енергії та теплового випромінювання Землі й атмосфери поділяються за довжиною хвиль на короткохвильову ($\lambda = 0,1 \dots 4,0 \text{ мкм}$) та довгохвильову радіацію ($\lambda = 4,0 \dots 80 \text{ мкм}$). Видиме світло займає інтервал довжини хвиль $\lambda = 0,34 \dots 0,76 \text{ мкм}$. Розподіл енергії сонячної радіації за довжиною хвиль називається *сонячним спектром*. В загальному плані сонячний спектр поділяється на три основні частини: ультрафіолетову (УФР $\lambda < 0,40 \text{ мкм}$, видиму – $\lambda = 0,40 \dots 0,76 \text{ мкм}$ та інфрачервону (ІЧА), $\lambda = >0,76 \text{ мкм}$).

На верхній межі атмосфери на видиму частину спектра припадає 47 %, на ІЧР - 44 %, на ультрафіолетову – 9 % всієї сонячної радіації. Максимум енергії Сонця на верхній межі атмосфери припадає на довжину хвилі $0,48 \dots 0,49 \text{ мкм}$, яка знаходиться біля поверхні Землі в межах жовто – зеленої частини спектру.

Інтенсивність сонячної радіації визначає особливості ростових процесів, форму та розташування листя у рослин, їх будову та колір. В умовах гірського рельєфу кут падіння сонячного проміння значною мірою залежить від кута нахилу поверхні та її експозиції. На північний схил надходить 68 % від кількості сонячної енергії, яка надходить на пряму поверхню, а на південний схил – 128%.

Інформативним показником міри освітленості території є *тривалість сонячного сьйва*, яка залежить від географічної широти місцевості, тривалості світлої пори доби та від режиму хмарності.

На рослини впливають: тривалість сонячного освітлення, інтенсивність сонячної радіації, спектральний склад світла.

За відношенням до світла рослини поділяються на три групи:

1. *Світлолюбні* (геліофіти). Оптимальна життєдіяльність спостерігається в умовах повного сонячного освітлення. Вони погано переносять затінення. Типовими геліофітами є степові і лукові злаки, рослини тундр, високогір'я, прибережні та напівзанурені рослини, ефемери та ефемероїди, більшість рослин відкритого ґрунту.

2. *Тіньовитривалі* рослини мають широку екологічну амплітуду по відношенню до світла. Ці рослини краще ростуть та розвиваються за повної освітленості, однак мають здатність адаптуватися до умов різного рівня затінення. До цієї групи рослин відносяться деякі деревні породи, більшість чагарників та трав'янистих рослин лісової зони, кімнатні рослини.

3. *Тіньові* рослини ростуть тільки в затінених місцях і в умовах високої освітленості ніколи не ростуть. В процесі еволюції ці рослини адаптувались до умов, які властиві нижнім затіненим співтовариствам темнохвойних і широколистяних лісів, тропічних вологих лісів. Тіньовитривалість цих рослин дуже часто співпадає з великою потребою у воді.

Постійні зміни дня і ночі впродовж тривалого періоду дозволили рослинам в процесі еволюції виробити ритмічні зміни найважливіших життєвих процесів і властивостей їх організму – *фотоперіодизм*. Фотоперіодизм керує ритмічністю добової та сезонної життєдіяльності рослин, тобто всіма метаболічними процесами, які пов'язані з ростом, розвитком та розплідненням рослин і тварин.

У рослин фотоперіодизм проявляється в узгодженні періодів цвітіння та дозрівання плодів з періодом найбільш активного фотосинтезу.

В залежності від фотоперіодичної реакції рослин виділяють: *рослини короткого дня*, у яких перехід до цвітіння відбувається за тривалості світлового дня меншій ніж 12 годин на добу (коноплі, капуста, амарант та ін.); *рослини довгого дня*, яким для цвітіння і подальшого розвитку необхідна тривалість безперервного освітлення більше за 12 годин на добу (пшениця, овес, льон, морква, цибуля та ін.); *фотоперіодично нейтральні рослини*, у яких розвиток генеративних органів настає за різної тривалості світлового дня (гречка, виноград, бузок і ін.).

Рослини довгого дня переважно вирощують у північних широтах, рослини короткого дня – в південних [98].

Засвоєння сонячної енергії рослинами відбувається вибірково: найбільш інтенсивно поглинаються синьо - фіолетові промені з довжиною

хвилі $\lambda = 0,40 \dots 0,48 \text{ мкм}$ та помаранчево – червоні промені з довжиною хвилі $\lambda = 0,65 \dots 0,68 \text{ мкм}$, менш інтенсивно поглинаються жовто - зелені з довжиною хвилі $\lambda = 0,50 \dots 0,58 \text{ мкм}$ та довгі червоні, $\lambda > 0,68 \text{ мкм}$.

4.2.1 Фотосинтетична діяльність рослин

За біологічною дією на рослини діапазон короткохвильової радіації поділяється на ультрафіолетову, *фотосинтетично* активну (ФАР) та ближню інфрачервону (БІЧР). Для фізіологічних процесів, які визначають життєдіяльність рослин, найбільше значення має короткохвильова радіація з довжиною хвиль меншою за $4,0 \text{ мкм}$.

Вплив радіації на рослини визначається у *трьох напрямках*:

- 1) *тепловий ефект* сонячної радіації. Із поглиненої рослинами сонячної енергії близько 70% перетворюється в тепло і використовується для транспірації, для підтримки температури рослин та ін;
- 2) *фотосинтетичний ефект* сонячної радіації. Із поглиненої в інтервалі спектра $0,38-0,71 \text{ мкм}$ радіації (область ФАР) до 28% використовується в процесі фотосинтезу для створення органічних речовин;
- 3) *фотоморфогенетичний* (регулюючий) *ефект* сонячної радіації в процесі росту і розвитку рослин. Активна частина радіації, що впливає на ці процеси, починається з ультрафіолетової частини, охоплює діапазон ФАР і закінчується на порозі близько $0,76 \text{ мкм}$, тобто в початковому діапазоні близької інфра – червоної радіації (БІЧР).

Ці ефекти впливу сонячної радіації поряд з іншими факторами довкілля значною мірою визначають закономірності розвитку рослинного покриву. Ось чому дані щодо радіаційного режиму як на верхній межі посіву, так і в середині його, є підставою для чинних методів агрометеорологічних розрахунків і прогнозів [29,60,92].

У процесі фотосинтезу використовується частина короткохвильової радіації, яка знаходиться в інтервалі $\lambda = 0,38 \dots 0,71 \text{ мкм}$ і називається *фотосинтетично активною радіацією* (ФАР). Ю.К. Россом (1975) визначене біологічне значення різних частин спектра (табл. 4.3).

Процес трансформації поглиненої рослиною енергії світла в хімічну енергію органічних (і неорганічних) сполук називається *фотосинтезом*.

Це складний цикл біохімічних і біофізичних процесів, в ході яких рослини, поглинаючи сонячну енергію у формі ФАР, створюють за допомогою зеленого пігменту – хлорофілу із вуглекислого газу (CO_2) та води (H_2O) високоенергетичні вуглеводи (крохмаль, цукор, глюкозу, клітчатку і ін.), вивільнюючи при цьому кисень (O_2). Первинні продукти фотосинтезу в результаті асиміляції перетворюються на органічні

речовини (асиміляти), які використовуються рослиною впродовж росту і розвитку для створення вегетативної та генеративної маси.

Таблиця – 4.3 – Біологічне значення різних частин спектру (Ю.К.Росс)

Вид радіації	Область спектру, Мкм	Відсоток сонячної радіації	Ефект дії радіації на рослину		
			Тепловий	Фотосинтез	Ріст і розвиток
Ультрафіолетова	0,29...0,38	0...4	Не суттєвий	не суттєвий	Суттєвий
ФАР	0,38...0,71	21...46	Суттєвий	суттєвий	Суттєвий
Ближня інфрачервона	0,71...4,0	50...79	суттєвий	не суттєвий	Суттєвий
Далека інфрачервона	>4,0	-	суттєвий	не суттєвий	Суттєвий

ФАР- найважливіший фактор продуктивності рослин. Інтенсивність ФАР вимірюється інструментально або розраховується за даними про надходження прямої, розсіяної чи сумарної радіації (Q) (Тоомінг Х.Г., Гуляєв Б.І., Єфимова Н.А.)

$$\sum Q_{фар} = 0,43 \sum S' + 0,57 \sum D \quad , \quad (4.3)$$

де $\sum Q_{фар}$ – сумарна фотосинтетично активна радіація (Дж/м²);

$\sum S'$ – сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню, (Дж/м²);

$\sum D$ – сума розсіяної сонячної радіації (Дж/м²).

Для приблизного розрахунку ФАР використовується також формула

$$Q_{фар} = 0,52 \sum Q \quad . \quad (4.4)$$

Сумарна радіація (Q) – сума прямої (S') і розсіяної радіації (D), що падає на горизонтальну поверхню, у даному випадку – на поверхню рослин.

$$Q = S' + D. \quad (4.5)$$

Найбільш точні дані добових величин сумарної радіації одержують за допомогою стандартних метеорологічних спостережень (актинометричних). Однак мережа станцій, які ведуть відповідні

спостереження, не задовольняє вимоги оперативного агрометеорологічного обслуговування різних територій. У такому випадку визначення Q виконується за допомогою розрахунків з використанням інших метеорологічних характеристик [29,59].

Тривалість сонячного сяйва, визначена за допомогою геліографа, дозволяє з високою мірою точності розраховувати величини сумарної радіації. З цією метою використовується формула С.І.Сівкова, яка складається з параметрів, що не входять до інших емпіричних формул:

$$Q = 12,66(SS^j)^{1,31} + 315(\sin h_o^j)^{2,1}, \quad (4.6)$$

де SS – тривалість сонячного сяйва за добу, кал /·см·д ;

h_o – полуденна висота Сонця, град.

Ефективність використання сонячної радіації рослинами характеризується *коефіцієнтом корисної дії* (ККД), який визначається відношенням кількості енергії, запасеної в продуктах фотосинтезу, або тієї, що утворилась у фітомасі врожаю, до кількості поглиненої радіації [74].

$$\eta = \frac{qY \cdot 100\%}{\sum Q_\phi}, \quad (4.7)$$

де η – ККД;

q – калорійність рослин, кДж/г;

Y – біологічний врожай загальної сухої фітомаси, г/м²;

$\sum Q_\phi$ – сума фотосинтетично активної радіації (ФАР) за вегетаційний період, МДж/м².

ККД рослин можна визначити як відносно падаючої, так і відносно поглиненої радіації. У такому випадку

$$\eta_{над} = a_n q_{погл}, \quad (4.8)$$

де $\eta_{над}$ – ККД, визначений відносно падаючої радіації, а $\eta_{погл}$ – ККД, визначений відносно поглиненої радіації; a_n – функція поглинання.

Залежність інтенсивності фотосинтезу від величини надходження ФАР можна описати *світловими кривими фотосинтезу*. Зі збільшенням інтенсивності сонячної радіації світлова крива фотосинтезу (поглинання CO₂) зростає, потім поступово переходить на «плато» (рис. 4.2). Характеристика світлової кривої залежить від виду рослин [60,61].

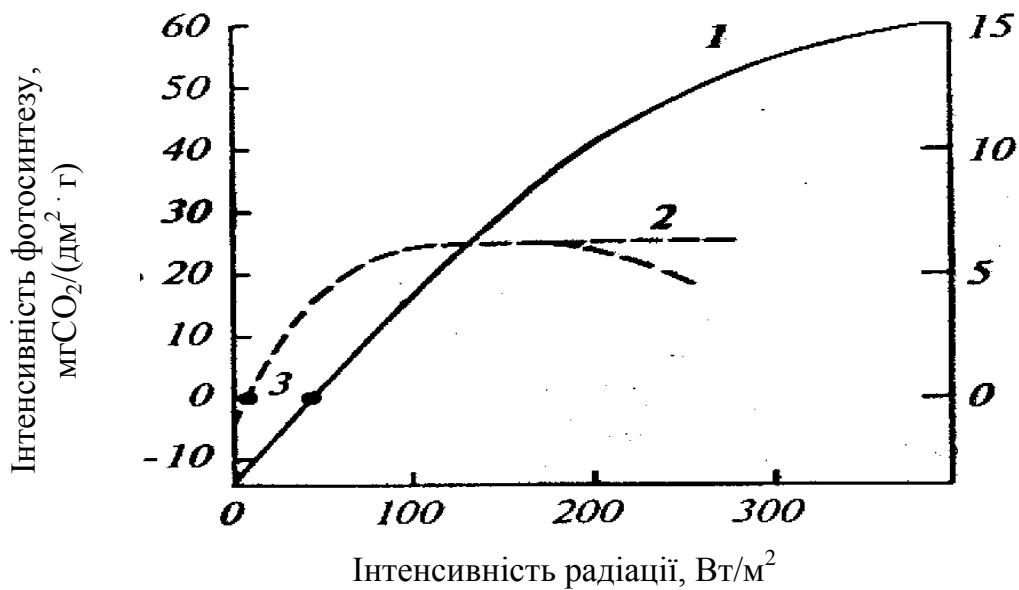


Рис. 4.2 – Світлова крива фотосинтезу світлолюбних (1) і тіньовитривалих (2) рослин (3 – компенсаційні точки. За О.М. Шульгіним)

Сонячна радіація також впливає на хімічний склад сільськогосподарської продукції. Наприклад, на вміст цукру у фруктах та ягодах, вміст білка у зерні зернових культур, кількості масла у насінні соняшнику і ін. Деякі хвороби сільськогосподарських рослин найбільш активно розвиваються за недостатньої освітленості.

Інтенсивність фотосинтезу лист за ярусами неоднакова, тому що світло падає на листя однієї і тієї ж рослини під різними кутами (рис.4.3).

Стан, коли при збільшенні ФАР інтенсивність фотосинтезу за даних умов утримується на одному найвищому рівні, називається рівним плато (рис. 4.2).

Сонячна радіація має добовий ритм (чергування дня і ночі). Встановлено, що рослини переходять до генеративного розвитку при певному співвідношенні тривалості дня і ночі (фотоперіодична реакція). За фотоперіодичною реакцією рослини класифікуються на групи:

- короткого дня (рис, просо, сорго, кукурудза та ін.) Їм необхідна тривалість дня 10 – 12 год;
- довгого дня (жито, овес, пшениця, льон, горох і ін.). Їм необхідна тривалість дня до 18 – 20 год;
- нейтральні до тривалості дня (томати, гречка та ін.).

Різні сорти культур як короткого, так і довгого дня в залежності від інших факторів по-різному реагують на тривалість дня і ночі. В цілому рослини довгого дня пристосовані до умов високих широт, а короткого – до низьких широт.

Встановлено, що для початку цвітіння в променистому потоці повинен бути головним цілком визначений спектральний склад. Рослини короткого дня швидше розвиваються, якщо максимум випромінювання припадає на синьо – фіолетове проміння, а рослини довгого дня – на червоне проміння.

Зв'язок між тривалістю дня і фотоперіодичною реакцією рослин досліджується при використанні географічних посівів культур і в дослідах з різними термінами сівби.

Світлові асиміляційні криві (або криві насичення), що характеризують інтенсивність фотосинтезу в залежності від інтенсивності сонячної радіації, неоднакові у всіх культурних рослин. Зі збільшенням ФАР за звичайного вмісту в повітрі CO_2 продуктивність фотосинтезу спочатку збільшується, потім починає знижуватись.

Інтенсивність фотосинтезу відповідає кількості вуглекислого газу, що засвоюється одиницею листової поверхні за одиницю часу. Вона коливається від 5 до 25 мг $\text{CO}_2/(\text{м}^2/\text{год})$. Добову продуктивність фотосинтезу визначають за співвідношенням добового приросту маси рослини до площі її листків.

Продуктивність фотосинтезу істотно залежить від площі листя, яка може регулюватись шляхом створення оптимальної оптико – біологічної структури посіву польових культур та температури повітря (рис.4.2). Асиміляційна поверхня повинна повністю покривати поверхню ґрунту протягом вегетаційного періоду рослин.

Важливим показником, який визначає поглинання і пропускання ФАР є *листовий індекс* – відношення сумарної площі листової поверхні посіву до площі поля. Поглинання ФАР збільшується зі збільшенням площі листя. За даними А.А. Ничипоровича найбільше поглинання ФАР спостерігається при значенні листового індексу 4, та площі листя $40\,000\text{м}^2/\text{га}$. Поглинання ФАР залежить від розподілу ФАР по ярусах листя (рис.4.3).

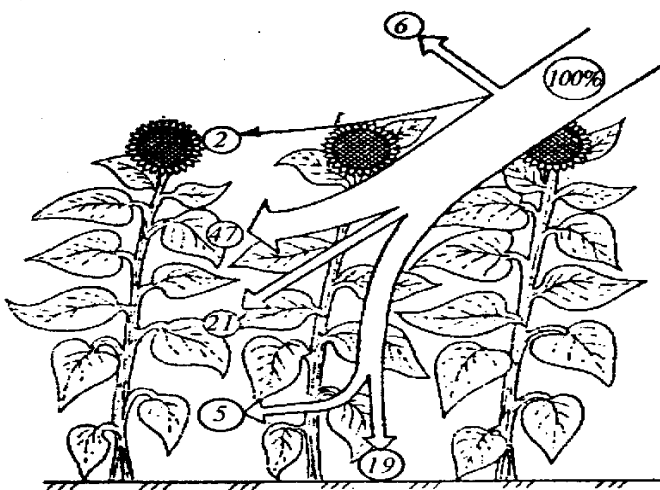


Рис.4.3 – Розподіл ФАР по ярусах листя в посівах соняшника

Характеристикою продуктивності фотосинтезу є *чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ)*, тобто кількість органічної речовини, що формується на 1 м² за добу. Її величина залежить від густоти посівів. В загущених посівах вона зменшується, зазвичай вона становить для більшості культур 4 – 6 г органічної речовини за добу [60,61].

Фотосинтетичний потенціал посіву (ФПП) – сумарна листовна поверхня, яка брала участь у фотосинтезі від початку вегетації до закінчення фотосинтезу. Сума показників робочої асимілюючої поверхні по міжфазних періодах розвитку рослин становить загальну площу листової поверхні, тобто *сумарний фотосинтетичний потенціал (СФПП)*.

Для утворення репродуктивних органів і господарської цінної частки врожаю необхідно, щоб площа листя була оптимальною. Оптимальною вважається така площа листя, яка забезпечує максимальний газообмін посіву. Більшість дослідників дійшли згоди, що площа листя 2-7 м²·/м² або 40-50 тис. м²·/га¹ є оптимальною [4, 60]. Оптимальна площа листя також залежить від структури рослинного покриву, виду і сорту рослин, морфології рослин, віку листя.

Х.Г.Тоомінг запропонував формулу для визначення оптимальної площі листя [93,94]

$$L_{opt} = \frac{\sin \bar{h}_o}{G_L(\bar{h}_o)} \ln \frac{\bar{Q} G_L(\bar{h}_o) [\tau_o - 24c]}{24(1 - \sqrt{c})\sqrt{c}\bar{\Pi} \sin h_o}, \quad (4.9)$$

де $G_L(\bar{h}_o)$ – функція геометричної структури РП при висоті

Сонця \bar{h}_o , що відповідає стану $Q = \bar{Q}$;

τ_o – тривалість дня;

Q – насичена інтенсивність ФАР;

c – коефіцієнт витрат на дихання;

$\bar{\Pi}$ – інтенсивність радіації пристосування листка.

Високі врожаї одержують у тому випадку, коли площа листя буває оптимальною і фотосинтезує якомога триваліший час.

Для характеристики тривалості фотосинтетичної роботи посіву за весь вегетаційний період або його відрізок запропоновано вираз [61]:

$$\Phi_n = \int_{t_1}^{t_2} L_o(t) dt, \quad (4.9)$$

де L_o – відносна площа листя, м²·м⁻²;

t – час роботи площі в днях;
 Φ_n – має розмірність $\text{м}^2 \cdot \text{день} \cdot \text{га}^{-1}$.

Фотосинтетичний потенціал посіву знаходиться в тісному зв'язку з урожаєм.

Сумарний фотосинтетичний потенціал залежить від виду та сорту культури, густоти посіву, умов живлення і зволоження, освітлення, температури повітря, ґрунту та ін. Пізньостиглі рослини польових культур розвивають більшу поверхню листя, довше вегетують і створюють більший врожай.

Фотосинтетична діяльність посівів є домінуючою в перший період формування врожаю. З переходом рослин до активного росту репродуктивних органів роль фотосинтезу постійно зменшується і домінуючими стають процеси, пов'язані з формуванням репродуктивних органів і перерозподілом пластичних речовин між окремими органами рослин.

Одночасно з утворенням органічної речовини в процесі фотосинтезу виділяється кисень. Високопродуктивні фотосинтезуючі системи використовують багато вуглекислоти (CO_2) і тим самим створюють високі врожаї. Одним із показників високопродуктивної системи є густина посівів.

Велику роль відіграє також регулювання фотосинтетичної діяльності рослин. На формування фотосинтетичної діяльності посіву впливають і біотичні (строки сівби, норма і глибина висіву, ґрунти тощо) і абіотичні фактори (сонячне світло, опади, температура і вологість повітря і ґрунту).

Велике значення для фотосинтетичної діяльності має і густина рослин, яка забезпечується способом сівби та нормою висіву. Доцільна архітектоніка посівів, яка надає рослинам оптимальну площу ґрунтового і повітряно – світлового живлення, забезпечує швидке нарощування і тривале функціонування асимілюючої поверхні.

Дослідження впливу сумарної радіації на урожайність пов'язано із застосуванням методів її розрахунку, які були розглянуті вище. Загалом вплив сумарної радіації на урожай визначається за особливостями динаміки характеристик урожайності та ознак сумарної радіації [22].

М.А. Перельот встановив тісноту зв'язку сумарної радіації із урожайністю цукрових буряків впродовж вегетаційного періоду (табл. 4.4).

За даними табл. 4.4 залежність урожайності цукрових буряків від сумарної сонячної радіації описується нелінійними формами зв'язку в усіх ґрунтово – кліматичних зонах та в усі періоди вегетаційного циклу і визначається за кореляційним відношенням на рівні середньої тісноти зв'язку і практично є значущою.

Продуктивність сільськогосподарських культур в залежності від сумарної радіації характеризується кривими продуктивності, коефіцієнти

якої визначаються за відхиленнями сумарної радіації в поточному році від оптимальних її значень ($\eta(Q) = y/Y_1$).

Таблиця 4.4 – Тіснота зв'язку між урожайністю цукрових буряків та сумарною радіацією (за Перельотом М.А)

Грунтово-кліматична зона	Показники зв'язку	Періоди вегетаційного циклу				
		III -IV	V	VI	VII-VIII	IX
Полісся	R	-0,02	-0,15	-0,17	-0,20	-0,34
	D	0,28	0,42	0,39	0,38	0,48
Лісостеп	R	0,22	0,30	0,21	-0,18	-0,31
	D	0,28	0,46	0,40	0,50	0,49
Степ	R	0,18	-0,09	-0,32	-0,33	-0,47
	D	0,24	0,52	0,39	0,41	0,62
Прикапаття	R	0,18	0,18	0,22	0,38	-0,25
	D	0,29	0,41	0,40	0,49	0,50

В цілому вплив сумарної радіації на урожай сільськогосподарських культур за вегетаційний період описується

$$\sum \eta(Q) = \sum y(Q)_i / Y_1(Q_o)_i \cdot a_i, \quad (4.10)$$

де a_i – ваговий множник внеску тривалості кожного міжфазного періоду в загальну тривалість вегетаційного циклу, як частка потенціалу урожаю Y в значення a_i за виразом

$$a_i = y_t / Y(T), \quad (4.11)$$

де y_t – маса урожаю в період t ;

$Y(T)$ – кінцева маса урожаю Y за вегетаційний період T .

У зв'язку зі складнощами інформації про інтенсивність сонячної радіації пропонується використовувати для її розрахунку дані про тривалість сонячного сьйва.

4.2.2 Радіаційний режим рослинного покриву

Сумарна сонячна радіація, яка надходить до верхньої межі посіву, вступає у взаємодію з різними частинами рослин, поглинається ними, відбивається, розсіюється і створює *радіаційний режим рослинного покриву*.

Радіаційний режим рослинного покриву (РП) формується внаслідок переносу променистої енергії Сонця між рослинами. Величина переносу

залежить від геометричної структури РП. Геометрична структура РП (Ю.К. Росс, Т.А. Нільсон) характеризується за допомогою таких функцій [83]:

1. Площі листя в одиниці об'єму РП на висоті $z - u_L(z)$;
2. Відносної площі листя РП

$$L_o = \int_0^{z_o} u_L(z) dz \quad (4.12)$$

3. Відносної площі листя вище заданого рівня z

$$L(z) = \int_z^{z_o} u_L(z') dz', \quad (4.13)$$

де z – висота всього РП.

4. Просторової орієнтації листя $q_L(z, r_L)$,

де $r_L = (\theta_L, \varphi_L)$ – напрям нормалі верхньої сторони листка;

θ_L – кут нахилу нормалі листка, який відраховується від вертикальної осі;

φ_L – азимут нормалі листка, який відраховується від півночі за годинниковою стрілкою.

Функція dz різна у різних культур та сортів.

Кут нахилу листя різний у різних ярусах. Крім того, впродовж вегетаційного періоду розподіл листя щодо кута нахилу також суттєво змінюється. Так, для деяких ярових зернових культур до колосіння найбільша кількість листків має кути нахилу $75-90^\circ$. У період молочної стиглості – $45-60^\circ$, у період воскової стиглості листя мають кути нахилу $0-15^\circ$. Із зміною кута нахилу листя пов'язано споживання променистої енергії Сонця.

Вся радіація, що надходить на поверхню Землі, вступає у взаємодію з фітоелементами. Внаслідок цього змінюється густина потоку радіації, просторова структура та її спектральний склад.

Радіаційне поле всередині рослинного покриву складається із:

- 1) осередненої в горизонтальному напрямку густини потоку прямої сонячної радіації на глибині $L - S'(L, h_o)$;
- 2) осередненої в горизонтальному напрямку густини розсіяної радіації неба на глибині $L - D(L, h_o)$;
- 3) густини потоку радіаційного поля, що виникає всередині рослин внаслідок взаємодії поміж падаючою на рослинний покрив радіацією Сонця і неба та елементами рослин (листя, стебла та ін.).

Перші два види радіації характеризуються коефіцієнтом пропускання:

- а) для прямої радіації

$$a_S(L, h_0) = \frac{S'(L, h_0)}{S'_o(h_0)}; \quad (4.14)$$

б) для розсіяної радіації

$$a_\phi(L, h_0) = \frac{D(L, h_0)}{D_o(h_0)} \quad (4.15)$$

Осереднені потоки $S'(L, h_0)$ і $D(L, h_0)$ прямої і розсіяної радіації доходять до заданого рівня без взаємодії з РП і вони за спектральним складом не відрізняються від S'_o та D_o .

Радіаційне поле, яке виникає внаслідок взаємодії падаючої на РП радіації з елементами РП, розглядають як потік, що вміщує відбиття прямої $R_S(L, h_0)$ і розсіяної $R_D(L, h_0)$ радіації. *Альbedo* – це відношення відбитого від РП потоку до падаючого на нього.

Розрахунок величин сумарної радіації на верхній межі посіву проводиться або за даними тривалості сонячного сьйва, або за даними спостережень за хмарністю.

При відсутності даних спостережень за тривалістю сонячного сьйва сумарну радіацію розраховують за допомогою даних про верхню та загальну хмарність. Це можливо тому, що існує досить чіткий зв'язок між вказаними величинами. М.Е. Берлянд запропонував формулу [9]:

$$Q^j = Q_o^j [1 - c_n n_n - c_{св} (n - n_n)], \quad (4.16)$$

де Q_o^j – сумарна радіація за ясного неба, $\text{кал} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{д}^{-1}$;

$c_n = 0,72$ – коефіцієнт для хмар нижнього ярусу, безрозмірний;

$c_{св} = 0,26$ – коефіцієнт для хмар верхнього і середнього ярусів, безрозмірний;

n_n і n – середні значення кількості хмар нижнього ярусу

і загальної хмарності в частках одиниці за світлу пору доби.

Значення Q_o розраховується згідно з формулою Сівкова (4.4). При цьому вважається, що тривалість сонячного сьйва за ясного неба визначається тривалістю дня τ_d , тобто тривалістю періоду від сходу до заходу Сонця.

Найбільш цінна в сільськогосподарському відношенні область спектра сонячної радіації – ФАР (фотосинтетично активна радіація). Від інтенсивності ФАР залежить продуктивність фотосинтезу рослин і, як наслідок, процес формування врожаю сільськогосподарських культур.

При проникненні ФАР всередину рослинного покриву відбувається зменшення її інтенсивності в залежності від висоти рослинного покриву, кутової орієнтації листа, розподілу густоти рослинного покриву щодо вертикалі, товщини і форми листа та ін. Найпростішим і досить розповсюдженим виразом, що описує послаблення ФАР в рослинному покриві, є формула Будаговського, згідно з якою середня інтенсивність ФАР в посіві багато в чому визначається розвитком листа рослин, тобто відносною площею листа (листяним індексом) [17,60,61]

$$Q^j = Q^j_o / (1 + cL^j), \quad (4.17)$$

де Q^j – інтенсивність ФАР в посіві, $\text{кал}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{хв}^{-1}$;

L – відносна площа листа, $\text{м}^2\cdot\text{м}^{-2}$;

c – емпіричний коефіцієнт, що дорівнює 0,65, безрозмірний.

Приклад 1 наводиться у табл.4.5

Таблиця 4.5 – Розрахунок інтенсивності ФАР на полі з озимою пшеницею (за декаду) Дані для обчислення: $A = 0,73^0 0,006=0,004$; $B=0,68 1=0,68$; $\sin h_o = 0,684$, квітень, 2-а декада, ст. Сербка

Дата	L , $\text{м}^2\cdot\text{м}^{-2}$	SS , год	Q , $\text{кал}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{д}^{-1}$	δ , град	τ_d , год	J_o , $\text{кал}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{хв}^{-1}$	J , $\text{кал}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{хв}^{-1}$
11.04	0,83	5,8	265,7	0,316	14,0	0,158	0,103
12.04	0,86	12,0	470,1	0,330	14,1	0,278	0,178
13.04	0,91	13,3	517,5	0,323	14,2	0,304	0,191
14.04	0,97	3,8	214,7	0,328	14,5	0,123	0,075
15.04	1,00	3,5	207,2	0,332	14,7	0,117	0,071
16.04	1,05	9,5	383,6	0,336	15,0	0,213	0,127
17.04	1,06	5,7	265,7	0,338	15,1	0,147	0,087
18.04	1,09	7,5	319,2	0,342	15,2	0,175	0,102
19.04	1,12	7,7	325,4	0,346	15,2	0,178	0,103
20.04	1,16	13,4	521,2	0,350	15,3	0,284	0,162

Приклад 2: виконати розрахунки фотосинтезу рослинного покриву, за наведеними нижче даними. Для цього використати модель, розроблену А.М. Польовим для розрахунку фотосинтезу на ПЕОМ (додаток А). В модель вводяться дані:

1 – опис географічного пункту: географічну широту пункту в градусах з десятими (Ψ);

2 -значення найменшої вологомісткості напівметрового шару ґрунту ($W_{нв}$);

3 - фенологічні дані поточного року: дати настання фаз розвитку озимої пшениці – дата відновлення вегетації ($N1$), порядковий номер місяця, коли настала дата відновлення вегетації ($N2$): 1-березень, 2 – квітень; , кількість розрахункових декад (n) та кількість днів у кожній розрахунковій декаді (dv), кількість днів від 21 березня до відновлення вегетації ($t_{об}$), середня за декаду температура повітря (t_s), середня за декаду кількість годин сонячного сяйва (ss), запаси продуктивної вологи у шарі ґрунту 0-50 см ($W(0)$).

3 – параметри моделі для розрахунку: біологічний нуль культури (T_0), сума ефективних температур за період вегетації ($\sum t_{ef}$), сума ефективних температур від відновлення вегетації до колосіння; ($\sum t_{max1}$), сума ефективних температур від відновлення вегетації до цвітіння ($\sum t_{max2}$), максимальна площа листа (LAI_{max}) інтенсивність фотосинтезу при світловому насиченні (k), початковий нахил світлової

кривої (b), найменша вологомісткість метрового шару ґрунту ($W_{нв}$), оптимальна температура фотосинтезу (t_{opt}^{ϕ}).

Для розрахунків на ПЕОМ створюється файл даних, імя файла «Foto 10.dat»

Вхідна інформація вводиться в програму для розрахунку в такому порядку:

- 1 рядок складається з чотирьох чисел: 1- назва пункту спостережень пишеться буквами, починаючи з другої позиції; 2 – рік проведення розрахунків, пишеться дві останні цифри року через одну позицію після назви пункту; 3 – дата розрахунку, пишеться цифрами через одну позицію після року; 4 - місяць розрахунку, пишеться через одну позицію після дат. (приклад запису першого рядка: Херсон 04 20.6)

- 2 рядок складається з п'яти чисел: n- кількість розрахункових декад, ціле число записується в трьох позиціях; $t_{об}$ - кількість днів від 21 березня до відновлення вегетації, число ціле записується у трьох позиціях; N1 - дата відновлення вегетації, ціле число в трьох позиціях; N2 - місяць відновлення вегетації, пишеться арабськими цифрами, ціле число, в трьох позиціях; Ψ - географічна широта пункту спостережень, хвилини виражені в частках градуса. Десятькове число в шести позиціях, з двома знаками після коми (приклад запису другого рядка: 12 54 13 3 47.40).

- 3 рядок : W(0) – масив запасів продуктивної вологи в напівметровому шарі ґрунту, число ціле, в шести позиціях з одним знаком після коми (приклад запису третього рядка :

110.0 90.0 80.0 71.0 66.0 61.0 55.0 50.0 45.0 50.0 47.0)

- четвертий рядок: ts - масив середніх за декаду температур повітря, число в шести позиціях з одним знаком після коми (приклад запису четвертого рядка: 15.9 17.5 18.4 19.6 20.1 21.2 22.3 22.5 22.2 21.3 20.5 19.6);

- 5 рядок – ss –масив кількості годин сонячного сяйва в розрахункових декадах (в середньому за один день декади), число в шести позиціях з одним знаком після коми

(приклад запису п'ятого рядка:

9.8 9.1 9.5 9.9 15.2 15.5 10.8 10.6 10.4 10.2 10.6 9.3).

- шостий рядок : dv – масив кількості днів в розрахункових декадах, число ціле в трьох позиціях (приклад запису шостого рядка:

8 11 10 10 10 10 10 11 10 10 10 10).

- сьомий рядок: інформаційний масив (масив inf) містить дев'ять чисел, кожне число кодується у восьми позиціях з двома знаками після коми: (приклад запису:

05.00 1800.00 0600.00 0800.00 05.00 030.00 0400.00 0100.00 0020.00).

inf (1) – T_0 – біологічний ноль культури;

inf (2) - $\sum t_{ef}$ - сума ефективних температур за період вегетації;

inf (3) - $\sum t_{max1}$, сума ефективних температур від відновлення вегетації до колосіння;

inf (4) - $\sum t_{max2}$, сума ефективних температур від відновлення вегетації до цвітіння;

inf (5) - LAI_{max} – максимальна площа листя;

inf (6) – κ – інтенсивність фотосинтезу при світловому насиченні та нормальній концентрації;

inf (7) – b – початковий нахил світлової кривої фотосинтезу;

inf (8) - $W_{нв}$ – найменша волога місткість метрового шару ґрунту;

inf (9) - t_{opt}^{ϕ} – оптимальна температура процесу фотосинтезу

Приклад вхідної інформації наводиться в додатку Б. Приклад вихідної інформації (розрахунки наводиться в додатку В.

Формування оптимального радіаційного режиму в рослинному покриві здійснюється сучасним застосуванням різних агротехнічних засобів і селекційної роботи щодо створення сільськогосподарських культур, які адаптовані до умов їх вирощування.

Контрольні питання

1. На які типи поділяється механізм формування врожаю рослин?
2. Якими факторами відображується урожай?
3. Який потік сонячної радіації у енергетичному відношенні має найбільш істотне значення?
4. Основні показники сонячної радіації.

5. Як впливає сонячна радіація на рослинний покрив?
6. За якими показниками розраховується кількість надходження сонячної радіації?
7. Що таке ФАР? Її характеристики.
8. Як розраховується інтенсивність ФАР?
9. Що означає коефіцієнт корисної дії ФАР?
10. Від чого залежить пропускання сонячної радіації рослинним покривом?
11. Охарактеризуйте близьку інфрачервону радіацію.
12. Від чого залежить поглинання ФАР у рослинному покриві?
13. Дайте визначення фотосинтетичного потенціалу.
14. Охарактеризуйте особливості радіаційного балансу рослин.
15. Від яких факторів залежить радіаційний баланс РП?

4.3 Тепло як фактор життєдіяльності рослин

4.3.1 Температура повітря.

Тепловим режимом атмосфери називається характер розподілу і зміни температури в атмосфері. Тепловий режим атмосфери визначається здебільшого її теплообміном з навколишнім середовищем. Велику роль у розвитку процесів, пов'язаних із взаємодією атмосфери та зеленої поверхні, відіграє приземний шар атмосфери. Він має товщину в декількох десятків метрів і його стан дуже впливає на флору і фауну, на умови життєдіяльності всього живого.

Основним джерелом нагрівання приземного шару є тепло, що надходить від діяльної поверхні. Перенесення тепла між діяльною поверхнею і атмосферою, а також у самій атмосфері, здійснюється через конвективний і турбулентний потоки. Потік тепла – це об'єм тепла, що переноситься потоком повітря через одиницю площі за одиницю часу в напрямку, перпендикулярному до площі.

Конвективний потік тепла зумовлюється горизонтальними складовими швидкості вітру.

Турбулентний потік тепла формується завдяки переносу тепла турбулентними полями. Він формується всередині атмосфери внаслідок закрученого хаотичного руху повітря, тобто турбулентності. Турбулентні потоки поділяються на *динамічні* і *термічні*. *Динамічні потоки* виникають внаслідок появи сили тертя. Теплові потоки (теплова конвекція) – виникають внаслідок нерівномірного нагрівання різних ділянок поверхні. Теплова конвекція на суші розвивається вдень і влітку, над морем – вночі і взимку.

Конвективні і турбулентні потоки тепла спричиняють зміну температури приземного шару повітря як впродовж доби, так і впродовж

року. Добовий хід температури повітря має максимум о 14 – 15 годині і мінімум перед сходом сонця. Амплітуда температурних коливань залежить від погодних умов, пори року, рельєфу, фізичних властивостей ґрунту та є важливою характеристикою клімату.

В ясну погоду амплітуда температур вища ніж у похмуру, оскільки хмари затримують випромінювання і тим самим підвищують нічну температуру. Також амплітуда температур у середніх широтах взимку менша, ніж влітку.

Річний хід температури повітря у різних географічних зонах різний і залежить від широти місця, континентальності його, розташування та висоти над рівнем моря. Характеристикою річного ходу температури є амплітуда річних коливань температури повітря (різниця між середніми місячними температурами найтеплішого та найхолоднішого місяця).

За величиною середньої багаторічної амплітуди температур і часом настання екстремальної температури виділено чотири типи річного ходу температури повітря (рис.4.4)

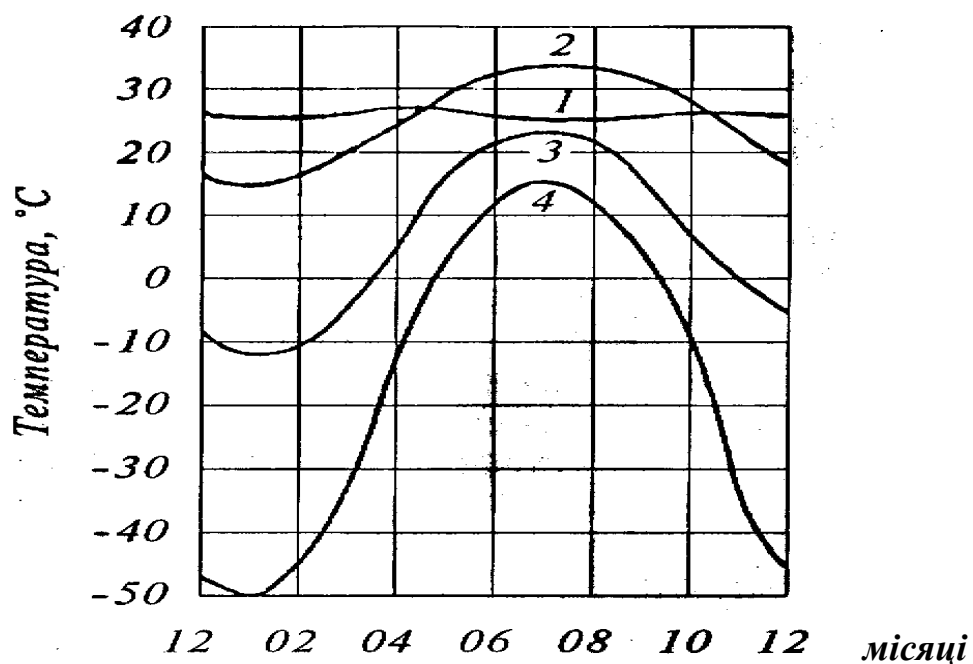


Рис.4.4– Типи річного ходу температури повітря: 1 – екваторіальний (Джакарта, $\varphi = 6^{\circ}$ півд. ш.); 2 – тропічний (Асуан, $\varphi = 24^{\circ}$ півн. ш.); 3 – помірного поясу (Саратов, $\varphi = 52^{\circ}$ півн. ш.); 4 – полярний (Верхоянськ, $\varphi = 67^{\circ}$ півн. ш.).

Температура повітря у тропосфері з висотою зменшується приблизно на $0,6^{\circ}\text{C}$ на кожні 100 м висоти. Але в приземному шарі повітря розподіл температури може бути будь-яким: збільшуватись, зменшуватись, залишатись без змін.

Розподіл температури з висотою характеризується вертикальним градієнтом температури (ВГТ)

$$ВГТ = (t_H - t_B) / (Z_B - Z_H) , \quad (4.18)$$

де $t_H - t_B$ – різниця температури між нижнім та верхнім рівнями, °С;

$Z_B - Z_H$ – відстань між двома рівнями, м.

Зазвичай ВГТ розраховується на 100 м висоти.

У приземному шарі повітря значення ВГТ залежить від погодних умов, пори року, пори доби, вітру, вологості ґрунту, наявності рослинного покриву.

Достатня кількість тепла є головною умовою для життя рослин. Для кожного етапу життєвого циклу існують цілком визначені температурні межі і деякий оптимум, після переходу через які інтенсивність процесу життєдіяльності припиняється.

Фізіологічні процеси, що протікають в організмах рослин – фотосинтез, дихання, транспірація, живлення та інші, відбуваються за певних рівнів температури. Вимоги рослин до тепла змінюються в досить широких межах і визначаються трьома кардинальними точками: температурним мінімумом, нижче якого рослини не розвиваються (біологічний мінімум), температурним оптимумом, тобто найсприятливішою температурою для розвитку рослин, та температурним максимумом, за межами якого рослини існувати не можуть. Значення температури між температурним оптимумом та мінімумом називається зоною комфорту [32,72].

За відношенням рослин до термічного режиму розрізняється:

- 1- характерна крива розвитку;
- 2- визначений рівень температур, в межах якого відбувається розвиток рослини;
- 3- загальна сума тепла, що необхідна для всього періоду вегетації рослини.

За відношенням до температурної кривої розвитку рослини поділяються на 3 групи.

До першої групи відносяться всі рослини тропічного походження, які впродовж свого розвитку потребують майже однакової температури.

До другої групи відносяться зимуючі дворічні і озимі рослини, що розвиваються у помірному кліматі при поступовому зниженні температури восени і закінчують вегетацію навесні та влітку.

До третьої групи відносяться ярі культури помірних та субтропічних широт, які починають вегетацію при знижених температурах, але для подальшого розвитку потребують підвищених температур.

За рівнем температури початку і кінця вегетації рослини поділяються на 4 групи. До першої групи відносяться рослини, що починають свій розвиток за температури 5°С і вище; до другої – рослини, що потребують

помірного тепла і розвиваються при температурі 10 °С; до третьої – теплолюбні рослини, що ростуть при температурі 15 °С. Це вимогливі до тепла рослини помірного поясу і рослини літнього періоду субтропічного поясу; до четвертої – дуже теплолюбні рослини тропічного поясу, що розвиваються за температури 20 °С.

Рослини також характеризуються визначеними біологічними мінімумами, максимумами та оптимумами температури.

Для оцінки температурного режиму використовуються такі температурні характеристики:

- середня за добу температура повітря, визначається як середнє арифметичне із усіх значень температури, виміряних в усі строки спостережень (це або чотири, або шість, або вісім значень). На разі на усіх типах гідрометеорологічних станцій мережі Департаменту гідрометеорології температура повітря вимірюється 8 раз на добу;

- середня температура за декаду, визначається як середнє арифметичне із середньодобових температур за 10 або 11 діб;
- середня температура за місяць, визначається також як середнє арифметичне значення із середньодобових температур;
- середньорічна температура, визначається як середнє арифметичне із середніх за добу, декаду або місяць значень температури повітря;
- сума температур за декаду, місяць, міжфазний та вегетаційний період.

У сільськогосподарському виробництві найчастіше використовуються значення середньої температури за декаду, міжфазний період, вегетаційний період розвитку рослин.

Вплив температури повітря на продуктивність рослин проявляється, перш за все, через вплив на інтенсивність фотосинтезу та дихання.

Однак середні характеристики не відтворюють добовий хід температури повітря, що дуже важливо для сільськогосподарського виробництва. Особливо це необхідно у перехідні сезони року (весна, осінь). Тому вживається поняття максимальних та мінімальних температур вищих чи нижчих будь-якої межі (0, 5, 10, 15, -5, -10 °С).

Рослини розвиваються тільки у тому випадку, якщо середня температура повітря сягає межі біологічного мінімуму.

Температурний режим вегетаційного періоду рослин досить повно характеризується динамікою сезонного ходу температури повітря і ґрунту, рівнем температури початку і кінця вегетації, максимальною і мінімальною температурами, діапазоном оптимальних температур, сумою температур, необхідною рослинам для всього періоду вегетації.

Дослідженнями О.О. Шиголева, Ю.І. Чиркова, Є.С. Уланової та багатьох інших встановлено, що за достатніх умов зволоження тривалість між фазних періодів залежить від середньої температури за період (рис.4.5).

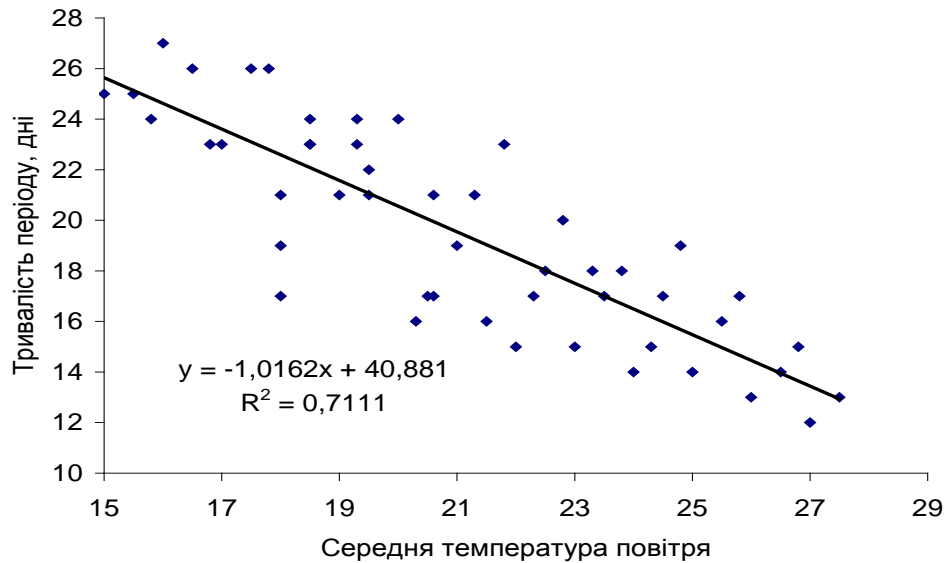


Рис. 4.5 Залежність міжфазного періоду поява ниток – молочна стиглість кукурудзи від середньої температури повітря за період

Дослідженнями багатьох авторів були встановлені статистичні зв'язки залежності тривалості міжфазних періодів з середньою температурою за період. Особливо чітка залежність простежується у теплолюбних культур з біологічним мінімумом вищим за 10°C (табл.4.6).

Нижня межа температури життєдіяльності рослин визначається фізичним процесом замерзання клітинного соку в асимілюючих органах. Верхня межа життєдіяльності рослин зазвичай не перевищує 50 ... 55°C. Оптимальні температури життєдіяльності рослин відповідають кліматичним нормам. Ці межі не залишаються постійними.

Окрім середніх, максимальних та мінімальних температур для характеристики теплового режиму ще використовуються суми температур.

Відрізняють кліматичні і біологічні суми. *Кліматичні суми температур* – це суми температур вище будь-якої межі (наприклад, від дати переходу температури повітря через 5 °C навесні до такої ж дати восени) .

Таблиця 4.6– Рівняння залежності тривалості міжфазних періодів томатів (У) від середньої температури повітря (t) за період

Сорти	Висадка розсади в ґрунт - цвітіння	Цвітіння – бланжова стиглість	Бланкова стиглість – повна стиглість
Ранньостиглі	$Y = -15,3t + 226,3$	$Y = -17,1t + 117,3$	$Y = -13,6t + 321,7$
Середньостиглі	$Y = -14,8t + 219,6$	$Y = -17,8t + 123,4$	$Y = -13,8t + 334,5$
Пізнньостиглі	$Y = -14,9t + 235,3$	$Y = -18,1t + 135,8$	$Y = -14,0t + 352,1$

Біологічні суми температур – це суми температур за вегетаційний період культури. *Веgetаційним періодом називається період у днях від сівби до збирання врожаю.*

Рослини розвиваються тільки у тому випадку, якщо середня температура повітря досягає межі біологічного мінімуму.

Біологічний мінімум для холодостійких рослин (пшениця, жито, овес, ячмінь та ін.) становить + 5 °С, для теплолюбних рослин він становить – +10...+ 15 °С (кукурудза, рис, виноград, бавовна, деякі овочеві культури). Біологічний мінімум розвитку культур змінюється впродовж вегетації (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Біологічний мінімум температури у різні періоди вегетації, °С (за В.М. Степановим)

Культури	Поява сходів і формування вегетативних органів, °С	Формування генеративних органів, °С
<i>Зернові культури</i> (пшениця яра, жито, ячмінь)	4 – 5	10 – 12
Овес	4 - 5	10 – 12
Гречка	7 - 8	10 - 12
Просо	10 – 11	12 – 15
Кукурудза	10 – 13	12 – 15
Рис	14 – 15	18 – 20
Сорго	12 - 13	15 - 18
<i>Зернобобові</i>		
Вика	4 -5	10 - 12
Горох	4 - 5	8 – 10
Чечевиця	5 – 6	12 - 15
Люпин	10 – 11	8 – 10
Соя	12 – 13	15 – 18
Квасоля	12 – 13	15 – 18
<i>Олійні та прядивні</i>		
Рапс ярий	2 – 3	8 – 10
Соняшник	7 – 8	12 – 15
Льон кудряш	5 – 6	10 – 12
Льон- довгунець	5 – 6	10 – 12
Коноплі	2 – 3	10 – 12
Бавовна	14 – 15	15 – 20

Потреба рослин в теплі за вегетаційний період характеризується сумами середніх за добу температур. Кожна рослина потребує для повного розвитку певну суму температур. Кожна рослина потребує для повного розвитку певну суму температур. Для визначення сум температур, необхідних для розвитку сільськогосподарських культур, використовуються суми температур : активних і ефективних.

Сума активних температур – це показник, пропорційний кількості тепла і виражений сумою середніх за добу температур повітря або ґрунту, перевищуючий біологічний мінімум температури, встановлений для визначеного періоду розвитку рослин.

Оскільки значення біологічного мінімуму різне не тільки для різних рослин, а і для різних міжфазних періодів однієї і тієї ж рослини, то сума ефективних температур також різна при однакових значеннях середньої за добу температури.

Суми активних і ефективних температур мають екологічне значення через те, що відтворюють зв'язок рослини із середовищем мешкання. Значення сум температур залежить від широти місця та від його висоти над рівнем моря.

В районах достатнього зволоження та в районах зрошуваного землеробства продуктивність культур залежить від теплозабезпеченості вегетаційного періоду(рис. 4.6).

Для уточнення термічних умов, необхідних рослинам, користуються також сумами денних та сумами нічних температур.

Дослідження О.І. Руденко та З.А. Міщенко показали, що для більш досконалої оцінки впливу температури повітря на розвиток рослин необхідно враховувати окремо середні денні та середні нічні температури [21,55].

Дослідженнями Ю.І. Чиркова встановлено, що є деяка мінливість сум ефективних температур за міжфазні періоди в залежності від рівня середньої температури повітря за добу. Підвищення середньої за добу температури вище оптимальних значень температури для даної культури не сприяє прискоренню її розвитку. Температури, що не сприяють прискоренню розвитку рослин, називаються *баластними* [72].

Діапазон дії (або *зона толерантності*) температури повітря (або іншого будь-якого чинника) обмежується крайніми пороговими значеннями температури, за якої можливе існування рослинного організму (рис.4.7). Точка на осі абсцис, що відповідає найкращим умовам життєдіяльності рослинних організмів, визначає оптимальне значення елемента. Одну точку визначити досить складно тому, зазвичай, визначають зону оптимуму (*зону комфорту*). Точки мінімуму, оптимуму та максимуму визначають можливі реакції рослинного організму на даний фактор.

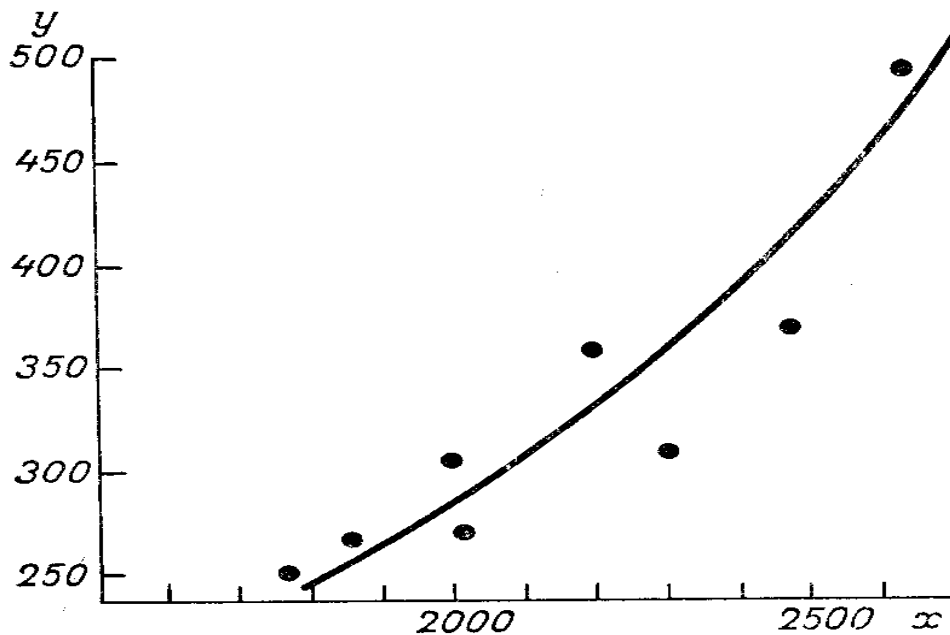


Рис. 4.6 - Залежність урожаїв огірків (y , $t/га$) від сум температур за вегетаційний період (x , $^{\circ}C$)

Температура повітря є також одним із головних метеорологічних факторів, який визначає можливість вирощування рослин у будь-якій природно-кліматичній зоні, можливість виникнення хвороб рослин та розповсюдження шкідників.

Температура повітря зумовлює життєдіяльність збудників хвороб та можливість їх збереження і розповсюдження.

Тепло – один із основних екологічних факторів життєдіяльності біоценозів, тому його необхідно враховувати при розміщенні сільськогосподарських культур та проведенні агротехнічних заходів.

Для оцінки загальних термічних ресурсів території використовується сума активних температур вищих за $10^{\circ}C$, оскільки за такого значення температури повітря активно відбувається вегетація більшості рослин. Для оцінки потреб рослин у теплі використовується *біологічна сума температур*, тобто сума температур повітря за вегетаційний період рослин (табл.4.8).

Дослідження біологічних сум температур, виконані Д.І. Шашко та С.О.Сапожниковою [66,74] показали, що вони змінюються в залежності від континентальності клімату.

Характеристика термічного режиму тієї чи іншої місцевості не вичерпується тільки середніми сумами температур періоду вегетації сільськогосподарських культур. Для вирішення цілої низки питань необхідно знати, як швидко накопичується тепло навесні та які суми температур бувають за окремі міжфазні періоди.

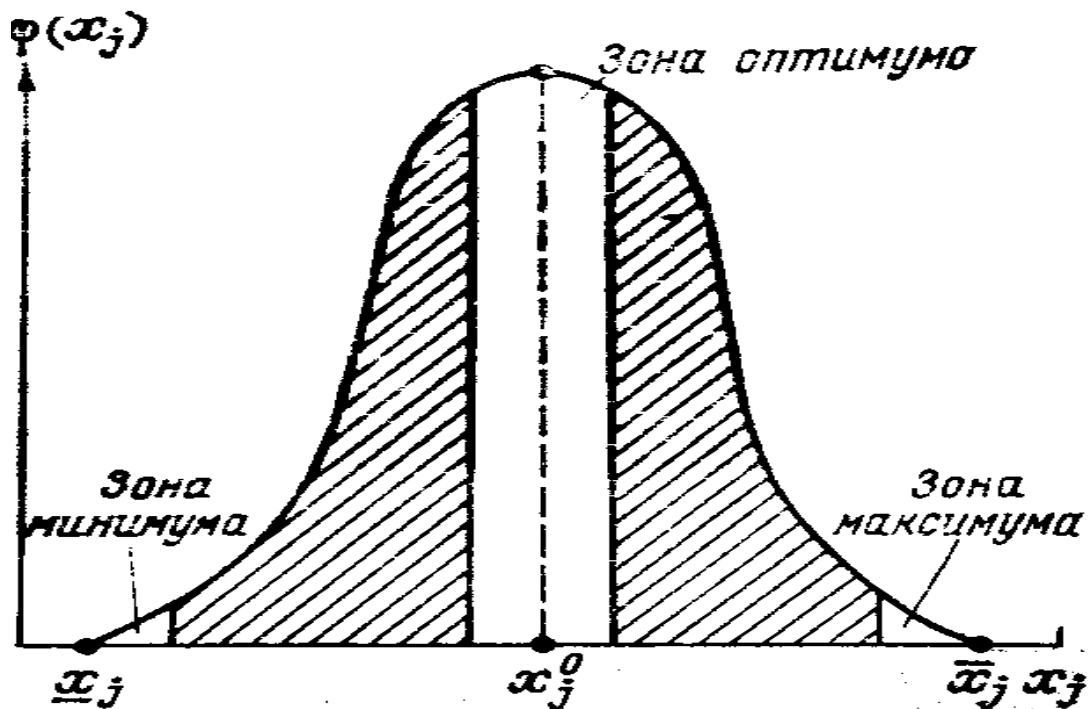


Рис.4.7 – Схема дії температури повітря на рослини (за К.М.Ситником, А.В.Брайоном, О.В.Городецьким). x_j – точка мінімуму, x_j^0 – точка оптимальності; \bar{x}_j – точка максимуму.

Ф.Ф.Давітая [20] встановив, що розвиток весняних, літніх та осінніх процесів на великих просторах іде закономірно. Ця закономірність зумовлюється макропроцесами: надходженням сонячної радіації, циркуляцією атмосфери та особливостями підстильної поверхні. Тому темпи наростання тепла на весні змінюються мало, вони тільки зміщуються за часом.

Врахування температурного режиму, знання особливостей його формування на сільськогосподарських полях, в середовищі рослин, а також в умовах регульованого клімату (оранжереї, парники, теплиці тощо) важливе для отримання високих урожаїв.

Важливою ознакою впливу термічного режиму на урожайність сільськогосподарських культур є характеристики часового та просторового осереднення значень температури та врахування максимальних температур та біологічних екстремумів. Характеристику впливу температури на формування врожаїв сільськогосподарських культур у різні відрізки вегетаційного періоду добре показано в дослідженнях В.П. Дмитренка (табл. 4.9).

Оцінка ймовірності показників тісноти зв'язку за критерієм Фішера показала, що всі показники тісноти зв'язку за винятком значень у ІХ-Х

місяцях для озимого жита та у III-IV місяцях для ячменю мають надійність не менше 95 %.

Таблиця 4.8– Потреба сільськогосподарських культур в теплі
(в біологічних сумах температур повітря)

Культура	Скоростиглість сорту	Період	Біологічна сума температур для широти 55 ⁰ півн.ш.
Яра пшениця	Ранні	Сівба	1400
	Середні	воскова стиглість	1500
	Пізні	”	1700
Ячмінь	Ранні	”	1250
	Середні	”	1350
	Пізні	”	1450
Овес	Ранні	”	1250
	Середні	”	1450
	Пізні	”	1550
Озима пшениця	Ранні	”	1400
	Середні	”	1450
	Пізні	”	1500
Кукурудза	Ранні	”	2200
	Середні	”	2500
	Середньо-пізні	”	2700
Гречка	Ранні	”	1200
	Середні	”	1300
	Пізні	”	1400
Рис	Ранні	”	2500
	Середні	”	2820
	Пізні	”	3320
Соняшник	Ранні	”	1850
	Середні	”	2000
	Пізні	”	2300
Картопля	Ранні	”	1400
	Середні	”	1600
	Пізні	”	1800
Томати	Ранні	”	1750
	Середні	”	1950
	Пізні	”	2100

Таблиця 4.9 - Зв'язок урожайності сільськогосподарських культур із температурою повітря (за Дмитренком В.П.)

Період	Місяці	Показники		Показники	
		середня температура, °С	Кореляційне відношення	Середня температура, °С	кореляційне відношення
Озима пшениця				Озиме жито	
1	УІ-УІІ	19,5	0,21	18,9	0,28
2	ІХ-Х	10,8	0,10	10,2	0,03
3	ХІ	1,9	0,24	1,7	0,27
4а	ХІІ-ІІ	-4,0	0,53	-5,4	0,23
4	ІІІ-ІУ	7,3	0,21	7,0	0,30
5а	ІУ	18,3	0,31	17,9	0,55
5	ІУ	20,0	0,24	19,3	0,62
Ярий ячмінь				Овес	
1	ХІІ-ІІ	-5,3	0,38	-4,0	0,45
2	ІІІ-ІУ	3,8	0,08	3,7	0,20
3	ІУ	14,5	0,32	14,5	0,25
4	ІУ	18,3	0,15	18,3	0,41
5	ІУ	20,0	0,26	20,0	0,26
Просо				Кукурудза	
1	ХІІ-ІІІ	-3,1	0,28	-3,1	0,30
2	ІУ-ІУ	11,4	0,30	1,3	0,23
3	ІУ-ІІІ	18,4	0,32	19,1	0,39
4	ІІІ	20,1	0,27	19,1	0,41
5				13,9	0,42

Криві продуктивності культури - це відношення урожаю культури, який утворюється при оптимальному значенні елемента до фактичної величини цього ж елемента в основні міжфазні періоди розвитку.

Як за ходом кривих продуктивності сумарної радіації, так і за ходом температурних кривих продуктивності можна зробити висновок, що оптимальні значення сумарної радіації та температури повітря служать динамічним показником умов формування врожайності.

Рослини реагують також на зниження температур, які спричиняють пошкодження рослин. Це пошкодження залежить від рівня температури, холодової експозиції, виду рослин і попередніх умов розвитку.

Приклад. Розрахувати тривалість міжазного періоду від куціння до виходу у трубку ярого ячменю, якщо куціння настало 20 травня, середня температура кінця травня- червень становила 18 °С. Сума ефективних температур за період куціння – вихід у трубку становить 330 °С. Біологічний мінімум ячменю становить 5 °С. За формулою $n = 330 / (18 - 5) = 25$ днів. Отже тривалість періоду від куціння до виходу у трубку становила 25 днів.

4.3.2 Температура ґрунту.

У ґрунті природного складу першопричиною процесу теплообміну є вертикальний температурний перепад, що змінює знак від дня до ночі. Завдяки цьому виникає процес теплопровідності. Теплообмін у ґрунті здійснюється завдяки: теплопровідності вздовж окремої частки ґрунту, передачі тепла від однієї частки до іншої, молекулярній теплопровідності у середовищі поміж частками, теплопередачі на межі твердих частин і середовища, конвекції газів і вологи.

Денне нагрівання і нічне охолодження ґрунту спричиняють добові коливання його температури. Максимум температури на поверхні ґрунту спостерігається близько 13 години (за сонячним часом). Мінімум температури ґрунту спостерігається перед сходом Сонця. Різниця між максимумом і мінімумом у добовому або річному ході називається *амплітудою ходу температури*.

На величину добової амплітуди температури поверхні ґрунту впливають: пора року, географічна широта, рельєф, рослинний і сніговий покрив, колір ґрунту, стан поверхні, вологість ґрунту, хмарність (рис. 4.8).

Хід температури впродовж року визначається різною кількістю сонячної радіації – найменша у січні, найбільша – в липні або серпні. Амплітуда ходу температури впродовж року збільшується із збільшенням широти (у добовому ході цього не спостерігається). В районі екватора вона складає 2 – 3 °С, у полярних широтах (Якутія) 70 °С.

Нагрівання та охолодження ґрунту залежать здебільшого від його теплофізичних характеристик: теплоємності та теплопровідності. Теплоємність – це кількість тепла, необхідна для підвищення температури ґрунту на 1 °С. Теплоємність буває питома та об'ємна.

Питома теплоємність (C_{num}) – це та кількість тепла, що необхідна для нагрівання 1 кг ґрунту на 1 °С. *Об'ємна теплоємність* ($C_{об}$) – кількість тепла, необхідна для нагрівання 1 м³ ґрунту на 1 °С. Одиниця вимірювання питомої теплоємності – Дж/(кг·К), об'ємної – Дж/(м³·К).

Теплоємність різних ґрунтів залежить від складу твердої частини ґрунту і кількості повітря і води, що знаходяться у порах. Теплоємність води становить 4,2·10³ кДж/(м³·К), а теплоємність повітря – 1,2 кДж/(м³·К). Таким чином видно, що за однакової кількості надходження тепла сухі ґрунти нагріваються і охолоджуються більше і швидше, ніж вологі [80].

Здатність ґрунту передавати тепло від шару до шару називається теплопровідністю. Мірою теплопровідності ґрунтів є коефіцієнт теплопровідності (λ). Коефіцієнт теплопровідності – це кількість тепла в Дж, що проходить за 1 секунду, крізь перетин основи стовпчика ґрунту діаметром 1 м² і висотою 1 м. Одиниця виміру λ у системі СИ – Вт/(м·К).

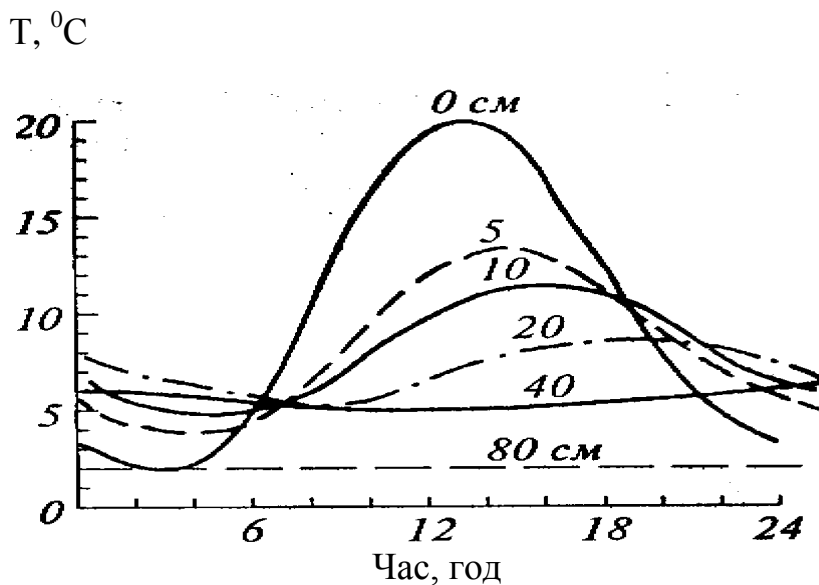


Рис. 4.8. – Добовий хід температури ґрунту на різних глибинах.

Коефіцієнт теплопровідності залежить від пористості, вологості, температури та щільності ґрунту. Теплопровідність збільшується при збільшенні вологи і зниженні температури. Із зменшенням щільності ґрунту теплоємність і теплопровідність сухого ґрунту зменшуються. Деякі теплофізичні характеристики наводяться у табл. 4.10.

Таблиця 4.10 – Теплофізичні характеристики і щільність основних компонентів ґрунтів (за де Фрізом)

Складові частини ґрунту	Питома теплоємність, кДж/(кг·К)	Щільність, кг/м ³	Об'ємна теплоємність, кДж/(м ³ ·К)	Коефіцієнт	
				теплопровідності, Вт/(м·К)	температуропровідності, м ² /с
Пісок	0.74	2.65·10 ³	2.0·10 ³	8.80	4.40·10 ⁻⁶
Більшість ґрунтових мінералів	0.80	2.65·10 ³	2.1·10 ³	2.90	1.40·10 ⁻⁶
Органічна речовина	2.50	1.10·10 ³	2.7·10 ³	0.25	0.09·10 ⁻⁶
Вода	4.20	1.00·10 ³	4.2·10 ³	0.60	0.14·10 ⁻⁶
Повітря (t = 20 ⁰ С)	1.00	1.20	1.20	0.03	21·10 ⁻⁶

Для оцінки швидкості вирівнювання температури різних шарів ґрунту використовується його теплопровідність.

Мірою температуропроводності ґрунту є коефіцієнт температуропроводності, що характеризує швидкість розповсюдження тепла у ґрунті і визначається як відношення коефіцієнта теплопровідності (α) до об'ємної теплоємності ($C_{об}$)

$$K_T = \alpha / C_{об} \quad (4.19)$$

Величина коефіцієнта температуропроводності ґрунту залежить здебільшого від вмісту в ньому води і повітря, а також щільності.

Тепло в ґрунті розповсюджується за законами загальної теорії молекулярної теплопровідності, які мають назву законів Фур'є [36,80]:

- незалежно від типу ґрунту період коливань температури з глибиною не змінюється;
- зростання глибини в арифметичній прогресії викликає зменшення амплітуди в геометричній прогресії. Це видно з добового ходу температури ґрунту на різних глибинах (рис.4.8);
- максимальні і мінімальні температури на глибинах наступають пізніше.

Як видно з рис. 4.9, на глибині 70 – 100 см незалежно від типу ґрунту амплітуда температури практично дорівнює 0. Річні коливання температури розповсюджуються з глибиною за тими ж законами. Шар ґрунту, в якому спостерігається добовий і річний хід температури, називається *активним або діяльним шаром*

З особливостями добового та річного ходу температури пов'язаний розподіл температури ґрунту по вертикалі в різний час доби і пору року.

Розподіл температури впродовж доби, декади, місяця, року розглядають за допомогою графіків (рис. 4.9), які дозволяють визначити зміну температури ґрунту в залежності від часу і глибини.

Для побудови такого графіка на вертикальній осі відкладається глибина, на горизонтальній – час. На графік наносять середню температуру за певний відрізок часу.

Потім точки з однаковими значеннями температури з'єднуються плавними лініями – *термоізоплетами*.

Такі графіки використовують для визначення критичних температур вимерзання озимих культур, а також при розрахунках меліорацій, у комунальному господарстві та при будівництві шляхів [72].

На температуру ґрунту суттєво впливає рельєф. Навесні і восени південні схили вдень тепліші, а північні холодніші, ніж відкрите рівне місце. Це зумовлено розподілом сумарної сонячної радіації.

На температуру ґрунту впливає наявність рослинного покриву. Дія рослинного покриву на термічний режим ґрунту і приземного шару повітря дуже різноманітна. Нерівномірне затінення ґрунту спричиняє неоднорідність термічного і радіаційного поля під посівами. Вдень

поверхня під рослинами нагрівається менше і менше охолоджується вночі за рахунок зменшення випромінювання. Транспірація рослин та її мінливість з часом значною мірою визначає розподіл температури у міжлистовому просторі і також зменшує температуру ґрунту за рахунок витрат тепла на випаровування. В холодну пору року на тепловий режим ґрунту дуже впливає наявність снігового покриву. Сніг завдяки малій теплопровідності перешкоджає сильному охолодженню і промерзанню ґрунту. За даними О.М.Шульгіна глибина промерзання ґрунту різко зменшується із збільшенням товщини снігу. Крім того, зменшується середня із абсолютних мінімальних температур на глибині 3 см [114,115].

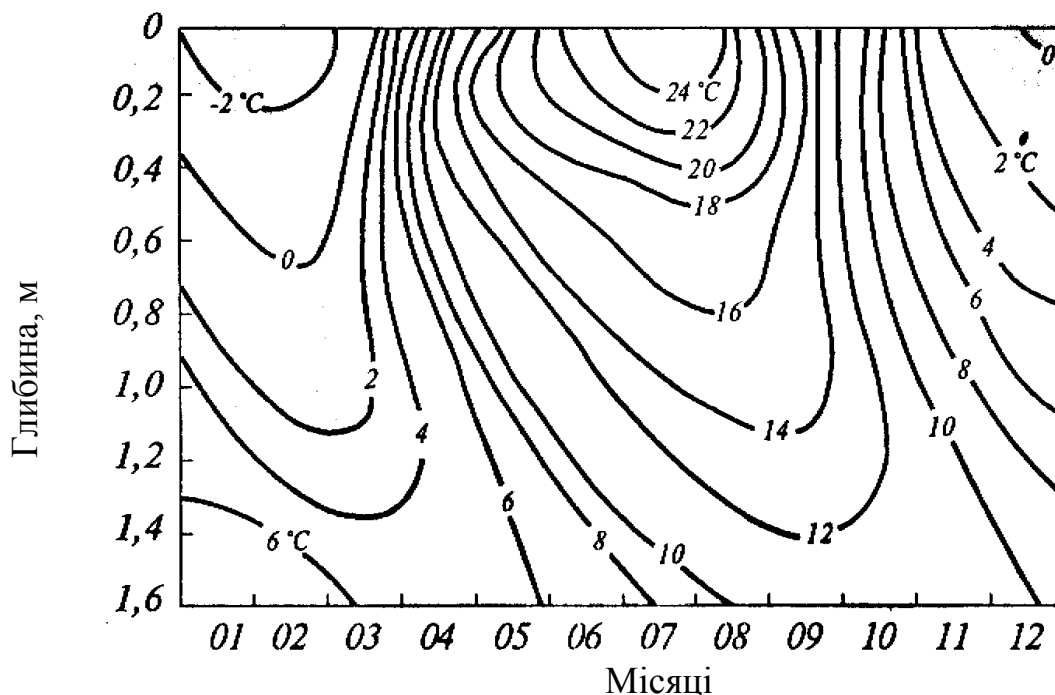


Рис. 4.9 – Термоізоплети річного ходу температури ґрунту

Температура ґрунту має велике значення для перезимівлі озимих культур. Особливо велике значення має температура ґрунту на глибині 3 см. На цій глибині здебільшого розташовується вузол кущіння озимих культур – головний орган, у якому накопичуються речовини, необхідні рослинам у суворих умовах зими. О.М. Шульгін встановив, що головними показниками умов перезимівлі озимини є температура ґрунту на глибині 3 см, висота снігу, глибина промерзання ґрунту. Ці три чинники обмежують просування озимих культур у більш північні райони. Якщо у озимих культур або багаторічних трав пошкоджується вузол кущіння і коренева шийка, то рослини гинуть і навесні їх життєдіяльність не відновлюється.

Навесні температура ґрунту також є важливим фактором в житті рослин. Після сівби проростання насіння, розвиток коріння, засвоєння ним

продуктів живлення, життєдіяльність мікрофлори ґрунту залежать від температури ґрунту. З підвищенням температури та за умов доброго зволоження ґрунту всі процеси прискорюються. Зменшення температури ґрунту навесні призводить до загнивання і пошкодження насіння, що, в свою чергу, зумовлює зрідження посівів.

Проростання насіння зернових культур відбувається при температурі $0 - 5^{\circ}\text{C}$; соняшнику, картоплі – $5 - 8^{\circ}\text{C}$; кукурудзи, капусти – $8 - 10^{\circ}\text{C}$; рису $10 - 12^{\circ}\text{C}$; томатів, баклажанів, перцю – $12 - 15^{\circ}\text{C}$; бавовни, гарбузів – $13 - 15^{\circ}\text{C}$; динь, огірків – $15 - 18^{\circ}\text{C}$.

При підвищенні температури ґрунту проростання насіння прискорюється, але прискорення спостерігається тільки до оптимальних значень температури. Якщо сівба культур проводиться рано у холодний ґрунт, то поява сходів затримується, але прискорюється розвиток коріння. При пізній сівбі – навпаки. Цій закономірності не підлягають озимі культури, бо вони розвиваються восени на фоні безперервного зниження температури повітря і ґрунту.

Температура ґрунту відіграє важливу роль у біологічних та хімічних процесах, що визначають напрям і швидкість перетворення питомих речовин у ґрунті. Встановлено, що при температурі ґрунту 5°C надходження азоту і фосфору в рослини в 3 рази менше, ніж при температурі 20°C . Перетворенню елементів живлення на доступну для рослин форму сприяють мікроорганізми, активність яких збільшується при підвищенні температури [101, 103].

З температурою тісно пов'язане розповсюдження шкідників і хвороб. У теплолюбних культур в холодні весни захворювання і пошкодження проростків збільшується.

В холодному ґрунті ($t \leq 5^{\circ}\text{C}$) збільшується кількість личинок проволочника. В теплом ґрунті ($t = 10 - 12^{\circ}\text{C}$) збільшується кількість бурякового довгоносика, капустної мухи, озимої совки та ін.

Температура ґрунту, як і температура повітря, має добовий і річний хід.

4.3.3 Тепловий баланс рослинного покриву

Сонячна радіація і випромінювання атмосфери після поглинення рослинами і подальшого променистого обміну надалі витрачаються на фотосинтез, випаровування рослинами і ґрунтом, нагрівання рослин і т.ін. У загальному вигляді рівняння теплового балансу записано

$$R = P + LE + B + \Delta, \quad (4.20)$$

де R – радіаційний баланс;

P – турбулентний теплообмін поміж підстильною поверхнею і атмосферою;

LE – витрати тепла на випаровування;

B – потік тепла в ґрунт;

Δ – тепло, що витрачається або виділяється при біохімічних процесах.

Окремо рівняння теплового балансу рослин і ґрунту мають вигляд:

$$R(I) = P(I) + LE(I) + B(I) + \Delta ; \quad (4.21)$$

$$R(\Pi) = P(\Pi) + LE(\Pi) + B(\Pi) + \Delta . \quad (4.22).$$

При біохімічних процесах в природних умовах витрати енергії не перевищують 2% від величини радіаційного балансу, тому величина Δ найчастіше не береться до уваги.

Знання закономірних зв'язків процесів теплообміну в середовищі мешкання рослин і коріння дозволить з'ясувати особливості мікрокліматичного режиму полів з різними сільськогосподарськими культурами, а також дасть можливість враховувати ці особливості при розробці методів прогнозів і регулювання середовища мешкання рослин.

Добовий хід радіаційного балансу $R(I)$ і потоку тепла в ґрунт $B(I)$ майже завжди визначається потоком сумарної радіації і умовами хмарності; в залежності від зміни $R(I)$ та $B(I)$ змінюються і витрати тепла на випаровування $LE(I)$ та $P(I)$. Крім того, $LE(I)$ змінюється в залежності від розвитку РП: чим більш розвинуте листя, тим більше $LE(I)$.

Як характеристика структури теплового балансу РП використовується співвідношення між окремими складовими: R ; LE ; P ; P/R ; P/LE (відношення Боуена). Величина P/LE тим більша, чим менше вологи в ґрунті і чим більше надходження сонячної радіації при незмінних вологозапасах. Якщо вологозапаси становлять 80% НВ і є добре розвинений РП, то спостерігаються близькі до 0 і навіть негативні значення P/LE [29,42,44,73,92].

Таке явище називають «оазисним» ефектом і воно виникає на добре зволоженому полі за високих температур, збільшення дефіциту насичення повітря вологою і швидкості вітру. Для визначення складових теплового балансу існують методи інструментальні і розрахункові.

Турбулентний потік теплоти $P(I)$ і витрат тепла на випаровування $LE(I)$ визначаються за допомогою теплобалансових спостережень. Найчастіше для визначення $P(I)$ та $LE(I)$ використовуються формули

$$P(I) = 1,35k_1 + \Delta t , \quad (4.23)$$

$$LE(I) = 2,1k_1 \cdot \Delta t , \quad (4.24)$$

де Δt і Δl різниці температури повітря ($^{\circ}\text{C}$) і пружності водяної пари (мб) на рівнях 0,5 та 2,0 м; k_1 – коефіцієнт турбулентності на висоті 1 м, $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$, визначається при зміні швидкості вітру тільки на $h=1\text{ м}$ рівнянням

$$k_1 = 0,16U_1 \cdot D[1 + 7,5(\Delta t / \Delta U^2)], \quad (4.25)$$

де U_1 – швидкість вітру на висоті 1 м; $D = 1/\ln(t/Z_0)$.

При зміні швидкості вітру на висотах 0,5 і 2,0 k_1 визначають з виразу

$$k_1 = 0,104\Delta U \cdot m, \quad (4.26)$$

де ΔU – різниця між швидкостями вітру на висоті 2,0 і 0,5 м;

m – множник, який залежить від швидкості вітру і різниці температур повітря на рівнях 0,5 та 2,0 м.

Для визначення Z_0 та D для різних поверхонь використовують дані табл.4.11. Δt , Δl та ΔU визначаються як різниця між вимірами на висоті 0,5 та 2 м.

Таблиця 4.11 – Параметр Z_0 і коефіцієнт D для різних діючих поверхонь

Діюча поверхня	Висота нерівностей, см	Z_0 , м	D , безрозм.
Гола поверхня твердого ґрунту	–	1	0,22
Чорний пар	6...10	2	0,26
Трава	6	1	0,22
Трава	6-15	2	0,26
Трава	16-25	3	0,29
Трава	26-35	4	0,31

Найбільш складним є розрахунок теплообміну в ґрунті.

Теплообмін в ґрунті здійснюється з допомогою теплопровідності вздовж елемента твердого скелету ґрунту, передачею тепла завдяки теплопровідності від однієї частини ґрунту до іншої, молекулярної теплопровідності, теплопередачі на межі твердих частинок і середовища, випромінюванням від частинки до частинки та ін [60].

Потік тепла $B(l)$ в ґрунт через одиницю його поперечного перерізу в одиницю часу описується рівнянням

$$B(l) = -\lambda \frac{dT_n}{dZ}, \quad (4.27)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт·м⁻¹·град⁻¹.

$$\lambda = K_T \cdot C'; \quad (4.28)$$

$$K_T = X[m_i(W_1 - W_n)^2 + 10^{-3}m_2\rho_n + m_3] \cdot 10^{-7}; \quad (4.29)$$

$$C' = (C_n \cdot C_{вод} \cdot 0,01W)\rho_n, \quad (4.30)$$

де K_T – коефіцієнт температуропровідності, м²·с⁻¹;

C' – об'ємна теплоємність ґрунту, кДж·м³, °С;

ρ_n – щільність ґрунту, кг·м⁻³;

C_n – питома теплоємність ґрунту, кДж·кг⁻¹, °С;

$C_{вод}$ – питома теплоємність води становить 4,19 кДж·кг⁻¹, С;

m_i – коефіцієнт, що залежить від типу ґрунтів ($i = 1, 2, 3, 4$);

W – вологість ґрунту, %.

Значення усіх теплофізичних характеристик λ , K_T , C' залежать від властивостей і стану ґрунтів – вологості, щільності, механічного складу, які змінюються з глибиною.

Із збільшенням вологості ґрунту λ і C' збільшуються, а із збільшенням ρ_n – зменшуються. Коефіцієнт температуропровідності K_T також залежить від вологості ґрунту та вмісту повітря в ньому. При малих значеннях вологості K_T зростає, із збільшенням вологості зростання K_T уповільнюється [3, 15, 43, 44].

Питома теплоємність ґрунту C_n залежить від механічного складу ґрунту і для різних ґрунтів значення C_n наведені в табл.4.12.

Таблиця 4.12 – Питома теплоємність абсолютно сухого ґрунту при позитивних температурах (за А.Ф. Чудновським та Д.А. Куртєнер)

Тип ґрунту	Теплоємність, C_n , кДж/(кг·°С)
Звичайний чорнозем	1,05
Супісок	0,84
Пісок	0,75
Суглинок	0,96
Горф	2,18
Каштановий	0,84

Значення емпіричних коефіцієнтів у формулі (4.27) представлені в табл. 4.13.

Таблиця 4.13 – Емпіричні коефіцієнти для різних типів ґрунту
(за даними Є.О. Іконникова)

Тип ґрунту	Значення m_i при i			
	1	2	3	4
Звичайний чорнозем	-0,013	3,1	1,21	20
Темнокаштановий	-0,017	2,2	1,90	18
Сірозем	-0,0062	2,7	-0,20	18
Південний чорнозем	-0,0104	2,4	0,68	20
Дерново-глеюватий, Підзолистий	-0,020	3,1	1,40	20

Для розрахунку потоків тепла використовуються формула (4.25) у тих випадках, коли відомий розподіл температур з глибиною, тобто при наявності теплобалансових спостережень.

Якщо температурне поле невідоме, то використовується рівняння теплопровідності ґрунту:

$$\rho_n C_n \frac{dT_n}{dt} = \frac{d}{dZ} \left(\lambda \cdot \frac{dT_n}{dZ} \right), \quad (4.31)$$

в якому ліва частина представляє собою зміну температури ґрунту за часом; права – приріст потоку тепла з глибиною. Р.Дж.Хенкс і Дж.Расмусен показали, якщо це рівняння (4.25) подати у залишковому вигляді, то

$$\frac{T_i^{j+1} - T_i^j}{\Delta t} = \frac{\lambda (T_{i-1}^j - 2T_i^j + T_{i+1}^j)}{(\Delta Z)^2}, \quad (4.32)$$

де i – індекси, що визначають шари ґрунту;

j – верхні індекси, що визначають приріст з часом;

Δt – відрізок часу;

ΔZ – відстань між шарами ґрунту.

Якщо визначити, що

$$\lambda [\Delta t / (\Delta Z)^2] = 0,5, \quad (4.33)$$

то рівняння (4.27) спрощується до вигляду

$$T_i^{j+1} = 0,5 (T_{i-1}^j + T_{i+1}^j) \quad (4.34)$$

Отримане рівняння використовується для розрахунку температури ґрунту на будь-якій глибині i в будь-який час в умовах невстановленого теплового потоку. Для розв'язання рівняння (4.32) необхідні початкові та межові умови, які можуть бути визначені у полі або розраховані з обмеженими припущеннями. У цьому випадку температура ґрунту за попередній час j є початковою межею для подальшого $j+1$.

Температура ґрунту в шарі i для часу $j+1$ визначається як осереднена температура верхнього шару ґрунту $i-1$ з температурою нижнього шару $i+1$ за час i та ін.

Р.Дж. Хенксом і Дж. П. Ашкрофтом [121] отримані розрахункові дані температури ґрунту за початковими та межовими умовами (табл. 4.14).

Таблиця 4.14 – Розрахунок температури ґрунту за початковими і межовими даними (згідно з Р.ДжХенкс і Дж.П.Ашкрофт)

Час доби	Початкові дані	T_i^{j+1} при глибині, см									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
00	18,6	21,8	23,2	21,8	21,0	20,0	18,8	18,5	18,0	17,0	16,5
02	16,8	20,9	21,8	22,1	20,9	19,9	19,3	18,4	17,8	17,3	16,5
04	15,5	29,3	21,5	21,4	21,0	20,1	19,2	18,6	17,9	17,2	16,5
06	15,6	18,5	20,4	21,3	20,8	20,1	19,4	18,6	17,9	17,2	16,5
Продовження табл. 4.14											
08	17,3	18,0	19,9	20,6	20,7	20,1	19,4	18,7	17,9	17,2	16,5
10	23,9	18,6	19,3	20,3	20,4	20,1	19,4	18,7	18,0	17,2	16,5
12	32,1	21,6	19,5	19,9	20,2	19,9	19,4	18,7	18,0	17,3	16,5
14	38,7	24,8	20,8	19,9	19,9	19,8	19,3	18,7	18,0	17,3	16,5
16	37,4	29,8	22,9	20,4	19,9	19,6	19,3	18,7	18,0	17,3	16,5
18	31,9	30,2	25,1	21,4	20,0	19,6	19,2	18,7	18,0	17,3	16,5
20	26,5	28,5	22,8	22,6	20,5	19,6	19,2	18,6	18,0	17,3	16,5
22	23,2	26,2	25,6	23,2	21,1	19,9	19,1	18,6	18,0	17,3	16,5
24	21,5	24,4	24,7	23,4	21,6	20,1	19,3	18,6	18,0	17,3	16,5

Примітка: Започатковані умови – температура на поверхні ґрунту за добу з інтервалом 2 год; температура в 00.00 годин на глибинах i температура на глибині 100 см.

Приклад розрахунку потоку тепла в ґрунт наводиться в табл. 4.15.

Таблиця 4.15 - Розрахувати потік тепла в ґрунт.

Глибина См	Температура ґрунту (°С) в строки спостережень, (21.05 – 31.05)								
	19	1	7	10	13	16	19		
0	22,3	14,2	16,7	43,0	46,0	41,6	23,9		
5	27,9	20,2	16,9	31,0	31,0	39,5	27,9		
10	25,1	22,2	17,4	25,3	25,3	29,2	25,1		
15	29,2	26,4	19,3	23,7	23,4	26,2	24,2		
20	21,6	23,9	20,2	19,9	23,3	23,3	21,6		
Розрахунок Δt									
Δt_0	-	8,1	2,5	19,4	6,9	1,4	18,5		
Δt_5	-	7,7	3,3	7,3	6,8	8,5	11,6		
Δt_{10}	-	2,9	4,8	2,9	5,0	3,9	4,1		
Δt_{15}	-	5,8	4,1	0,1	4,0	2,8	2,0		
Δt_{20}	-	2,3	3,8	0,8	3,9	0,0	1,7		
Розрахунок $S, D(t)$									
S_0	-	13,3	4,1	34,6	11,3	2,4	15,0		
S_5	-	51,7	22,0	48,3	44,6	56,6	18,9		
S_{10}	-	10,2	16,4	10,2	17,2	13,6	14,4		
S_{15}	-	17,8	12,3	0,3	12,2	8,6	6,0		
S_{20}	-	0,2	0,3	0,1	0,3	0,0	0,1		
$D(t)$	-	92,8	55,3	93,8	85,6	89,6	69,4		
Величина				Строк, год.					
				1	7	10	13	16	19
$D(t)$				10,2	16,4	10,2	17,2	13,6	14,4
$D_n(t)$				0,2	0,3	0,1	0,3	0,0	0,1
$D(t)-D_n(t)$				10,0	16,1	10,1	16,9	13,6	14,3
c				13,8	22,2	13,9	23,3	18,8	19,7
$c \cdot [D(t)- D_n(t)]$				13,8	22,2	13,9	23,3	18,8	19,7

Контрольні питання

1. Що називається тепловим ежимом атмосфери?
2. Якими величинами характеризується температура повітря?
3. Дайте характеристику річного ходу температури повітря.
4. Як змінюється температура повітря з висотою?
5. На які групи діляться рослини по відношенню до тепла?
6. Що називається біологічною сумою температур?
7. Що називається біологічним мінімумом температури?
8. Дайте визначення активної і ефективної температури.
9. Чим визначається потреба рослин у теплі?
10. Що називається амплітудою температур?
11. Які температури називаються баластними для рослин?
12. Від яких факторів залежить нагрівання і охолодження ґрунту?
13. Що характеризує коефіцієнт теплопровідності ґрунту?
14. Як характеризується добовий хід температури ґрунту?
15. Які складові входять в рівняння теплового балансу ґрунту?
16. Як розраховується теплообмін у ґрунті?.

4.4 Вода як фактор життєдіяльності рослин

Вода, як екологічний фактор має найважливіше значення в житті всіх без винятку біологічних об'єктів. В тканих тканин вона становить 70...95 % сирової маси. При зниженні кількості води в клітинах і тканинах до критичного рівня живі структури переходять в стан анабіозу.

Згідно досліджень Польового В.В. (1989) в біологічних об'єктах вода виконує такі функції:

- вода – найважливіший розчинник і необхідне середовище для біохімічних реакцій;
- вода входить до складу молекул білків і приймає участь в життєдіяльності клітинних структур;
- вода – метаболіт, тобто речовина, яка виникає в організмі в результаті обміну речовин і безпосередній компонент біохімічних процесів;
- вода – терморегулюючий фактор, який захищає тканини рослин від різких коливань температури;
- вода – добрий амортизатор при механічних впливах на рослини.

За потребою у воді рослини діляться на 4 групи: *гідрофіти*, *гігрофіти*, *ксерофіти*, *мезофіти*.

1. *Гідрофіти*- рослини, які ростуть та вільно плавають у воді або укорінені на дні водоймищ (водяна лілія).

2. *Гігрофіти* – суходольні рослини, життєвий цикл яких здійснюється в умовах достатнього водопостачання та високої вологості повітря. Найбільш типовими гігрофітами є рослини вологої і теплої атмосфери тропічних лісів (папоротники, орхідеї), та світлолюбні рослини заболочених і перезволожених ґрунтів.

3. *Ксерофіти* рослини, які пристосувались до значної постійної або тимчасової нестачі води в ґрунті або в повітрі за рахунок обмеження випаровування, збільшення постачання води із ґрунту, створення запасів води під час тривалої перерви у водопостачанні. Це можливе через поширений розвиток кореневої системи. Ксерофіти найбільш поширені в степах, пустелях та напівпустелях.

4. *Мезофіти* займають проміжне положення між гігрофітами та ксерофітами. Вони найбільше розповсюджені в помірно-вологих місцях. Ця група рослин найбільше поширена в помірному кліматі. До неї відносяться дерева, чагарники, лукові і лісові трав'янисті види, бур'яни та культурні рослини, ефемери та ефемероїди. Ефемероїди – рослини з надзвичайно коротким періодом вегетації (30 – 50) днів. Вони характерні для пустель, напівпустель та сухих степів.

Значний вплив на формування запасів вологи в ґрунті, а отже і на урожай) спричиняють опади. Опосередкований вплив опадів на ґрунтову вологу є головним, провідним для росту, розвитку і продуктивності

сільськогосподарських культур. Вивченням впливу опадів на урожай займались Р. Слейчер, А.В. Федоров, О.С. Конторщиков, А.Г. Булавко та ін.[51,72,77].

Вплив опадів на врожай виражається інтенсивністю, тривалістю та кількістю. Основна функція опадів є подвійною і полягає по-перше у забезпеченні рослин вологою, а також у наявності опосередкованого впливу опадів на формування продуктивності (рис.4.10).

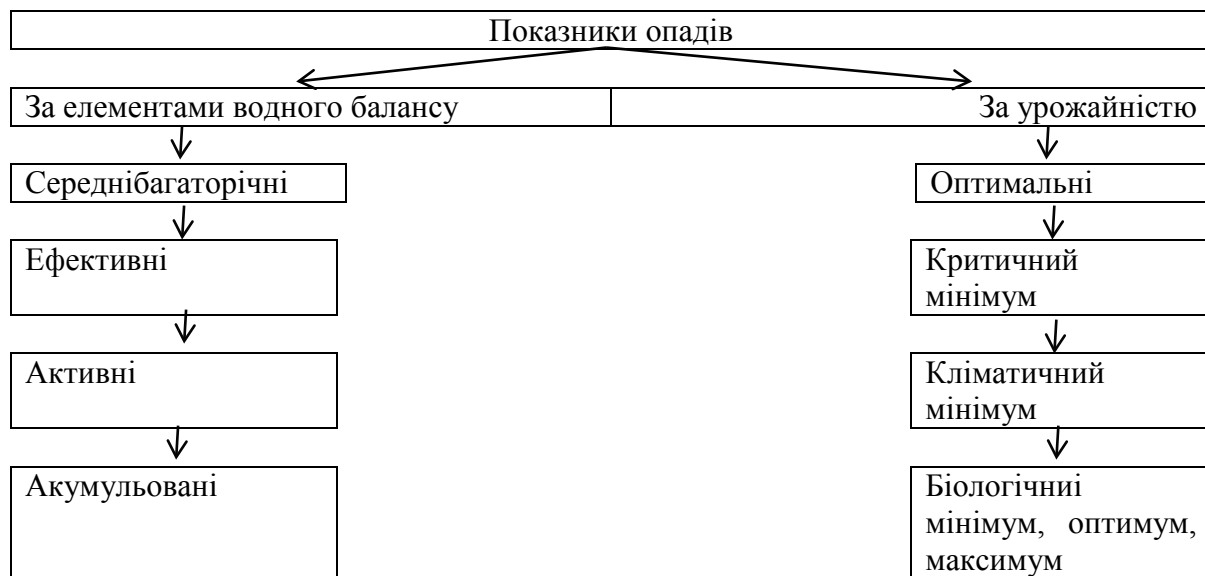


Рис.4.10 Класифікація показників опадів для характеристики умов формування врожаю (за В.П.Дмитренком).

В.П.Попов ввів поняття ефективних опадів, які визначаються як різниця між їх річною кількістю, випаровування і стоком. За даними В.П. Попова ефективні для формування врожаю опади становлять 20 – 30 % їх річної кількості.

А.Г. Булавко розподіляє опади на частки : опади, що спостерігались, опади затримані рослинами, активні опади та приведені.

Коефіцієнти акумуляції опадів застосовуються для оцінки їх частки, що спрямована на насичення ґрунту.

Уявлення про оптимальну кількість опадів для формування врожайності сільськогосподарських культур започаткував В.М. Обухов [63]. Під *оптимумом* опадів в даній місцевості в даний час для визначеної культури розуміється їх кількість, що зумовлює максимальну врожайність.

Біологічним мінімумом опадів вважається їх відсутність. Під *біологічним максимумом* опадів вважається їх кількість, яка повинна бути адекватною кількості вологи, що заповнює кореневий шар до повної волого місткості з урахуванням випаровуваності, стоку та фільтрації.

А.М. Алпасьєв ввів поняття *критичного мінімуму опадів*, що уявляє собою суму опадів, яка забезпечує зволоження кореневого шару на рівні вологості в'янення [1].

Вологість ґрунту має надзвичайно велике значення у процесах росту, розвитку та формування продуктивності рослин.

Рослина впродовж всього періоду розвитку витрачає надземною частиною воду через транспірацію та випаровування. Поповнення тканин водою відбувається через надходження її через коріння із ґрунту. Водний обмін рослин підтримується завдяки постійному притоку води, який знаходиться в рухливій рівновазі.

Рослина через коріння споживає воду до тих пір, поки сисна сила коріння може конкурувати із сисною силою ґрунту. Кількість надходження води в рослину залежить від розмірів сисної поверхні коріння, яка носить назву активної, від типу ґрунтів, концентрації клітинного соку, температури ґрунту і т. ін.

Активна поверхня коріння у трав'янистих сільськогосподарських культур становить приблизно $1 \text{ см}^2 / \text{см}^3$. Більшість рослин розвивають сисну силу $1 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^5$ Па. Деякі трав'янисті рослини помірної зони здібні збільшувати сисну силу свого коріння до $40 \cdot 10^5$ Па. Зменшення води в ґрунті призводить до різкого зростання сисної сили [1,14,30,77,80].

Для споживання води із теплого ґрунту необхідні менші сисні сили ніж з холодного. При температурі ґрунту близькій до 0°C більша частина води в ґрунті замерзає і стає недоступною до поглинання.

Інформації про властивості ґрунтової вологи накопичилось достатньо багато. Це дослідження А.А. Роде, О.І.Будаговського, С.О. Веріго, Л.О. Розумової, І.І. Судніцина, Л.С. Кельчеської, В.І. Конторщикова, А.М. Алпасьєва і ін [1,14,30,72,77,80].

В тканинах рослини вода рухається від клітин з більш високим водним потенціалом до клітин, які мають нижче значення водного потенціалу.

Вода випаровується із всієї зовнішньої і внутрішньої поверхні рослини, які стикаються з повітрям. З поверхні рослини водяний пар надходить в повітря, з яким вона стикається та у вільний простір. Переміщення водяної пари від випаровуючих поверхонь рослини в напрямку вільного повітряного простору відбувається шляхом дифузії у відповідності із законом Фука. Тому і транспірацію можна розглядати як дифузійний процес: інтенсивність транспірації прямо пропорційна різниці між концентрацією водяної пари біля випаровуючих поверхонь і вмістом водяної пари в атмосфері.

Транспірація відбувається через продиhi в тканині рослини (продихова *транспірація*) і залежить вона від кількості продиhiv в тканині рослини, розмірів продиhiv, їх розташування.

Ще є *кутикулярна* транспірація, коли молекули води дифундують через кутикулярні шари зовнішніх стінок епідермісу та через кутикулу.

Перидермальна транспірація відбувається через обкоровані стебла (стовбури, гілля).

Через продиховий апарат проходить і дифузія водяної пари і CO_2 , ці процеси взаємозв'язані. Щоб отримати CO_2 рослини повинні віддати воду, а зменшення притоку води зменшує і притік CO_2 .

Відношення між витратами води и отриманою продукцією називається *транспіраційним коефіцієнтом*, або, інакше, *продуктивністю транспірації*. Кількість води, яка витрачається через транспірацію повинна бути компенсована такою ж кількістю води за рахунок поглинання її корінням.

Потреба у воді на утворення одиниці сухої маси неоднакова у різних видів рослин і дуже сильно залежить від умов мешкання і густоти травостою (табл. 4.16).

Інтенсивність транспірації за достатньої зволоженості визначається метеорологічними умовами: інтенсивністю сонячної радіації, температурою повітря, відносною вологістю повітря, швидкістю вітру, типом ґрунту та його водним потенціалом [87].

Таблиця 4.16 – Середні витрати води на утворення 1 г сухої речовини, г (за О.Ф. Смаглієм)

Трав'янисті рослини	Витрати води	Листяні дерева	Витрати води
Рис	680	Дуб	340
Жито	630	Береза	320
Овес	580	Бук	170
Пшениця	540	Хвойні дерева	
Ячмінь	520	Сосна	300
Люцерна	840	Листвяниця	260
Конюшина червона	640	Ялина	230
Картопля	640	Теплолюбні рослини	
Соняшник	600	Кукурудза	370
Кавун	580	Просо	300
Бавовна	570	Амарант	300

Інтенсивність транспірації має добре виражений денний хід з максимальними значеннями від 12 до 16 години. Причому, денний хід транспірації найбільш відчутний в перші дні після зволоження ґрунту, у подальшому збільшення тривалості періоду після зволоження ґрунту по мірі його висихання денний хід поступово згладжується і на десятій день добовий хід транспірації повністю згладжується.

Кожен вид рослин має свої особливості транспірації і свої потреби у воді. Потреба рослин у воді – це витрати води в польових умовах на транспірацію та випаровування з поверхні ґрунту за умови безперебійного постачання вологи до коріння рослин при визначених площах живлення, освітлення та агротехніки.

Окрім біологічних особливостей, потреба рослин у воді залежить від умов навколишнього середовища, тривалості вегетаційного періоду. За даними А.М. Алпатьєва витрати води за добу відрізняються у різних рослин на 10 %, а витрати води за вегетаційний період - на 36 ... 43 % (табл. 4.17) [1].

Таблиця 4.17– Вплив тривалості вегетаційного періоду рослин на витрати води (за А.М. Алпатьєвим)

Культура	Тривалість вегетаційного періоду, дні	Витрати вологи, мм		Витрати вологи за добу, мм
		за весь період	в тому числі опади	
Овес – віка	67	182	92	2,7
Гречка	93	264	184	2,8
Ячмінь	97	264	187	2,7
Яра пшениця	101	271	187	2,7
Кукурудза	131	317	265	2,4
Цукрові буряки	154	407	305	2,6

Коефіцієнт водоспоживання (табл. 4.18) менш специфічний для культур і характеризує ефективність використання вологи агроценозом. Він більше залежить від природних і агротехнічних факторів, ніж коефіцієнт транспірації, помітно підвищується в зоні з недостатньою кількістю опадів. Зниження коефіцієнта водоспоживання досягається скороченням непродуктивних витрат вологи шляхом вдосконалення технологій вирощування сільськогосподарських культур.

Коефіцієнт водоспоживання має важливе значення при розрахунку рівня можливої урожайності. В табл. 4.18 наведені найбільш типові коефіцієнти водоспоживання основних польових культур.

В умовах оптимального зволоження вологопотреба рослин дорівнює максимально можливому випаровуванню (випаровуваності). Сумарне випаровування знаходиться в залежності від стану розвитку рослин, зволоження ґрунту та метеорологічних факторів. Максимально можливе випаровування (випаровуваність) визначається за допомогою випарювача ГГІ 3000, який встановлюється на метеорологічних майданчиках, або за

Таблиця 4.18 – Коефіцієнт водоспоживання сільськогосподарських культур, м³/т сухої біомаси (за О.Ф. Смаглієм та ін.2006)

Культура	Умови зволоження		
	вологі	середні	посушливі
Озима пшениця	375 - 450	450 - 500	500 - 525
Озиме жито	400 - 425	425 - 450	450 - 550
Яра пшениця	350 - 400	400 - 465	435 - 500
Ячмінь	375 - 425	435 - 500	470 - 530
Овес	435 - 480	500 - 550	530 - 590
Картопля	167 - 300	450 - 500	550 - 650
Цукрові буряки	240 - 300	310 - 350	350 - 400
Льон	240 - 250	300 - 310	370 - 380
Багаторічні трави (сіно)	500 - 550	600 - 650	700 - 750

допомогою ґрунтових випарників. Крім того, існує низка методів розрахунку випаровуваності, які в тій чи іншій мірі враховують значення метеорологічних елементів. Відомі методи М.І Будико, Х.Л. Пенмана, формули яких засновуються на матеріалах спостережень за радіаційним та тепловим балансом; метод А.І Будаговського, в формулу якого вводиться додатковий коефіцієнт, що враховує вплив не лінійності між часткою насичення водяної пари і температури випарної поверхні.

В агрометеорології для розрахунків випаровуваності найчастіше використовуються методи А.М. Алпатьєва і Н.Н Іванова [1,21,72].

Формула Н.Н.Іванова

$$E_o = 0,0006 (25 + t)^2 (100 - a) , \quad (4.35)$$

де E_o – випаровуваність, мм;

t – середня температура повітря за декаду, °С;

a – середня відносна вологість повітря за декаду.

Формула А.М. Апатьєва

$$E_o = 0, 65 \sum d , \quad (4.36)$$

де $\sum d$ – сума дефіцитів насичення повітря за декаду.

Для сільськогосподарських рослин оптимальною вологістю вважається та, що забезпечує нормальні умови життєдіяльності (в першу чергу, нормальне обводнення клітин). Верхня межа оптимального

зволоження в зоні з глибоким заляганням ґрунтових вод становить близько значення найменшої вологомісткості (НВ).

В умовах глибокого залягання ґрунтових вод насичення ґрунту вологою більше 80 % загальної пористості ґрунту шкідливо впливає на рослини через зменшення запасів повітря в ньому.

Різке зниження урожаїв часто спостерігається за вологості ґрунту вище 90 -100% повної вологомісткості, що відповідає запасам повітря в ґрунті 10-20 % об'єму ґрунту.

Верхня межа оптимальної вологості ґрунту визначається вимогами рослин до аерації або максимально можливим в польових умовах ступенем насичення водою зони розміщення коріння.

Нижня межа оптимальної вологості знаходиться в межах вище вологості стійкого в'янення. А.М. Алпатьєвим визначені межі оптимальної вологості для різних рослин (табл. 4.19).

Таблиця 4.19 – Оптимальна вологість для різних рослин
(за А.М. Алпатьєвим)

Ґрунт	Культура	Нижня межа оптимальної вологості, % НВ	Періоди підтримки оптимальної вологості ґрунту
Сірозем важко суглинковий	цукрові буряки	75 – 80	з червня по вересень
Чорнозем важко суглинковий	цукрові буряки	75	з утворення 4 пари листків до середини серпня
Чорнозем суглинковий	яра пшениця	70 – 80	від кущіння до молочної стиглості
Чорнозем легкосуглинковий	яра пшениця	70 – 75	вихід у трубку – налив зерна, від початку цвітіння до плодоносіння. весь період те ж Не вказано Вихід у трубку – налив зерна
	томати	75	
	огірки	80	
	капуста	80	
	люцерна на сіно	70-75	
	яра пшениця	70-75	

Нижня межа для різних польових культур коливається в межах 70 – 75 %, для овочевих - від 75 до 80 % найменшої вологомісткості. За вказаного ступеня насичення ґрунту вологою спостерігається високе обводнення клітин, що є необхідною умовою протікання процесів метаболізму культурних рослин.

Пересування води в ґрунті і в рослині має складний характер, який визначається фізичними, хімічними властивостями ґрунту та морфологічними і фізіологічними особливостями рослин.

Встановлено, що потреба рослин у воді задовольняється повністю, якщо вологість важко суглинкових і глинистих ґрунтів становить не нижче 70 – 80 % найменшої вологомісткості, легко – і середньо суглинкових – не менше 65 – 75 %, супіщаних – не нижче 50 – 60 %.

Режим споживання води рослинами різний за різних значень вологості ґрунту. Аналіз режиму валових витрат води рослинами по фазах розвитку показав, що впродовж вегетаційного періоду рослин є періоди, коли витрати води рослинами вищі, ніж випаровуваність.

Це вказує на біологічну особливість споживання води і пояснюється біологічними кривими споживання води.

Біологічні криві споживання води уявляють собою ряд коефіцієнтів K , що змінюються в онтогенезі від декади до декади і розраховуються шляхом поділу валових витрат води (q) за декаду або міжфазний період на суму дефіцитів насичення повітря ($\sum d$)

$$K = q / \sum d. \quad (4.37)$$

Середні значення біологічних коефіцієнтів для різних культур, отриманих різними авторами приведені в табл.4.20.

Таблиця 4.20 – Середні коефіцієнти біологічних кривих споживання води

Культура	Декада вегетації								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ячмінь	0,4- 0,6	0,54	0,60	0,66	0,71	0,77	0,73	0,66	0,64
Картопля	0,3	0,4- 0,6	0,56	0,64	0,70	0,76	0,73	0,65	0,54
Цукрові буряки	0,22	0,26	0,31	0,39	0,49	0,65	0,72	0,80	0,78
Овочеві (томат, перець, баклажан)	0,41	0,47	0,60	0,73	0,81	0,82	0,79	0,65	0,56

Для розрахунків витрат води на випаровування за достатньої вологозабезпеченості та достатньої біологічної продуктивності фітоценозів суму середніх добових значень дефіцитів насичення повітря за декаду (в

мм) необхідно перемножити на коефіцієнт біологічної кривої випаровування, який відповідає тій же декаді

Рослини впродовж вегетаційного періоду пред'являють неоднакові вимоги до забезпечення вологою. В деякі періоди розвитку недостатня забезпеченість вологою призводить до різкого зменшення врожаю. Ці періоди П.І. Броунов назвав *критичними*. У різних рослин критичними бувають різні періоди розвитку (табл. 4.21).

Ф.Д. Сказкін встановив, що у одних і тих сортів однієї і тієї ж рослини критичними можуть бути різні періоди, але нестача вологи в ґрунті найбільш несприятлива в період формування репродуктивних органів, тобто «Виявляється в період, коли в квітках, які утворюються, формується пилок, тобто в період від самого початку закладки тетрад до запліднення включно».

Таблиця 4.21 – Критичні періоди розвитку рослин по відношенню до вологи (за Ф.Д. Сказкіним)

Культура	Критичний період
Озиме жито, озима пшениця, яра пшениця, овес, ярий ячмінь	Вихід у трубку – колосіння
Кукурудза	Викидання волоті – молочна стиглість
Просо, сорго	Викидання волоті – молочна стиглість
Зернобобові, гречка	Цвітіння
Соняшник	Утворення кошика – цвітіння
Картопля	Цвітіння і формування бульби
Томати	Цвітіння і утворення зав'язі
Перець, баклажани	Утворення пуп'янків – 20 днів після цвітіння

Ефективність використання води рослинами залежить від процесів газо- та вологообміну на різних рівнях організації рослини, фізичних і хімічних властивостей ґрунтів, ступеня розповсюдження коріння в ґрунті, наявності легко доступної води в шарах ґрунту, обміну H_2O між атмосферою і ґрунтом, мікробіологічної активності і динаміки мінералізації, кількості, якості та термінів внесення мінеральних добрив та ін.

Ефективність використання води рослинами можна підвищити шляхом введення інтенсивної технології вирощування сільськогосподарських культур в засушливих зонах та підвищенням густоти рослин в зонах помірного клімату.

Продуктивність сільськогосподарських культур залежить від вологозабезпеченості посівів. Як відомо, для життя рослин та формування

їх урожаїв необхідні чотири головні фактори: світло, тепло, волога та питомі речовини. Найбільш мінливими як у часі, так і по території є тепло і волога. Їх нестачею або надмірною кількістю пояснюються значні коливання урожаїв.

В посушливих районах та районах нестійкого зволоження ґрунту фактором, що визначає умови зростання та формування врожаїв сільськогосподарських культур, є забезпеченість посівів вологою, так як тепла у цих районах достатньо (рис.4.10).

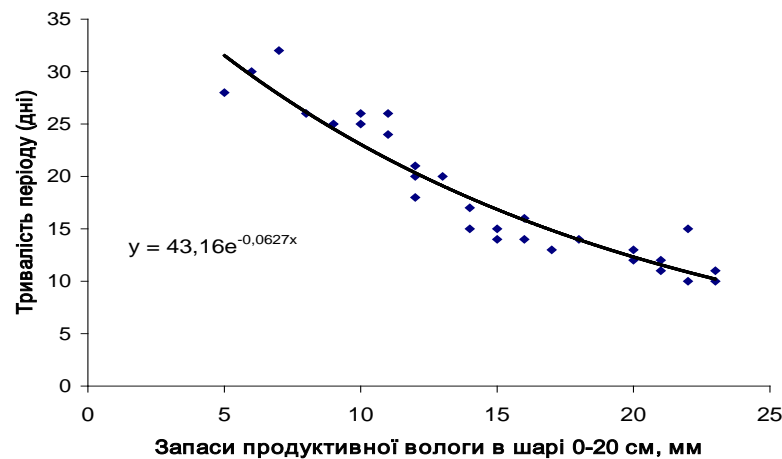


Рис. 4.11– Залежність тривалості періоду сходи – вихід у трубку озимої пшениці від запасів продуктивної вологи в шарі 0-20 см

Л.О. Разумовою та Н.Б. Мещаніною [79] встановлено, що в посушливих умовах степу існує чітка залежність між величиною урожаю та кількістю спожитої рослинами води за вегетаційний період (рис.4.12).

Оцінкою вологозабезпеченості посівів займались багато дослідників: О.В. Процеров, О.С. Конторщиков, О.М. Конторщикова [14,74,79] та ін. Це дозволило розробити цілу низку методів, що дозволяють виконувати оцінку вологозабезпеченості сільськогосподарських культур в районах недостатнього та нестійкого зволоження.

Вологозабезпеченість посівів – це міра забезпечення потреб рослин у воді в природних умовах. Вона може бути виражена через запаси продуктивної вологи у відсотках від найменшої вологомісткості, у відсотках від середніх багаторічних запасів продуктивної вологи, через суму опадів у відсотках від середньої багаторічної, у відносних одиницях через відношення випаровування до випаровуваності, а також у відсотках через ті ж величини [30,33, 34,80].

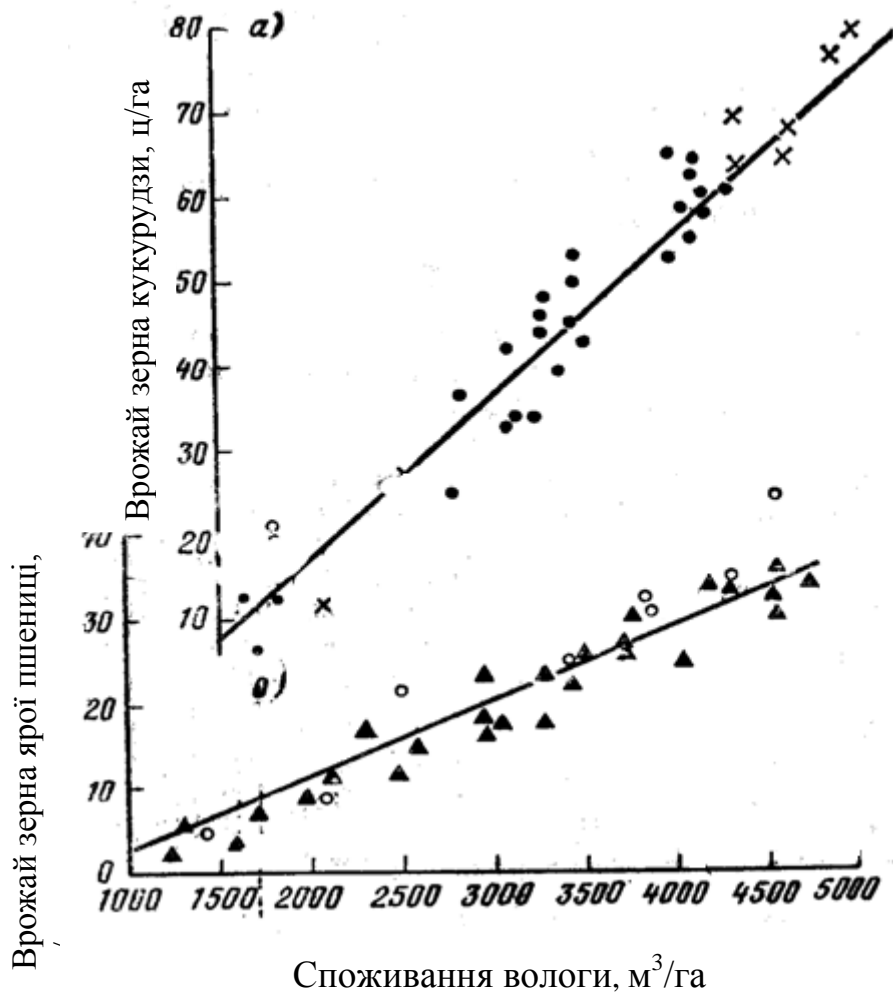


Рис.4.12 – Залежність врожаю ярої пшениці (а) і кукурудзи (б) від споживання води за вегетаційний період (за Л.О. Разумовою та Н.Б. Мещаніною).

Розрахунок вологозабезпеченості (V) за сумарним випаровуванням та дефіцитом насичення повітря виконується практично для всіх сільськогосподарських культур як відношення фактичного сумарного випаровування (E_{ϕ}) з поля, зайнятого культурою, до сумарного випаровування при оптимальних умовах зволоження (E_o):

$$V = \frac{E_{\phi}}{E_o} \cdot 100 . \quad (4.38)$$

За сумарне випаровування при оптимальних умовах зволоження (потреба рослин у воді) приймається випаровуваність, розрахована будь-яким методом.

При виконанні розрахунків фактичне сумарне випаровування (E_{ϕ}) визначається за спрощеною формулою водного балансу:

$$E_{\phi} = (W_1 + x) - W_2 \quad , \quad (4.39)$$

де W_1 та W_2 – запаси продуктивної вологи відповідно на кінець попередньої та початок поточної декади;

x – сума опадів за декаду.

Випаровування в оптимальних умовах зволоження (випаровуваність) можна розраховувати за будь-яким методом. В агрометеорології найчастіше використовується метод А.М. Алпатьєва [1]. Він запропонував випаровуваність (E_o) розраховувати через сумарний дефіцит насичення повітря (d) з врахуванням коефіцієнтів біологічної кривої водоспоживання (K) (формула 4.32).

О.В. Процеров встановив, що в період від сходів до колосіння для зернових культур значення коефіцієнту біологічної кривої становить, 0,6 після колосіння до воскової стиглості – 0,4.

Таким чином, потреба зернових культур у волозі в будь яку декаду вегетації буде дорівнювати сумі дефіцитів насичення повітря помноженій на 0,6, якщо значення дефіциту насичення виражено у мм, та 0,45, якщо – у мілібарах, тобто, у період від колосіння до воскової стиглості $E_o = 0,4 \cdot \Sigma d \text{ мм}$, або $E_o = 0,6 \cdot \Sigma d \text{ мм}$.

Запаси продуктивної вологи під сільськогосподарськими культурами вимірюються інструментально безпосередньо на полях із сільськогосподарськими культурами. Але О.П. Веріго розробила статистичні залежності значень запасів продуктивної вологи на кінець будь - якого розрахункового періоду від початкових запасів продуктивної вологи будь-якого шару ґрунту, суми опадів за розрахунковий період та середньої температури повітря за цей же період та фази розвитку культури.

Контрольні питання

1. Яка волога називається продуктивною?
2. Як формуються запаси продуктивної вологи в ґрунті в різні пори року?
3. Від яких факторів залежить вміст води у ґрунті?
4. На які групи поділяються рослини за потребою у воді?
5. Що називається потребою рослин у воді?
6. Від яких факторів залежить потреба рослин у воді?
7. Що називається транспіраційним коефіцієнтом?
8. Як визначається верхня межа оптимальної вологості ґрунту?
9. Що характеризують біологічні криві споживання води?
10. В які періоди розвитку рослин споживається найбільше вологи?
11. Як впливає кількість спожитої води на величину урожаю?
12. Як визначається потреба рослин у воді?
13. Що називається вологозабезпеченістю рослин?

4.5 Мінеральне живлення як фактор існування рослин

4.5.1 Агрометеорологічні аспекти ефективності мінеральних добрив

Агротехніка – це технологія землеробства, система засобів обробітку сільськогосподарських культур. Вона включає в себе такі головні заходи: обробіток ґрунту, внесення добрив, підготовку насіння до сівби, визначення оптимальних норм сівби, сівбу та посадку, догляд за посівами, збирання врожаю. До агротехніки відносять також снігозатримання, боротьбу з бур'янами, хворобами і шкідниками сільськогосподарських рослин та інші роботи. Однією з умов досягнення високої інтенсивності сільсько-господарського виробництва є забезпечення ґрунту необхідною кількістю поживних речовин. Ґрунт є активним середовищем живлення рослин і складається з органічних, мінеральних і органомінеральних компонентів, з яких під дією абіотичних і біологічних процесів продукуються доступні для рослин поживні речовини. Останні – основна складова частина, яка характеризує родючість ґрунту. Вона зумовлюється здатністю ґрунту забезпечувати рослини водою, повітрям (киснем), теплом (для коренів) та сприятливими фізичними і фізико-механічними умовами для росту та розвитку рослин. Родючість ґрунту – основна якісна ознака його, яка відрізняє ґрунт від гірської породи та пасивного субстрату [38].

При кореневому живленні рослини в основному поглинають з ґрунту хімічні елементи (макро-, мікро- та ультрамікроелементи), запас яких залежить від ємності вбирного комплексу твердої фази ґрунту та концентрації ґрунтового розчину. Продукування елементів мінерального живлення рослин у ґрунті в основному відбувається за рахунок мінералізації органічних компонентів та рослинних решток (амоніфікація, нітрифікація), азотфіксація та розкладання мінеральних речовин мікроорганізмами. Запаси елементів мінерального живлення рослин у ґрунті поповнюються також за рахунок атмосферних опадів, поверхневих та ґрунтових вод та за рахунок господарської діяльності людини (внесення мінеральних добрив). Внесені органічні добрива теж мінералізуються з утворенням солей [87, 101 - 103].

Великий вплив (позитивний і негативний) на запас речовин кореневого живлення має кругообіг речовин в природі – біологічний (асиміляція поглинутих іонів рослиною і повернення в ґрунт з біомасою) та геологічний. Останній зумовлюється виносом розчинних речовин поверхневою та низхідною течією води. Втратам ґрунтом речовин мінерального живлення рослин сприяють процеси переходу їх в газоподібну форму (денітрифікація) і виділення в атмосферу – водна та

вітрова ерозії. Значна частина поживних речовин, яка відходить з урожаєм, випадає з малого біологічного кругообігу [100]. Так, винесення поживних елементів із ґрунту польовими культурами на 1 т продукції (кг з 1 га) складає досить значні величини (табл. 4.22).

Таблиця 4.22 – Винесення поживних елементів із ґрунту з урожаєм

Культура		N	H ₂ O ₅	P ₂ O ₅
Озима пшениця	Зерно	35	12	25
Озиме жито	Зерно	26	12	26
Яра пшениця	Зерно	29	12	22
Горох	Зерно	–	13,5	25
Льон	Солома	14	7	12
Картопля	Бульби	5	1,8	8
Цукровий буряк	Коренеплоди	4,5	1,5	7,5
Кукурудза	Зелена маса	2,5	1	4
Конюшина	Зелена маса	–	1,2	5

У зв'язку з цим, забезпечення бездефіцитного балансу поживних речовин у ґрунті – важливе завдання регулювання поживного режиму.

Макро- і мікроелементи в житті рослинного організму. Для повноцінного живлення рослини використовують більшість із відомих хімічних елементів. Найважливіші із них 20—25 елементів, такі як азот, фосфор, калій, магній, цинк та ін. *Азот*, як основа життя, є складовою багатьох органічних сполук: амінокислот, амідів, білків, нуклеїнових кислот та їхніх похідних, алкалоїдів, хлорофілу, регуляторів росту, ферментів тощо. У складі сухої речовини рослин його міститься від 1,5 до 5%. Як нестача, так і надлишок азоту в ґрунті призводять до зниження продуктивності культури та погіршення якості врожаю. Він може реутилізуватися, відтікати із раніше утворених частин рослини у молоді, активніші органи. Тому нестача його насамперед проявляється на стані листків, які закінчили ріст. При цьому сповільнюється ріст стебла, листків і коренів. Пожовтіння листків (особливо нижніх) через розклад хлорофілу переходить у побуріння тканин та їх засихання, а ознаки передаються на подальший ярус. У злаків укорочується суцвіття (колос зверху, волоть знизу) і зменшується малоозерненість колосу. Формується щупле, неповне зерно. Характерне пожовтіння нижніх листків кукурудзи починається з верхнього кінчика листка, продовжується вздовж центральної жилки, причому краї листка деякий час залишаються зеленими. Оптимальне азотне живлення культури дає можливість максимально реалізувати потенціал сорту й одержати високоякісну продукцію [47].

Фосфор входить до складу нуклеїнових кислот, нуклеопротейдів, фосфатидів, сахарофосфатів, фітину та лецитину, тобто сполук, що відповідають за спадковість та переносення генетичної інформації, беруть участь у процесах дихання, біосинтезі складних вуглеводів і перебігу фотосинтезу. Цей елемент — складова багатьох макроергічних сполук, таких як АТФ, АДФ та аденозинмонофосфат-АМФ, що є джерелами енергії в рослинному організмі.

У молодих рослинах фосфор легко переміщується із старих тканин у молодші, а при дозріванні більша частина засвоєного фосфору нагромаджується в насінні та плодах. Свідченням цього може бути наявність фосфору в складі золи насіння зернових і зернобобових культур у межах 40—45 %, соломи — в 3—5 разів менше. Кількість органічних сполук у рослинах різко переважає над мінеральними (в середньому 89% від загального фосфору). Цей елемент мало впливає на нагромадження білка у рослинах. У той же час достатнє фосфорне живлення збільшує частку генеративних органів у загальній біомасі врожаю, підвищує вміст крохмалю у продукції та цукру в коренеплодах, фруктах і овочах. Поліпшується також якість волокна у луб'яних культур. Дефіцит фосфору починає проявлятися з нижніх листків. Вони мають зелений колір із блакитним відтінком (за достатньої кількості азоту), але між жилками появляються бурі плями, які зливаються і листок повністю засихає. Часто на стеблі та листі утворюється фіолетово-червоний відтінок, а краї листових пластинок загинаються догори. В цілому рослини відстають у рості та сповільнюється онтогенез [47].

Калій не входить до складу органічних сполук рослин. Він знаходиться в іонній формі. Цей елемент концентрується у цитоплазмі та вакуолях і відсутній в ядрі. До 20% калію утримується у клітинах в обмінно-поглинутому стані колоїдами цитоплазми, до 1% необмінно поглинають мітохондрії, а основна частина (до 80%) знаходиться в клітинному соку і легко вимивається водою. В золі насіння зернових і зернобобових культур його міститься 30—40%, бульб картоплі та коренеплодів буряків до 40—60 %, а у листках більшості культур — 30—50 %. Слід зазначити, що в молодих частинах калію значно більше, ніж у старих. Він впливає на гідратацію колоїдів цитоплазми, що допомагає краще утримувати воду і переносити посуху, підвищує зимо- та морозостійкість рослин і стійкість проти грибних та вірусних захворювань.

Калій посилює синтез високомолекулярних вуглеводів (целюлоза, геміцелюлоза, пектинові речовини, ксилани), що зумовлює потовщення клітинних стінок соломини злаків і підвищення стійкості до вилягання, а в коноплі та льону поліпшується якість волокна. Під впливом калію посилюється нагромадження крохмалю у бульбах картоплі, сахарози в коренеплодах буряків і цукрів у плодах та овочах. Дефіцит калію порушує метаболізм у рослинах: ослаблюється діяльність деяких ферментів,

погіршується вуглеводнево-білковий обмін, збільшуються втрати цукрів на дихання, що призводить до утворення щуплого зерна, зниження схожості та життєздатності насіння. Недостатнє калійне живлення призводить до збільшення грибкових захворювань і погіршення лежкості, а також може з'являтися “крайовий опік” нижніх листків. При хронічному калійному голодуванні призупиняється ріст стебел та міжвузль, затримується дозрівання зерна і плодів [47].

Бор посилює ріст пилкових трубочок та проростання пилку, збільшуючи кількість квіток і плодів, поліпшує вуглеводний обмін та бере участь у білковому і нуклеїновому синтезі. Вважається, що основна фізіологічна роль цього елемента — регулювання кількості ауксинів та фенольних сполук. При його дефіциті порушується весь цикл обміну вуглеводів, формування репродуктивних органів, запилення та плодоношення. Особливо чутливі до бору дводольні. У них при його дефіциті нагромаджуються феноли, ауксини й порушуються нуклеїновий обмін і синтез білка.

Середній вміст бору в рослинах досягає 0,0001%. Як надлишок, так і дефіцит його у ґрунті призводить до значних втрат врожаю, погіршення його якості та лежкості продукції, можуть викликати захворювання тварин і людей. За нестачі бору в рослин пшениці формується дрібний колос із сухим “прапорцевим” листком; кукурудза набуває зовнішніх ознак, подібних до тих що проявляються при калійному голодуванні; в овочевих культур на нижніх листках з'являється "крайовий опік", потім листки деформуються і висихають. Дефіцит цього елемента проявляється на підзолистих ґрунтах та тих, на яких проведено вапнування повними нормами. Основними негативними наслідками борного голодування є відмирання точок росту, зниження крохмалистості бульб картоплі та цукристості коренеплодів цукрових буряків, погіршення якості волокна луб'яних культур. Нестача бору стимулює інтенсивний розвиток хвороб: парші картоплі, гнилі сердечка і сухої гнилі у коренеплодів, кореневої гнилі капусти, засихання верхівок тютюну, дуплистості турнепсу, відмирання точки росту соняшника.

Фізіологічна роль *міді* значною мірою визначається її кількістю в складу білків та ферментів (до 50% загального вмісту міді у листках знаходиться в складі білка пластоціаніну). Вона посилює зв'язування молекулярного азоту з атмосфери, засвоєння азоту із ґрунту та добрив, нагромадження білків, знижує інтенсивність розпаду хлорофілу, дію на ріст високих доз рiстактивуючих речовин; підвищує здатність рослин протистояти виляганню, їхню посухо- морозо- та жаростійкість. Наявність міді може погіршувати товарний вигляд картоплі та овочів внаслідок окислення мідьвмісного ферменту тирозінази. Дефіцит міді затримує ріст і цвітіння рослин, викликає хлороз, втрату тургору. У злаків при гострій її нестачі біліють кінчики листків і не розвивається колос (хвороба “біла

чума”)), а в плодovих проявляється суxовершинність. Використання мідьвмісних добрив ефективніше на осушених торф'яниках, дерново-глейових, заболочених та легких ґрунтах. Найчутливіші до внесення міді злакові культури, трави, льон, коноплі, коренеплоди, соняшник і буряки. Потреба в міді зростає при застосуванні високих доз азотних добрив.

Марганець як високоактивний метал бере участь у реакціях біологічного окислення, фотосинтезі, відновленні гідроксиламіну до аміаку, перетворенні ди- і трикарбонoвих кислот при диханні, синтезі вітаміну С, поглинанні іонів із навколишнього середовища. Тому марганець відповідає за нагромадження та відтік цукрів у рослинному організмі, підвищуючи цукристість плодів і овочів, сприяє синтезу глютаміну, прискорює розвиток рослин та їхнє плодоношення. При дефіциті марганцю спостерігаються хлорози і плямистість листків, а при гострій його нестачі — повна відсутність плодоношення у редису, капусти, помідорів, гороху. насамперед марганець слід вносити на сірих опідзолених ґрунтах, слабовилугуваних чорноземах, солонцюватих і каштанових ґрунтах. Особливо чутливі до його нестачі злаки, коренеплоди, картопля, трави. Так, приріст урожаю цукрових буряків при застосуванні марганцевих добрив у середньому становить 100—150 ц/га, а цукристість підвищується на 0,2—0,6%.

Цинк бере участь у фізіологічних процесах. За рахунок стабілізації дихання при зміні температурних умов підвищує жаро- та морозостійкість рослин, впливає на утилізацію фосфору в тканинах, активізує реакції утворення попередників хлорофілу. За його нестачі у рослині знижується вміст ауксинів, сахарози та крохмалю, підвищується ? органічних кислот, порушується синтез білків – у тканинах нагромаджується небілкові розчинні сполуки азоту (аміди та амінокислоти), які можуть порушувати технологічні процеси при переробці сировини ("шкідливий" азот в цукроварінні). Дуже чутливі до нестачі цинку плодови, особливо цитрусові, гречка, буряки, картопля, хміль, конюшина. Для них характерне гальмування росту. Нестача цинку може проявлятися як на кислих дуже опідзолених легких ґрунтах, так і на карбонатних чорноземах, бурих і сіроземах. Ці процеси посилює застосування високих доз фосфорних добрив [47].

Молібдену рослинам потрібно менше, ніж бору, марганцю, цинку та міді. В основному він локалізується у молодих частинах рослин. Цей елемент входить до складу нітратредуктази і бере участь у відновленні нітратів до нітритів та нітрогенази — ферменту, що відповідає за зв'язування азоту атмосфери при біологічній фіксації. Крім того, цей елемент задіяний у фотосинтезі, процесах дихання, біосинтезі нуклеїнових кислот, вітамінів і пігментів. Тому поряд із підвищенням урожайності він сприяє зростанню вмісту білка в продукції. Зовнішні прояви нестачі молібдену подібні до азотного голодування. Вона найчастіше проявляється

на дерново-підзолистих, сірих опідзолених, чорноземних та осушених кислих торф'яниках. Ефективне застосування цього елемента під усі бобові культури, особливо на кислих ґрунтах.

Ефективність добрив визначається складним комплексом умов: родючістю ґрунту, біологічними особливостями сільськогосподарських культур, їх сортів і гібридів, агротехнікою, засобами, термінами, кількістю та якістю внесених добрив, кліматичними та погодними умовами.

З агрометеорологічного боку умови погоди впливають як на кількість доступних речовин у ґрунті, так і на дію добрив на рослини. До агрометеорологічних факторів, які визначають ефективність добрив, відносять рівень світлового живлення рослин, температуру та вологість повітря і ґрунту.

Згідно з Ф.М. Куперман продуктивність рослин є функцією відповідності рівнів світлового та мінерального живлення [48]. Чим більше рівень світлового живлення, тим більше при нормальному забезпеченні вологою синтезується вуглеводів у рослинах та тим більше азоту вони спроможні вживати. Світло впливає на азотне живлення не тільки через фотосинтетичні процеси, але й через транспірацію. В свою чергу транспірація, яка істотно впливає на транспортування рухомих мінеральних речовин, крім сонячної радіації, визначається вологістю та температурою повітря. При підвищенні вологості повітря рослини менш чутливі до зростання концентрації поживного розчину.

Температурний режим визначає накопичення рухомих речовин у ґрунті. Температура впливає на швидкість руху води та сольових розчинів, тобто на темпи надходження поживних речовин в рослини з ґрунту. За невисоких температур (8-10⁰С) зменшується надходження азоту в коріння та пересування його в надземні органи, послаблюється редукція поглинених нітратів та використання азоту на утворення органічних сполучень. За більш низьких температур (5-6⁰С та нижче) поглинення корінням азоту та фосфору різко знижується [56]. Оптимальна температура для надходження азоту та фосфору в рослини знаходиться в межах 23-25⁰С.

Зростання дефіциту насичення повітря на 1 мбар у травні викликає зниження ефективності добрив у середньому на 0,4 ц/га.

Рівень забезпечення вологою ґрунту впливає на доступ поживних речовин у ґрунті, на використання їх рослинами. За значного дефіциту води у ґрунті добрива не дають позитивного ефекту і можуть негативно впливати на формування врожаю.

В кліматичному аспекті зменшення кількості опадів за рік від північних районів Європейської території СНД до південних на 100 мм викликає зменшення ефективності помірних доз добрив в середньому на 1,1 ц/га зерна, а для озимих культур в цілому на 1,0 ц/га. Зниження запасів продуктивної ґрунтової вологи за період вегетації зернових культур на

10 мм впливає на зменшення ефективності добрив в середньому на 0,1 - 0,3 ц/га [86, 100].

Принципова схема зв'язку ефективності добрив з вологістю ґрунту та його середньою об'ємною вагою представлена на рис.4.13.

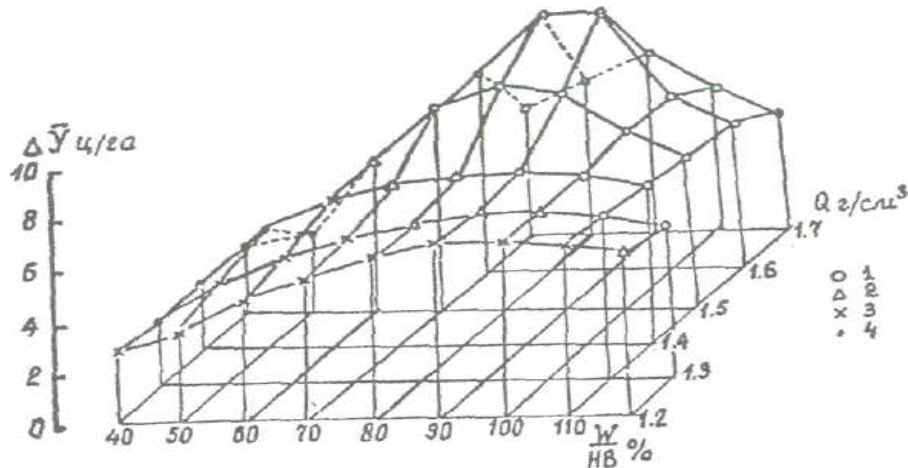


Рис. 4.13 Схематична модель зв'язку ефективності добрив ($NPK= 120 - 180$ кг/га) з волого запасами ґрунту в період вегетації зернових культур (y % НВ) та середньою вологою шару 0-100 см.

Надмірне зволоження порушує волого-повітряний режим ґрунту й тому знижує процес нітрифікації, зменшує надходження в рослини азоту та внесених добрив, сприяє накопиченню токсичних речовин.

Параметри структури та щільності ґрунту досить добре відображають умови життя рослин: комплекс фізико-хімічних властивостей ґрунту, доступність вологи, газообмін та біологічні процеси. Ефективність добрив відчутно збільшується із зростанням вологості до 90 % найменшої вологоємності (НВ) в ґрунті менш щільного складу ($Q = 1,2 - 1,3$ г/см³) й до 80% найменшої вологоємності на більш щільному ґрунті. Подальше зростання вологості ґрунту до 100-130% НВ приводить до незначного зниження ефективності у нещільному мінеральному ґрунті та різке – у підзолистому ґрунті.

Зв'язок ефективності добрив для зернових культур з вологозапасами має параболічний характер (рис.4.14.).

Найбільша ефективність добрив відзначається при вологозапасах ґрунту в середньому 80-90% НВ. Нижчий чи вищий рівень зволоження зменшує ефективність добрив.

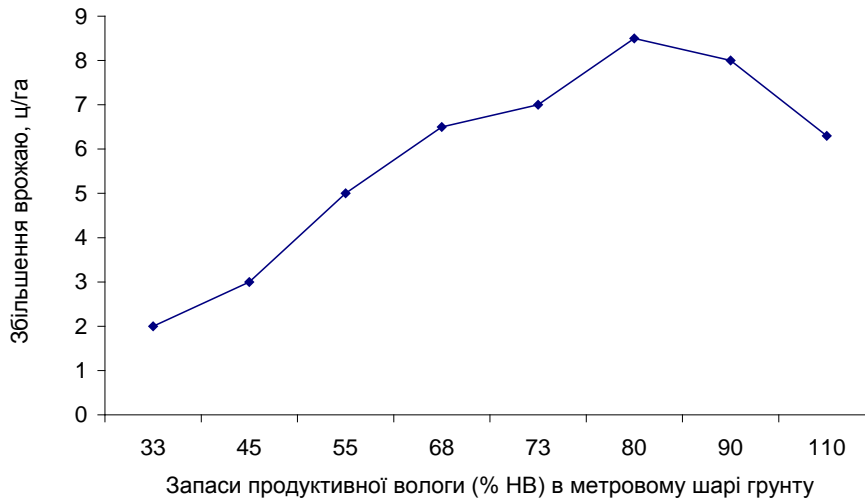


Рис. 4.14 Залежність ефективності *NPK* (ΔU ц/га) від запасів метрового шару ґрунту (y % НВ) за період вегетації зернових культур.

Внесення різних доз азотних добрив впливає не тільки на збільшення абсолютної маси, але й на вміст білка у зерні. Вплив азотних добрив на врожай та білковість пшениці у різні за вологістю роки наводиться на рис.4.15. Вміст білка в зерні із зростанням дози азотних добрив зростає в усі роки. Найбільший вміст білка зерні спостерігається в сухі роки.

Добрива підвищують стійкість озимих культур до несприятливих умов зимівлі. Рослини розвивають більш міцну кореневу систему, більше накопичують сухих речовин, цукру та інших органічних сполучень, які ослабляють дію несприятливих метеорологічних умов зимового періоду.

У табл.4.22 наводиться ефективність добрив у зв'язку з умовами зволоження травня-липня [34].

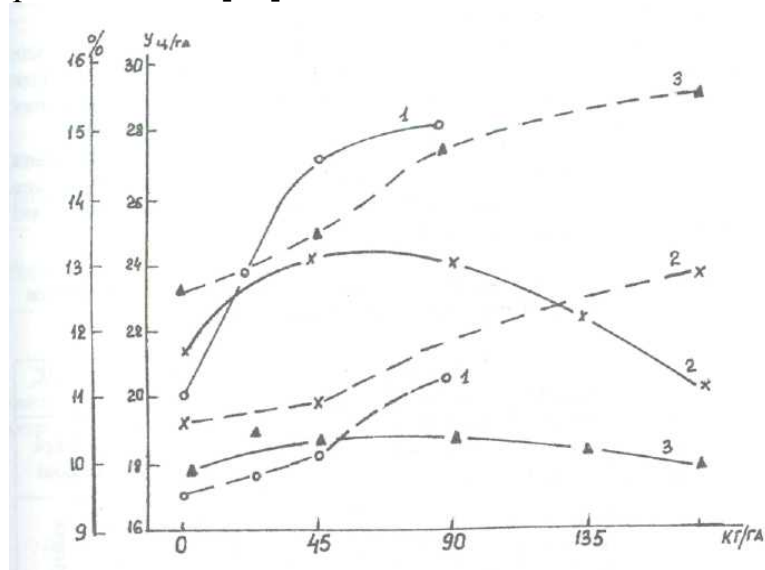


Рис. 4.15 Вплив азотних добрив на врожай озимої пшениці (а) та вміст білка (б) у вологий (1) та посушливий рік (2)

Правильне застосування добрив послаблює вплив несприятливих погодних умов на врожай. Застосування добрив зменшує також негативний вплив на врожай низьких температур, заморозків та інших несприятливих метеорологічних явищ.

В цілому зв'язок ефективності добрив з метеорологічними факторами характеризується різними коефіцієнтами кореляції (табл.4.23).

Таблиця 4.22 – Середня ефективність *NPK* для нечорноземної зони у зв'язку з умовами травня – липня

Зволоження	Середня кількість опадів, мм		Середній дефіцит насичення повітря, мб		Середній приріст врожаю від <i>NPK</i> , ц/га					
	за найбільш				озима Пшениця		озиме жито		ранні ярі колосові	
	вологий місяць	сухий місяць	вологий місяць	сухий місяць	суглинк и	супіски	суглинк и	супіски	суглинк и	супіски
нормальне	80	40	5,6	6,8	8,7	8,1	7,9	7,6	8,3	7,2
недостатнє	75	20	6,2	8,7	4,4	-	4,1	5,0	4,1	4,1
надмірне	125	50	5,2	6,2	5,2	9,7	5,2	5,9	6,0	7,0

Таблиця 4.23 – Коефіцієнти кореляції ефективності середніх норм мінеральних добрив та метеорологічних факторів

З о н а	Метеорологічні фактори				
	опадів, мм	вологість ґрунту, мм	температура повітря, °С	дефіцит насичення повітря, мм	комплекс погодно-кліматичних умов
Нечорноземна	0,20-0,50	0,30-0,53	0,20-0,25	0,40-0,46	0,50-0,81
Чорноземна	0,30-0,78	0,60-0,70	0,30-0,40	0,30-0,50	0,60-0,86

За дослідями О.І.Коровіна [38] оцінка ефективності добрив як функції метеорологічних факторів та окремих агрохімічних властивостей ґрунту може бути виконана на базі таких рівнянь регресії:

1) середня ефективність помірних доз добрив для озимих зернових культур

$$\Delta y = 0,0142P + 1,835Q - 0,46d - 1,407; R = 0,83; S_y = \pm 1,13 \text{ ц/га} \quad (4.40)$$

2) середня ефективність помірних доз добрив для ярих зернових культур

$$\Delta y = 0,0047P + 0,0065Q + 1,0W/НВ - 0,24t - 0,00083\Sigma t + 7,71, \quad (4.41)$$

де Δy – середня багаторічна ефективність добрив, ц/га;

P – кількість опадів, мм;

W – середні за вегетаційний період запаси вологи у ґрунті, мм;

d – середній дефіцит насичення повітря за вегетаційний період, мб;

t – середня температура повітря, °С;

Σt – сума негативних температур повітря за зиму, °С;

Q – об'ємна вага метрового шару ґрунту, г/см³.

4.5.2 Ефективність добрив та континентальність клімату

Було встановлено, що при просуванні на південний схід та схід в межах Європейської частини СНД у зв'язку з посиленням континентальності клімату ефективність добрив зменшується. На азійській території СНД зниження дії добрив спостерігається із сходу на захід [25].

В кліматології континентальність клімату розглядається як сукупність характерних особливостей клімату, які формуються під впливом материка. До цих особливостей відносяться: зростання у порівнянні з океанічними районами річних та добових амплітуд температур і відносної вологості повітря, зменшення опадів при збільшенні їх нерівномірності, зменшення відносної вологості повітря та хмарності влітку та вдень, зменшення швидкості вітру та ін.

Кількісно континентальність клімату характеризується величинами річної амплітуди температури повітря, повторністю вторгнення континентальних і морських повітряних мас та іншими показниками.

Найчастіше для розрахунку показника континентальності клімату використовується вираз:

$$\kappa = \frac{A_q - 5,4 \sin \varphi}{A_q} \quad (\text{за С.П.Хромовим}) \quad (4.42)$$

або

$$\kappa = \frac{A_q + A_q + 0,25d_o}{0,36\varphi + 14}, (\text{за М.Івановим}), \quad (4.43)$$

де A_q – річна амплітуда температури, $^{\circ}\text{C}$;

A_q – добова амплітуда температури, $^{\circ}\text{C}$;

d_o – нестача насичення вологості повітря у найсухіший місяць, мб;

φ – широта місцевості.

Зв'язок ефективності добрив з континентальністю клімату для Європейської частини СНД має вигляд:

$$\begin{aligned} \Delta y &= 0,0036 P_{\text{IV-X}} + 0,02 P_{\text{XI-III}} + 0,055(W/\text{HB}) + 6,29 e_{\text{V-VII}} + \\ &+ 0,217 e_{\text{V-VII}}^2 + 46,48 KL + 0,099 V - 0,059 S - 0,061 P_o N + 76,04; \quad (4.44) \\ R &= 0,87; S_y = \pm 1,24 \text{ ц/га}, \end{aligned}$$

де Δy – середня багаторічна ефективність добрив під зерновими культурами, ц/га;

P – кількість опадів у різні періоди року, мм;

W/HB – відношення середніх за вегетаційний період запасів продуктивної вологи до найменшої вологоємності ґрунту, %;

e – абсолютна вологість повітря, мб;

V – міра насиченості ґрунту основами, %;

S – сума поглинених основ, (мг на 100 г);

KL – вміст калію в ґрунті, (мг на 100 г);

$P_o N$ – вміст рухомого фосфору в ґрунті (мг на 100 г).

Для Нечорноземної зони коефіцієнт континентальності клімату становить 0,800 - 0,830, для чорноземної зони – 0,840 - 0,880.

Приклад розрахунку:

Розрахувати середню ефективність добрив для озимої пшениці на ст.Одеса:

а) *Озима пшениця* : сівба - 14.IX; сходи - 28.IX; 3-й лист - 8.X; кушніня - 17.X; припинення вегетації - 20.XI; відновлення вегетації - 26.III; вихід в трубку - 23.IV; колосіння - 25.V; цвітіння - 1.IV; молочна стиглість - 16.VI; воскова стиглість - 28.VI; повна - 2.VII.

Сума опадів за рік ($P_{\text{рік}}$) становить 350мм. Сума опадів за вегетаційний період ($P_{\text{IV-X}}$) – 267мм; $P_{\text{XI-III}}$ – 150мм. Об'ємна вага метрового шару ґрунту (Q) – 15,1 г/см³. Найменша вологоємність (HB) – 160,3 мм.

Середня багаторічна дата сівби озимої пшениці припадає на 14 вересня; дата повної стиглості – на 2 липня. Дати припинення вегетації – 29 листопада, відновлення вегетації – 26 березня.

Середній дефіцит насичення повітря за вегетаційний період (d) складає 6,9мб. Запаси продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту (W_{0-100}) становлять за вегетаційний період 93,3 мм.

Середня температура повітря з травня до липня (t) складає 18,7⁰С, сума негативних температур за зиму ($\sum t$) – 197,3⁰С.

Таким чином, ефективність добрив за рівнянням (4.38) О.І. Коровіна [25] для озимої пшениці становить:

$$\Delta y = (0,0142 \cdot 350) + (1,835 \cdot 15,1) - (0,46 \cdot 6,9) - 1,407 = 28,09;$$

$$\Delta y = 28,09 \text{ ц/га}$$

б) *Ячмінь* : сівба - 28.III; сходи - 15.IV; 3-й лист – 24.IV; кущіння - 1.V; вихід в трубку - 15.V; колосіння - 5.VI; цвітіння - 12.VI; молочна стиглість - 22.VI; воскова стиглість - 2.VII.

$$S = 2150; P_o N = 194; KL = 0,279; V = 2,23.$$

Розрахунки виконуються за формулою (2.35).

$$\Delta y = (0,0036 \cdot 267) + (0,02 \cdot 150) + (0,055 \cdot (93,3/160,3)) + (6,29 \cdot 6,9) + (0,217 \cdot 6,9^2) + (46,48 \cdot 0,279) + (0,099 \cdot 2,23) - (0,058 \cdot 2150) - (0,061 \cdot 194) + 76,4 = 9,06;$$

$$\Delta y = 9,06 \text{ ц/га}$$

4.5.3 Агрометеорологічні умови та оптимізація строків і доз живлення

Фосфорно-калійні добрива завжди вносять під озимі зернові восени перед оранкою. Азотні добрива восени вносять тільки у районах з сухим осінньо-зимовим періодом. У районах з великою кількістю опадів внесення азотних добрив переноситься на весну. Ефективність весняних підживлень азотними добривами залежить від типу погоди. Помірна та надмірна дощова погода обумовлює більшу ефективність підживлення навесні та влітку, а ніж суха погода.

Схема визначення ефективності азотних добрив та збільшення врожаю при їх внесенні розроблена О.П. Федосєєвим (табл. 4.24) [102].

На ефективність підживлень азотом значною мірою впливають умови перезимівлі рослин. За сприятливих умов перезимівлі ефективність підживлень у 2-3 рази вище ніж після холодних (вимерзання) або теплих (випрівання) зим (табл. 4.25).

Зовнішнє підживлення озимих культур азотом завжди виконується в ранні строки, одразу ж після сходу снігу на початку вегетації культур.

Дуже раннє підживлення призводить до великих втрат азоту через вимивання з кореневого шару внутрішнім ґрунтовим стоком, а також до газообмінних витрат. Найбільш значне підвищення врожаїв озимої

пшениці спостерігається, якщо азотне підживлення проводиться у період відновлення вегетації. Розрахована ймовірність відновлення вегетації в Нечорноземній зоні (табл.4.26).

Таблиця 4.24 – Середнє збільшення врожаю (Δy) озимої пшениці та ймовірність успішності внесення азотних добрив (30-80 кг/га діючої речовини – д.р.) (за О.П. Федосєєвим)

Зона, Район	Δy , ц/га		Ймовірність, %		
	голове внесення	весняне підживлення	переважність головного внесення	переважність весняного підживлення	рівно- значність заходів
<u>Європейська частина СНД</u>					
Нечорноземна	5,3	6,8	18	48	34
Чорноземна	4,2	3,2	42	23	35
Республіки Балтії	4,0	4,8	27	44	29
Білорусь	5,9	10,1	8	75	17
Нечорнозем'я Центр	6,9	7,7	17	49	34
Нечорнозем'я Північний схід	4,4	4,6	19	26	55

Таблиця 4.25 – Ефективність азотних добрив (N 30-80 кг/га д.р. (по фону РК) під озими культури навесні (нечорноземна зона)

Умови перезимівлі	Сприятливі	Вимерзання	Випрівання
Приріст врожаю, Δy , ц/га	6,5	2,8	2,3

Від сходу стійкого снігового покриву до відновлення вегетації озимих у Нечорноземній зоні проходить 10-20 днів і накопичується сума позитивних температур 35-55⁰С.

Вищеописані дослідження [101,102] та прогноз погоди дають можливість визначити найсприятливіші строки початку азотного підживлення озимих культур в умовах кожного року.

Друге підживлення озимих зернових культур найкраще проводити у фазу виходу рослин у трубку.

Таблиця 4.26 – Ймовірність (%) настання дат відновлення вегетації озимих зернових культур (по п'ятиденках)

Середня дата відновлення вегетації	Ймовірність, %											
	Березень			Квітень						Травень		
	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3
30.IV					4	4	7	9	29	19	19	9
25.IV					7	3	29	11	34	8	8	–
20.IV				4	9	18	27	18	14	9	2	–
15.IV			4	8	19	16	28	14	9	2	–	–
10.IV		4	10	11	23	26	20	3	3	–	–	–
5.IV		5	8	23	22	12	15	15	–	–	–	–

При визначенні оптимальних доз азотних добрив для *весняного підживлення* озимих враховуються опади за осінній (з серпня до переходу температури повітря через 5⁰С) та зимовий періоди (з наступної декади після переходу температури повітря через 5⁰С восени до січня або ранньої весни) (рис.4.16).

Оскільки строки настання весняної вегетації, тобто весняного підживлення рослин, значно відрізняються по різних зонах СНД, то період врахування опадів за холодну пору року неоднаковий.

У нечорноземних районах Європейської частини СНД з переважно дерново-опідзоленими та сірими лісними ґрунтами опади враховуються за період від 1-го серпня до 1-ої весняної декади з середньою температурою повітря 5⁰С. У лісостепових і степових районах з вилуженими, типовими, звичайними і південними чорноземами опади підраховуються включно до січня. О.П.Федосєєвим побудовані графіки (4.16, а,б,в,г) розрахунку доз раннього весняного підживлення азотом. Різні поєднання осінніх та зимових опадів утворюють чотири зони (I–IV). Кількість опадів восени відкладається на вертикальній осі графіків, а зимові та весняні опади – на горизонтальній. Точка перетину цих значень опадів буває в тій чи іншій зоні графіка і визначає оптимальну дозу азотних добрив на 1 га.

Зона III відображає умови зволоження, за яких треба вносити середні дози азотних добрив. Це проводиться у господарствах з врахуванням попередників, агрохімічних властивостей ґрунту, стану посівів і т.д. для запланованого врожаю. Якщо значення осінніх та зимових опадів попадають у зону III, то поправка до встановлених доз на зволоження не вноситься. Якщо ж точка перетину попадає в II-гу зону, то пропонується зменшити дозу азоту, встановлену з урахуванням агрохімічних та агрономічних умов. Якщо точка перетину попадає у IV зону, то дозу азоту

збільшують, але не вище верхньої межі дози, визначеної для врожаю певного рівня. Якщо ж опадів зовсім мало, то весняне підживлення азотом не ефективне.

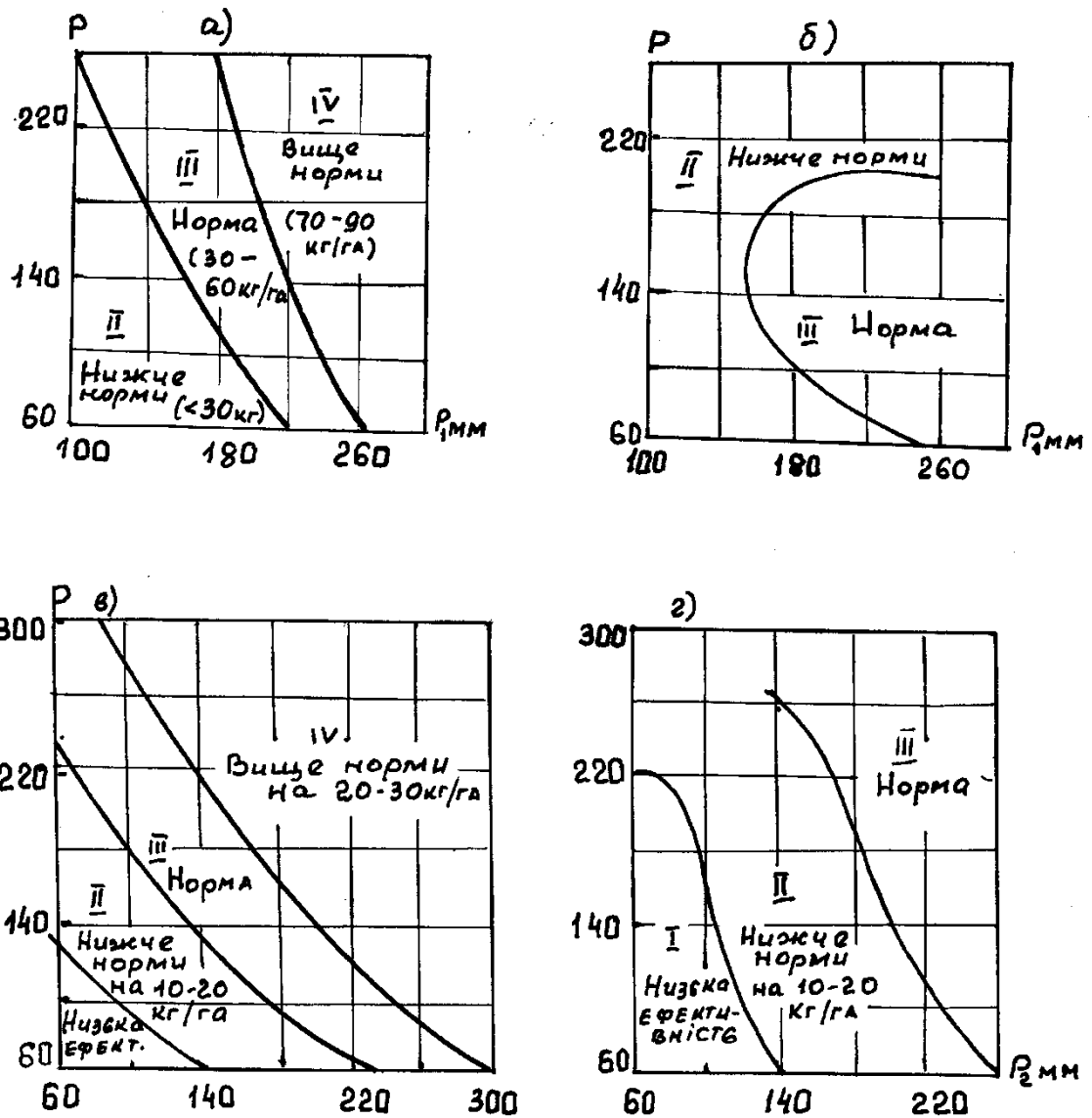


Рис. 4.16 – Поправки до встановлених доз весняного підживлення азотом озимих зернових культур:

- а, б – нечорноземна зона:
 - а) по зайнятих парах і непарових попередниках;
 - б) по чистих парах;
- в, г – чорноземна зона:
 - в) по зайнятих парах і непарових попередниках;
 - г) по чистих парах.

В залежності від умов зволоження весняне підживлення на зайнятих парах та непарових попередниках доцільне у всі роки тільки північніше

лінії Житомир – Гомель – Брянськ – Казань; на території України та ЦЧО – у 80-90% років, зменшуючись на південний схід до 30-40% років.

Змінюються також дози весняного живлення азотом на чистих парах та полях з органічними добривами. Вони зменшуються в середньому на 20% в залежності від зволоження ґрунту.

Таким чином, пропозиції щодо проведення весняного азотного підживлення озимих культур повинні чітко диференціюватись в залежності від ґрунтово-кліматичних умов, а дози їх щорічного внесення корегувались з врахуванням зволоження.

Літнє живлення. О.П.Федосєєвим та З.А.Шостак [100] встановлено, що літнє підживлення рослин азотом збільшує врожай на 2,6-4,6 ц/га, а вміст протеїну в зерні – на 1,5-3,5%.

Пізнє підживлення проводять сухими легко розчинними азотними туками або їх розчинами. Підживлення сухими туками називають кореневим, а розчинами туків – зовнікореневим підживленням.

Азотний обмін представляє собою єдиний кругообіг речовин, який проходить через надземні органи та коріння. Синтетичні процеси у корінні рослин інтенсивно проходять тільки при оптимальному їх водопостачанні. В умовах підвищеної (90% повної вологоємності) та зниженої (40%) вологозабезпеченості рослин синтез органічних азотних сполучень уповільнюється [38].

Дослідами та багаторічною практикою встановлено, що підживлення сухими туками для підвищення вмісту білка у зерні пшениці треба проводити у період колосіння-цвітіння, зовнікореневе в період колосіння-молочна стиглість. Літнє підживлення проводять карбамідом (сечовиною) або аміачною селітрою.

Оскільки азот сухих туків попадає в зону діяльності коріння з водою, то ефективність пізнього підживлення пов'язують з опадами, які випадають до підживлення і після нього впродовж 10-15 діб. Добру оцінку залежності ефективності літнього підживлення від умов погоди дає рівняння:

$$\Delta П = -0,63\sqrt[3]{x_1} + 0,20 \ln x_2 + 1,5; \quad (4.45)$$

$$R = 0,722; S_{\Delta П} = \pm 0,47,$$

де $\Delta П$ – підвищення вмісту протеїну, %;

x_1 – кількість днів від дати підживлення до дощу інтенсивністю більше 5 мм (бездощовий період);

x_2 – сума опадів, які випали протягом 30 днів до підживлення, мм.

Аналіз матеріалів показав, що величина приросту протеїну залежить від вологості ґрунту в шарі 0-20 см, яка визначається у відсотках найменшої вологоємності (НВ). Якщо запаси вологи (W_{0-20}) менше 10 мм або більше 90 % НВ, підживлення не доцільне, а інколи навіть шкідливе. Якщо ж W_{0-20} у день підживлення становить 20-50% НВ, то ефективність його залежить від опадів та строків їх випадання. Вологість ґрунту 50-80 % забезпечує приріст протеїну на 1% і більше. Залежність приросту протеїну від вологості ґрунту у період літнього підживлення описується рівнянням

$$\Delta P = 0,058x - 0,000005x^3 - 0,55, \quad (4.46)$$

4.5.4 Засвоєння мінеральних речовин рослинами

У рослині при утворенні структурної фітомаси необхідні початкові речовини – вода, вуглеводи, N, P і K – використовуються у співвідношеннях, обумовлених хімічним складом структурної маси. Як перше наближення приймається, що ці співвідношення мало міняються з часом і відвиду до виду і є, таким чином, універсальними характеристиками рослинної маси. При утворенні структурної маси, наприклад, азот і вуглець використовуються у співвідношенні 1 г азоту на 8,25 г вуглеводів. Фонди води, вуглеводів, N, P і K, які є початковими речовинами для створення фітомаси, одночасно виконують регуляторні функції при ростових процесах. Недостача одного з фондів у якому-небудь органі рослини порушує нормальний хід росту і викликає розбалансування фондів у рослині. У польових умовах з елементів N, P і K найбільш часто бракує азоту.

Щодо азоту, то поповнення фонду в листках відбувається транспортним струмом з коренів $I^{(N)}$, а витрата – включенням азоту в структурну масу листків у процесі їхнього росту, тобто

$$G^{(N)} = \gamma_N dm_{sL} / dt, \quad (4.47)$$

де γ_N – кількість фондового азоту, що включається в створення 1 г структурної маси.

Величина γ_N виражається в грамах азоту \times (грам структурної маси)⁻¹. Тоді рівняння балансу концентрації фондового азоту в листках можна записати в наступному вигляді

$$m_{sL} dx^{(N)} = I_R^{(N)} = I_N dm_{s1} / dt \quad (4.48)$$

Аналогічні рівняння записуються для фондів фосфору і калію. Поповнення фонду азоту відбувається за рахунок його поглинання з ґрунту. Витрата фонду азоту відбувається за рахунок транспорту азоту в інші органи і за рахунок росту самих коренів. Рівняння балансу азоту в коренях рослини має вигляд

$$m_{sR} dx^{(N)} / dt = \bar{S} m_{sR} - \sum_k I_{Rk}^N - \gamma_N dm_{sR} / dt \quad (4.49)$$

де індекс k означає підсумовування по всіх органах, крім коренів.

У рослинах, що розвиваються, поглинання мінеральних речовин і включення їх до складу органів випереджають приріст маси. Тому найважливіші елементи мінерального живлення повинні бути в наявності заздалегідь; таким чином, стає зрозумілим, що недостача мінеральних елементів із самого початку обмежує синтез органічних речовин. У дерев листки, що розпускаються, завчасно накопичують N , P , K та інші елементи. Надалі кількість органічної речовини збільшується швидше, ніж кількість мінеральних речовин, так що співвідношення зміщається на користь органічної речовини.

Елементи азот і калій особливо інтенсивно поглинаються молодими рослинами, які швидко ростуть; поглинання кальцію в основному за ходом утворення сухої речовини.

Різні біоелементи переміщуються неоднаково легко: ті елементи, які переводяться (наприклад N , P , S) органічну форму добре транспортуються, так само як і лужні іони. Погано переміщуються важкі метали і лужноземельні іони, особливо кальцій, саме тому він усе більше накопичується в листках (наприкінці шляху ксилемного транспорту).

Контрольні питання

1. Яка роль ґрунту у біосфері?
2. Агроекологічна роль гумусу. Органічна частина ґрунту та живлення рослин.
3. Яке фізіологічне значення азоту, фосфору та калію в житті рослин?
4. Фізіологічні основи кореневого живлення.
5. Макро та мікроелементи.
6. Вкажіть причини збільшення коефіцієнтів використання добрив рослинами.
7. Як впливають кліматичні чинники на мінеральне живлення рослин?
8. Як впливає на засвоєння елементів живлення рослинами реакція ґрунтового розчину?.
9. Терміни і способи внесення добрив.

10. Охарактеризуйте визначення оптимальних норм добрив при вирощуванні сільськогосподарських культур

4.6 Вплив несприятливих явищ на урожай

В Україні фіксується дуже широкий спектр несприятливих (естремальних явищ), серед яких найчастіше спостерігаються дуже сильні опади (майже 50 %). Сильний вітер, смерчі спостерігаються у 20 % випадків. Решта 30 % припадає на заморозки, ожеледо – заморозкові явища, тумани, град, засушливі явища та ін.

Несприятливі агрометеорологічні явища – це група гідрометеорологічних явищ, що за своїм фізичним змістом, обсягом та інтенсивністю, площею поширення, взаємодією з підстильною поверхнею порушує звичний хід процесів життєдіяльності або завдає збитків об'єктам сільськогосподарського виробництва.

За впливом на навколишнє середовище несприятливі гідрометеорологічні явища поділяються на несприятливі, небезпечні та збиткові.

В агрометеорології до *несприятливих* явищ відносяться такі, які не досягають критеріїв небезпечних явищ, але негативно впливають на стан сільськогосподарських культур і тварин та ускладнюють діяльність сільськогосподарської галузі або підприємств. До *небезпечних явищ* відносяться явища, що створюють небезпеку і завдають збитків сільськогосподарському виробництву. Збиткові явища завдають незворотних і невідновлювальних збитків об'єктам народного господарства.

Загальні властивості несприятливих агрометеорологічних явищ наведені на рис. 4.17.

До несприятливих шкодочинних агрометеорологічних явищ відносяться: засухи, суховії, заморозки, надмірне зволоження, сильні зливи з градом та вітрами, повені та ін.

Критерії небезпечних гідрометеорологічних явищ – це кількісні показники гідрометеорологічних величин або їх якісні характеристики, досягнувши яких стихійне гідрометеорологічне явище слід вважати небезпечним. Критерії встановлюються стосовно визначених територій та стосовно до конкретних галузей економіки територіальними та державними управління з гідрометеорології і моніторингу навколишнього середовища.

Небезпечні явища мають такі критерії:

сильний дощ, дуже сильні опади – кількість опадів 50 мм і більше впродовж 12 годин і менше, в гірських, селєвих і зливонебезпечних районах – 30 мм і більше за 12 годин і менше;

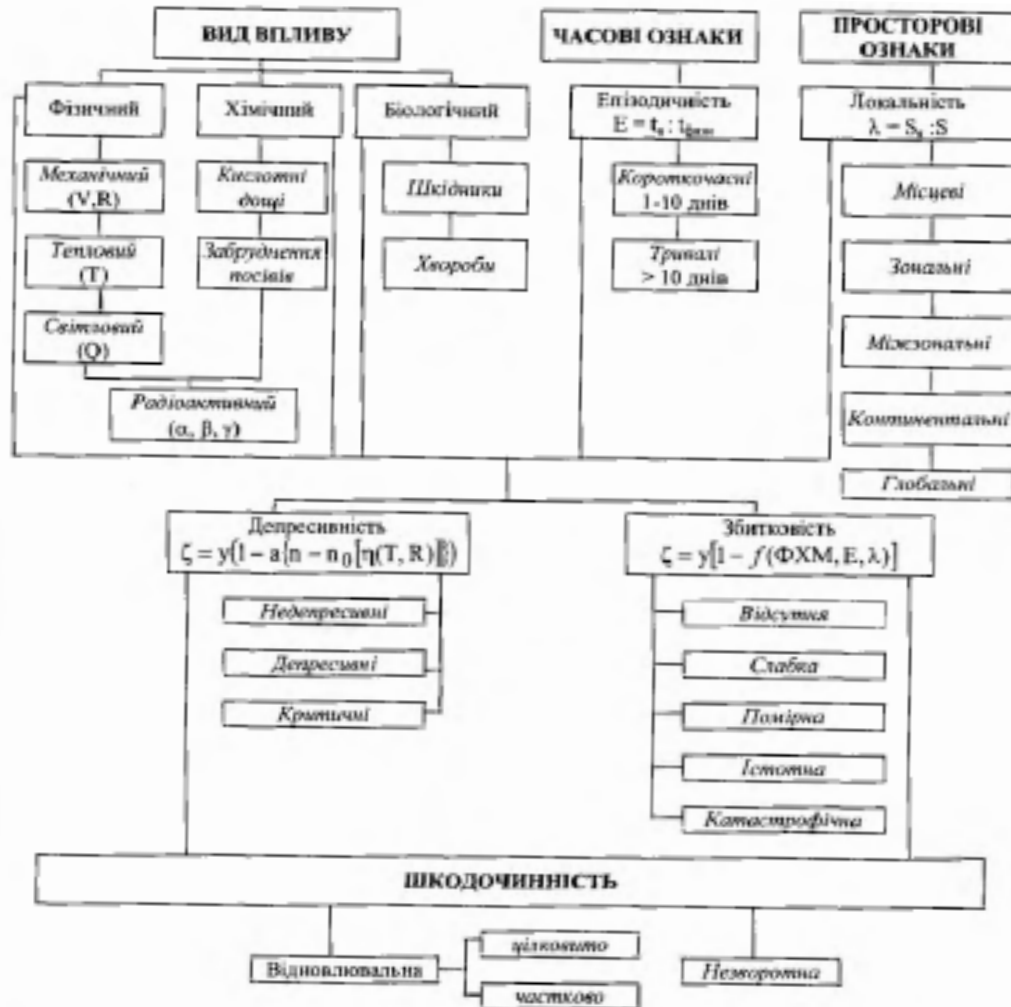


Рис. 4.17 Властивості несприятливих агрометеорологічних явищ

- сильні зливи* – кількість опадів 30 мм і більше за 1 годину і менше;
- тривалий дощ* – кількість опадів 100мм і більше за 1 – 3 доби;
- великий град* – діаметр градин 20 мм і більше;
- вітер, шквали, буревії, смерчі* – максимальна швидкість вітру – 25 м/с і більше;
- сильні пилові (піщані) буревії*- швидкість вітру більше 15 м/с;
- сильні хуртовини* – впродовж дня або ночі швидкість вітру 15 м/с і більше зі снігом;
- сильні снігопади* - видимість 100 м і менше;
- сильна ожеледиця* – діаметр відкладень на проводах стандартного голубодного станка 20 мм і більше;
- сильний мороз* – коли абсолютний мінімум температури повітря в південних областях України знижується до -25 і нижче, на іншій території – до - 30 °С і нижче. Особливо небезпечна температура повітря – 35 °С і нижче;

сильна жара – коли абсолютний максимум температури повітря в південних і південно – східних областях піднімається до 35 °С і вище, в північних і північно – західних областях України – до 30 °С і вище. Особливо небезпечна температура повітря вище 40 °С;

надзвичайна пожежонебезпечність – показник пожежної небезпечності більше 10 000 °С (за формулою В.Г. Несторова);

суховій – суховійним вважається день з температурою повітря вище 25 °С, відносною вологістю повітря менше 30 %, вітром більше 5 м/сек;

засуха – виникає за тривалої відсутності дощу у сполученні з високою випарованістю. За таких умов відбувається висушування шару ґрунту, де розповсюджується коріння, і порушується нормальне водопостачання рослин;

заморозки – зниження температури повітря (або на поверхні ґрунту) до 0 °С і нижче на загальному фоні позитивних температур впродовж вегетаційного періоду.

Екстремально високе забруднення природного середовища. При визначені екстремально високого забруднення природного середовища слід мати на увазі час, що пройшов з моменту його виникнення до виявлення, та місце розповсюдження.

Для *атмосферного повітря* критерієм є вміст однієї чи декількох речовин, що перевищують гранично допустиму концентрацію (ГДК):

- у 20 – 29 разів за умови збереження цього рівня концентрації більше 2 діб;

- у 30 – 49 разів за умови збереження цього рівня концентрації 8 годин і більше;

- у 50 разів незалежно від тривалості.

4.6.1 Вплив посушливих умов на продуктивність рослин

Із усіх несприятливих гідрометеорологічних явищ найбільший збиток сільському господарству наносять інтенсивні тривалі засухи, які охоплюють значні території. За дослідженнями Є.С. Уланової та Г.І. Страшної зменшення урожайності зерна в посушливі роки досягає 40 – 60 % і більше.

У зернових культур насіння при проростанні часто піддається впливу високих і дуже високих температур. Відомі випадки, коли температура ґрунту при проростанні пшениці досягала 45 °С, а кукурудзи – 55 °С. Паростки дуже чутливі до підвищення температури, тому маса паростків при температурі вище 20 °С і відповідному прискореному розвитку знижується. Це може призвести до зменшення кінцевої урожайності, навіть якщо надалі умови для формування врожаю будуть оптимальними. Маса

пагонів і коренів у паростків кукурудзи знижується на 10 %, на кожен градус перевищення температурного порога в 26 °С.

У пшениці кількість листків не залежить від температури, а залежність загальної площі листя однієї рослини від температури в цілому опосередкована через вплив температури на розміри листків і тривалість їхнього життя. Інші параметри, що визначають потенційну кількість зерен, навпаки, сильно залежать від температури і знижуються пропорційно скороченню тривалості періоду до цвітіння. Кількість пагонів і відповідно, колосків на одну рослину, а також кількість колосків у колосі і квіток у колоску мають тенденцію до зниження при підйомі температури вище 15 °С в період до початку цвітіння.

Існує генотипова варіація залежності кількості колосків і квіток від підвищених температур.

Порогові температури ушкодження для генеративних органів набагато нижчі, ніж для інших органів. Так, у кукурудзи зменшення закладки насіння відбувається при температурі вище 38 °С головним чином через зменшення здатності пилка до проростання і росту пилкової трубки, а поява тичинкових ниточок і насінних зачатків менше залежать від високих температур.

Період після цвітіння у зернових культур характеризується більшим впливом високих температур, які спричиняють серйозні порушення фізіологічних процесів і відповідно впливають на формування врожаю і його якість. Розвиток зародка може загальмуватися, якщо температура перевищить порогове значення для даної культури або сорту. Оскільки запліднення у зернових не синхронізовано навіть у межах окремого колоска, важко відокремити вплив високої температури на запліднення і ранній розвиток зародка.

При вивченні впливу помірно високих температур (15–32 °С) на формування врожаю у зернових культур встановлено, що втрати урожаю можуть складати 10–15 %, наприклад для рису і кукурудзи (рис.4.18)

Ярі культури (рис, кукурудза) у цілому більш стійкі до жару, чим озимі (пшениця), так втрата маси зернівки при перевищенні температури на 1 °С складає 4 % від максимуму у пшениці, 3% – у кукурудзи і лише 1 % – у рису. Подібне зниження маси зернівки зумовлено різною чутливістю до температури швидкості і тривалості наливу. При цьому тенденція приблизно однакова для всіх культур: у міру підвищення температури збільшення швидкості наливу зернівки не компенсує зниження тривалості наливу. Наприклад, у пшениці тривалість наливу знижується з підвищенням температури приблизно на три доби на кожен градус підвищення температури в діапазоні 16–26 °С. При подальшому підвищенні температури реакція стає асимптотичною, в результаті при підвищенні денної/нічної температури з 21/16 °С до 30/25 °С період наливу зерна скорочується практично в 2 рази.

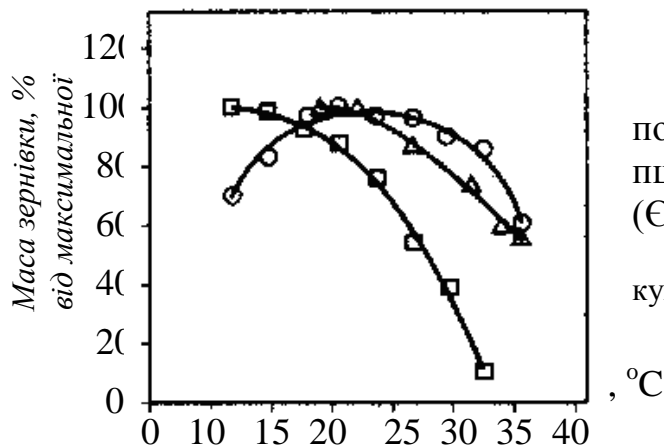


Рис.4.18 Вплив температури повітря на масу однієї зернівки пшениці, рису, кукурудзи (Є.І. Кошкін, 2010).
1 – пшениця; 2 – рис; 3 – кукурудза.

При дії прогресуючої засухи спостерігається певна послідовність порушення основних процесів, які складають енергомасообмін рослин: ріст, фотосинтез, дихання. По стійкості до зневоднювання ці процеси розташовуються в зворотному порядку: дихання, фотосинтез, ріст. Динаміка співвідношення між цими процесами представлена в роботі І.А. Куперман і О.В. Хитрово. Якщо взяти за критерій зміну масообміну, то зміну стану рослин при дії прогресуючої засухи умовно можна розділити на фази: позитивного $t_1...t_5$, нульового $t_5...t_6$ і негативного $t_6...t_8$ балансу органічної речовини (рис. 4.19).

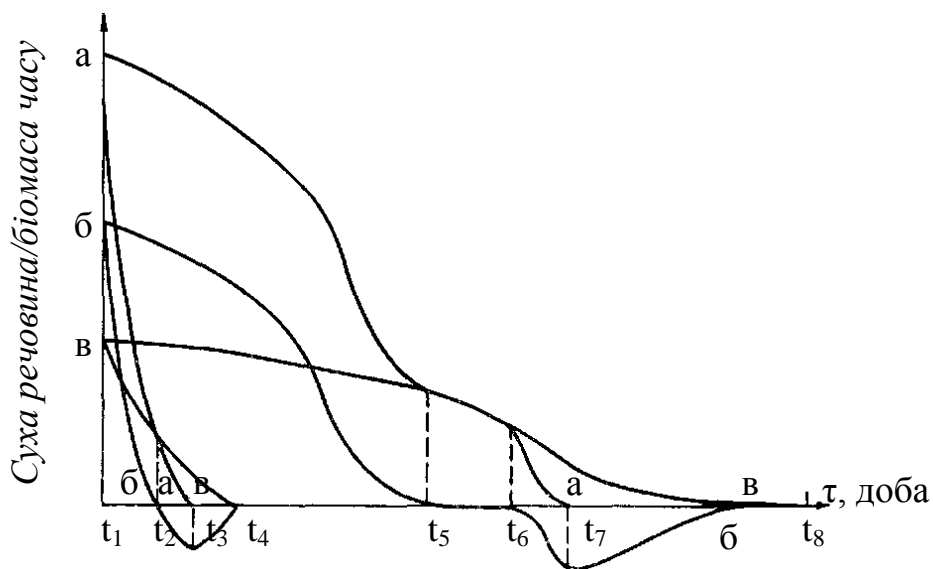


Рис. 4.19 – Зміна відношення між інтенсивністю фотосинтезу, дихання і приросту в період засухи (І.А. Куперман і О.В. Хитрово).
а – фотосинтез; б – приріст; в – дихання; $t_1...t_4$, – швидке зневоднювання; $t_1, ..., t_8$ – прогресуюча посуха; t_2, t_5, t_6 – час настання нульового балансу органічної речовини; $t_3, ..., t_7$ – час припинення фотосинтезу.

Перша фаза характеризується відносно сприятливими для протікання різних фізіологічних процесів умовами, але новоутворення уже загальмоване і надземна частина не в змозі освоїти вуглеводи, які утворюються в процесі фотосинтезу, тобто «пропозиція» перевищує «попит» і відбувається «затоварення» вуглеводами, яке виражається в підвищенні їхньої концентрації. Незважаючи на збільшення напруженості у забезпеченні рослини водою, коренева система знаходиться у відносно більш сприятливих умовах і може використовувати ці вуглеводні «надлишки» на освоєння нових об'ємів ґрунту. Отже, компенсаційні реакції першої фази пов'язані значною мірою на рівні регуляції організму і супроводжуються активним проникненням рослини в більш вологі шари, тобто носять «динамічний» характер.

При подальшому посиленні засухи в результаті зниження інтенсивності фотосинтезу і погіршення умов для росту масообмін падає до компенсаційного рівня (друга фаза); при цьому новоутворення можливе тільки за рахунок внутрішніх резервів і лише в дуже обмежених зонах росту. До цього часу може бути витрачена вся доступна волога, внаслідок чого ріст коренів буде припинений. Компенсаційні реакції в такому стані вже менше пов'язані з організмом як цілісною системою і здійснюються за рахунок локального опору окремих органів, тканин і клітин, зв'язок між якими неухильно слабшає, тобто опір стає усе більш «статичним».

У третю фазу спостерігається «негативний приріст», тобто енергія, затрачена на існування активної біомаси, уже не покривається за рахунок зовнішнього енергомасообміну. При цьому змінюється співвідношення між активними і пасивними (омертвілими) елементами клітин і тканин на користь останніх, які служать, з одного боку, донорами речовини й енергії, а з іншого, фізичним захистом активних елементів від руйнівної дії зовнішнього середовища. У подібних умовах різні сорти можуть існувати, очевидно, різний час. Поступово навіть у найбільш стійкої і захищеної частини біомаси починають переважати глибокі незворотні порушення, які призводять до припинення дихання і загибелі рослини.

Міра небезпечності засух та суховіїв залежить в першу чергу від посухостійкості рослин того чи іншого виду і сорту. Серед сільськогосподарських культур найбільше пошкоджуються засухами і суховіями ярі зернові культури, які найбільш активно розвиваються у весняно-літній засухонебезпечний період. Більш сприятливі умови складаються для озимих зернових культур через те, що в них краще розвинене коріння і тому вони краще використовують ґрунтову вологу.

Є.С. Улановою та Г.І. Страшною встановлено, що існує чітка залежність урожайності зернових культур від гідротермічного коефіцієнта за травень – червень для південно-східних областей України (рис. 4.20).

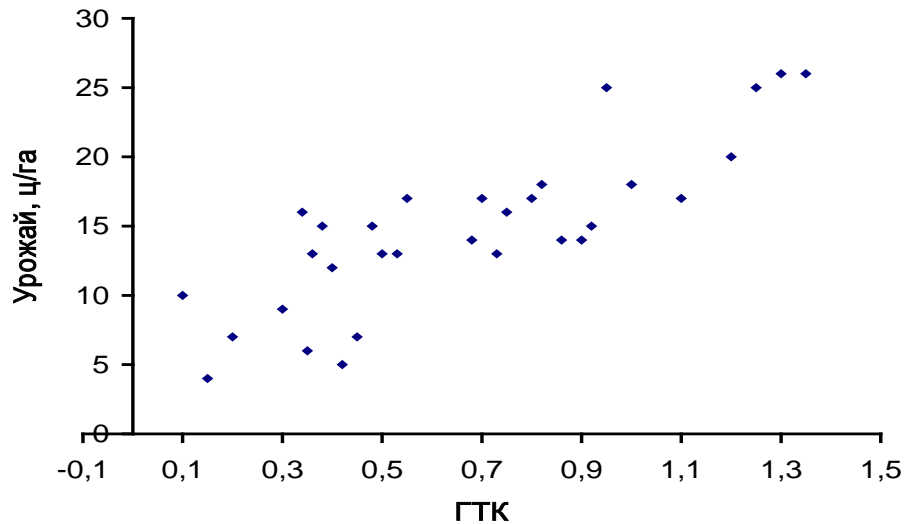


Рис. 4.20 – Залежність урожайності зернових культур від гідротермічного коефіцієнта за травень – червень для південно-східних областей України.

При виникненні сильних суховіїв пошкодження рослин можливе за дуже короткий термін (через 12 годин).

За даними Л.Є. Пасечнюк та В.А. Сеннікова засушливі умови несприятливо впливають на формування висоти стеблостою та продуктивної кущистості зернових культур. Встановлено вплив кількості днів (x) із суховіями за період 3-ій лист – цвітіння на висоту рослин ярої пшениці (y) в степових районах. Залежність виражається рівнянням

$$Y = 499,9 x + 26,6 ,$$

$$S_y = 13 \text{ см} \quad (4.50)$$

В лісостепових районах залежність висоти рослин від кількості суховійних днів має меншу тісноту.

Цими авторами також проведено дослідження впливу кількості днів із суховіями на формування репродуктивних органів ярої пшениці. Встановлено, що найбільше зменшення кількості колосків у колосі відбувається при кількості днів із суховіями за період третій лист – цвітіння більше 16 та кількості опадів за цей період не більше 40 мм і запасів вологи в орному шарі ґрунту у фазу виходу у трубку менше 20 мм.

Кількість зерен в колосі в значній мірі визначається умовами навколишнього середовища в період закладки колосу, диференціації колосу та квітки, кількості повністю сформованих та запліднених квіток. Нестача вологи на початку фази виходу у трубку та наступні десять діб проявляється у збільшенні кількості безплідних квіток, а потім колосків.

З настанням фази молочної стиглості закінчується період формування зернівки і починається період наливу зерна, який продовжується до фази воскової стиглості. Несприятливі умови в цей період порушують приріст сухої речовини і зменшують масу 1000 зерен.

Визначають два типи пошкодження від засух і суховіїв: *захват* зерна – пошкодження від надмірної втрати вологи і *запал* зерна – пошкодження від перегріву.

Щупле зерно в засушливі роки відзначається малим вмістом в ньому вологи, який інколи доходить до того, що неможливе вже надходження пластичних речовин в зерно. При сильних суховіях тривалість міжфазного періоду колосіння – воскова стиглість різко скорочується, вологість зерна зменшується до 40 %, а за такої вологості зерна відбувається згортання гідрофільних колоїдів, рослини завчасно засихають і дають щупле зерно. Вплив високих температур на формування врожаю для різних культур різний. На зменшення врожаю за високих температур впливає ціла низка чинників: зменшення кількості органів у відповідну фазу онтогенезу, зменшення кількості пагонів і т.ін. У кукурудзи, рису, озимої пшениці втрати урожаю можуть бути 10 – 15 %, тоді як у ярої пшениці - тільки 4 %.

Втрати урожаю значною мірою залежать від зміни швидкості наливу зерна при підвищених температурах. Зменшення маси зернівки зумовлюється різною залежністю від температури швидкості і тривалості наливу зернівки. По мірі підвищення температури збільшення швидкості наливу зернівки не компенсує зменшення тривалості наливу. Тривалість наливу зернівки зменшується з підвищенням температури приблизно на 3 доби на кожен градус підвищення температури вище критичної.

Зниження урожайності в умовах сильної жари зумовлюється заторможенням здатності перетворювати фотоасиміляти на крохмаль. Помірно високі температури впливають на розмір крохмальних гранул А-типу та їх кількість, незначно зменшують вміст сахарози в зернівках усіх зернових культур. Кінцевий результат впливу підвищених температур на урожайність залежить також від того, в який період наливу зернівки вони виникають. Особливо чутливий вплив високих температур на початку розвитку зернівки.

Значною мірою атмосферою засухою пояснюється і явище запалу зерна, яке найчастіше спостерігається на півдні та південному сході країни. Поява жаркого сухого вітру на фоні засухи за декілька годин спричиняє різке погіршення якості зерна. Особливо великі пошкодження і втрати врожаю спостерігаються при виникненні сильних суховіїв на фоні ґрунтової засухи, коли запаси продуктивної вологи у ґрунті менше 30 мм, кількість днів з дефіцитом насичення 25 мм не менше 3. Ярі культури можуть пошкоджуватись засушливими умовами в будь-який період розвитку. Дослідженнями Жукова В.А., Святкіної О.А. встановлено, що дія засухи в різні міжфазні періоди по різному впливає на втрати урожаю.

При появі засушливих умов в період від сходів до кущіння втрати урожаю від максимального становлять 30 %, від кущіння до колосіння – 40 %, від колосіння до воскової стиглості – 25 %, від сівби до колосіння – 70 %, від кущіння до воскової стиглості – 60 %.

4.6.2 Вплив заморозків і знижених температур на продуктивність рослин

Дослідженнями встановлено, що у теплолюбних рослин при знижених температурах уповільнюється або припиняється надходження води в клітини. На зменшення швидкості надходження води впливають *фізичні і фізіологічні фактори*.

Охолодження теплолюбних рослин до 10 °С значно зменшує швидкість поглинання води. Були визначені температурні коефіцієнти (K_m) швидкості поглинання води різними рослинами (табл. 4.25).

Встановлено, що збільшення тривалості дії низьких температур ще більше зменшує швидкість поглинання води [12, 23].

При підвищенні температури в середовищі перебування рослин швидкість поглинання не збільшується через пошкодження рослин патогенними мікроорганізмами.

Знижені температури (2...5 °С) сприяють не тільки швидкому обезводжуванню рослин, а і пошкодженню коріння.

Пошкодження рослин від дії знижених температур буде зменшуватись якщо рослини завчасно загартувати. Загартування проводиться шляхом витримки проростків при температурі 10 °С.

Таблиця 4.25 – Температурні коефіцієнти (K_m) поглинання води рослинами

Культура	K_m	Культура	K_m
Бавовна	10,2	Томат	3,3
Кавун	3,8	Баклажани	2,3
Огірки	3,7	Кабачки	2,0
Дині	3,7	Кукурудза	1,3

Знижені температури несприятливо впливають на водний режим більшості теплолюбних рослин. Цей вплив проявляється в уповільненні поглинання води корінням і порушенні водного дефіциту в надземних органах. У холодостійких рослин ці явища проявляються менш помітно і носять тимчасовий характер. Після підвищення температури у холодостійких рослин процеси поглинання води і водний баланс відновлюються.

Дія знижених температур неоднакова на коріння і надземну частину рослин. Коріння більш чутливе до зниження температур у шарі його розповсюдження. В холодному ґрунті (8 – 10 °С) і нижче ріст рослин уповільнюється, затримується засвоєння азоту і фосфору та утруднюється їх пересування із коріння в надземні органи, через це зменшується продуктивність рослин.

Під дією знижених температур утрудняється поглинання питомих речовин та їх засвоєння. В залежності від рівня температури змінюється послідовність елементів мінерального живлення за ступенем їх поглинання. При зниженні температури до 6 °С і нижче послідовність поглинання стає такою – N(NO₃) > P > K > Ca > S. Поглинання корінням поживних речовин та пересування їх в надземні органи рослин залежать від температури коріння. Знижені температури сприяють різкому порушенню розподілу поживних речовин між органами рослини – відносно збільшення питомих речовин у корінні і зменшення їх в надземних органах.

Фотосинтез. Температурний оптимум фотосинтезу рослин теплого клімату знаходиться в межах 15 – 30 °С, для рослин помірних широт - в межах 15 – 20 °С, в холодних широтах деякі рослини синтезують при мінімальній температурі близькій до 0 °С. В табл. 4.26 вказана залежність поглинання CO₂ від температури повітря.

Хід кривої фотосинтезу у різних груп рослин за однакових температур і однакової напруги світла може бути різним.

За тривалого витримування рослин в умовах певної і цілком визначеної температури (зниженої або підвищеної) може відбутись стійкий фотосинтез по відношенню до тієї ж зони температурної шкали і зміщення температурного оптимуму фотосинтезу. Але не завжди переміщення рослини в ті чи інші умови сприяє перебудові фотосинтезу. Все залежить від початкового стану навколишнього середовища. Рівень температур, за якого відбувається припинення фотосинтезу, у різних культур різний.

Таблиця 4.26 – Інтенсивність поглинання CO₂ листям (мг/г на 150 см²) за різних значень температури (за Лундегардом)

Рослини	Температура, °С		
	0	10	20
Картопля	0,9	4,2	9,5
Томат	3,3	6,0	8,4
Цукрові буряки	3,0	6,0	8,5

Залежність ступеня пригнічення фотосинтезу від холодостійкості була встановлена при порівнянні реакції рослин на однакове охолодження.

За даними В.Н. Жолкевича, причина порушення фотосинтетичного процесу пов'язана з патологічною зміною хлоропластів під впливом охолодження.

Зворотність пригнічення фотосинтезу під впливом знижених температур проявляється в тому, що зниження інтенсивності фотосинтезу поступово зменшується і інтенсивність фотосинтезу є такою ж, як до початку зниження температур. Зворотність фотосинтезу залежить не тільки від холодостійкості рослин, але і від віку листя, їх фізіологічного стану, загартування до холоду. Яскраве світло посилює пригнічення фотосинтезу, який відбувається при знижених температурах.

Дихання. Знижені температури спричиняють різке зменшення інтенсивності дихання. У холодостійких рослин реакція зміни інтенсивності дихання за зниження температури неоднакова. У теплолюбних рослин середня інтенсивність дихання при 4 °С у два – два з половиною рази нижча, ніж у холодостійких рослин. При температурі повітря 20 °С інтенсивність дихання однакова у холодостійких та теплолюбних культур.

О. І. Коровіним встановлено, що за знижених температур в зоні коріння зниження інтенсивності дихання у теплолюбних культур виражається більше ніж у холодостійких [24].

В.Н. Жолкевич порівнював фізіологічні особливості теплолюбних культур з фізіологічними особливостями холодостійких і встановив, що при охолодженні теплолюбних культур пригнічується ріст листя та міжвузля, що сприяє зменшенню накопичення сухої речовини. Пригнічення росту і біосинтезу, порушення структури протоплазми у теплолюбних рослин сприяє розриву між диханням і зв'язаними з ним процесами. Таким чином, загибель рослин під дією знижених температур відбувається через невідповідність отриманої енергії в процесі дихання та її ефективним споживанням.

У холодостійких рослин після закінчення дії знижених температур дихання було нормальне.

Розвиток і продуктивність рослин. Як вказувалось вище, знижені температури негативно впливають на ріст, розвиток і формування продуктивності сільськогосподарських культур. За визначенням О.І. Коровіна зниженими температурами є температури у вегетаційний період на 3 – 4 °С вищі від біологічного мінімуму. Для зернових культур це будуть температури, не нижчі за 5 – 7 °С.

Різні рослини у різні відрізки вегетаційного періоду під час початку дії знижених температур будуть знаходитись у різному стані розвитку.

Вплив знижених температур ґрунту 6 – 7 °С в окремі періоди онтогенезу по-різному впливає як на тривалість фаз розвитку, так і на продуктивність (табл. 4.27).

Таблиця 4.27 - Вплив температури ґрунту на тривалість міжфазних періодів і всього вегетаційного періоду пшениці (за О.І. Коровіним)

Температура ґрунту, °С	Тривалість між фазних періодів, дні								
	Сівба – сходи	Сходи – 3-й лист	3-й лист-вихід у трубку	ви-хід у трубку – коло-сіння	коло-сіння – моло-чна стиг-лість	моло-чна – воско-ва стиг-лість	сівба – коло-сіння	коло-сіння – доз-ріван-ня	сівба – доз-ріван-ня
6...7	11	23	14	20	32	24	68	55	124
8...10	9	20	14	20	22	21	63	43	106
12...14	6	15	10	19	17	14	50	31	81
15...20	5	13	10	20	17	13	48	30	78

О.І. Коровін досліджував вплив температури ґрунту впродовж всього вегетаційного періоду на його тривалість та тривалість міжфазних періодів у зернових культур. Як видно із табл. 4.23 тривалість періодів сівба – ходи, сходи – третій листок та колосіння – молочна стиглість і молочна – воскова стиглість при температурах 6 – 10 °С збільшується вдвічі. Тривалість інших міжфазних періодів збільшується незначно. Порівняння приростів при знижених температурах із приростами в нормальних умовах показали, що в період від виходу у трубку до колосіння прирости при знижених температурах перевищували прирости при підвищених температурах.

Встановлено, що вплив знижених температур на процеси розвитку пшениці спостерігаються тільки в період яровизації та світлової стадії.

Під дією знижених температур впродовж вегетаційного періоду величина врожаю іноді буває вищою, ніж в загальних умовах, але частка зерна в загальній масі буде меншою, а маса коріння – більшою. Також зменшується інтенсивність процесів росту та змінюється співвідношення між зерном, соломом і корінням в сторону зменшення врожаю зерна.

4.6.3 Вплив надмірного зволоження на продуктивність рослин

В Україні в деяких регіонах спостерігаються явища надмірного атмосферного та ґрунтового зволоження. Вони мають часові та географічні ознаки. Географічні ознаки притаманні районам Прикарпаття. Часові – можуть спостерігатись у будь – якому регіоні.

Надмірне зволоження у вигляді тривалого дощового періоду або значної загальної кількості опадів викликають безпосередній або

опосередкований несприятливий вплив на фізіологічні процеси в рослинах та в цілому на стан посівів [20].

Тривалий дощ спричиняє забруднення рослин, вимивання органічних речовин, вимивання рослин з ґрунту та відсутність зав'язі і плодів, значні механічні пошкодження тощо. Опосередкований несприятливий вплив опадів спричиняє перезволоження ґрунту, утворення надмірного снігового покриву, вимокання рослин, стікання зерна, сприяння поширенню хвороб.

Дослідженнями Ф.Ш. Гутмана встановлено, що вимокання рослин відбувається під дією цілого комплексу несприятливих факторів і залежить від тривалості та глибини затоплення рослин, вологості та глибини промерзання ґрунту, температури талої води [56].

Встановлено, що затоплення рослин водою восени та взимку менш небезпечне, ніж навесні, коли рослини ослаблені вийшли з зимового покою. При затопленні рослин на неповну їх висоту (верхня частина знаходиться над водою) зрідженість посівів буде менше, та вона значно зростає при повному затопленні рослин, а також із збільшенням тривалості періоду застою води та підвищенням її температури.

Найбільші поширення і повторюваність мають сумісний несприятливий вплив опадів та вологості ґрунту, особливо навесні та восени. Але вимокання може спостерігатись у будь-яку частину вегетаційного періоду (табл. 4.28).

Особливості впливу надмірного зволоження внаслідок затоплення досліджені Е.Д. Остаплюком та В.С. Шевелухою. початок періоду затоплення (y) розраховується за датою стійкого переходу температури повітря через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ навесні (x) за рівнянням

$$Y = 0,97x + 5,5 \quad (4.51)$$

Закінчення періоду затоплення талими водами (Y) за відсутності прямих спостережень розраховується за датою повного відмерзання ґрунту (x):

$$Y = 0,88x + 10,4 \quad (4.52)$$

При підрахунках в рівняння (4.51 та 4.52) підставляється кількість днів від першого січня.

Слід зазначити, що спостереження за температурою талої води у місцях затоплення не проводяться. Тому температуру талої води розраховують за рівнянням

$$T_g = 0,80T - 0,24 \quad , \quad (4.53)$$

де T_g – середня температура повітря за період затоплення рослин, $^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 4.28 – Вплив затоплення на продуктивність і урожайність сільськогосподарських культур у різні періоди вегетації

Сезони, фази розвитку	Явища		Пошкодження рослин	Територія, особливості рельєфу
	зміст	тривалість		
Озимі зернові культури				
Наприкінці осені, кущіння	Повне затоплення рослин	Від 10 діб до 2-3 тижнів	Гине листя, коріння, вузол кущіння, збільшується зрідженість	Зона надмірного і достатнього зволоження, знижені місця рельєфу
Взимку, під час відлиг, на початку весни	Різні рівні затоплення	До 10 діб	Різкі коливання кількості зерен в колосі від 8 до 35, зменшення врожайності зерна на 10-15% і більше	Те ж
Кінець квітня, початок травня, вихід у трубку, стеблуння	Перезволожений ґрунт восени, значна кількість опадів, глибоке промерзання ґрунту, пізніше його відтавання. Перезволоження ґрунту	5 – 9 діб	Наявність снігової лісняви, значна кількість рослин не утворює колосу, урожай у 2-4 рази менший, ніж за сприятливих умов	Те ж
Ярі зернові культури				
Весняно-літня вегетація	Вимокання за вологості ґрунту близько 100%	3 – 15 діб	Зниження врожаю на 35 – 80%	Те ж
Усі культури				
У вегетаційний період. Всі фази розвитку	Вимокання за вологості ґрунту 120 – 130 % від повної волого місткості	3 – 15 діб	Усі види пошкоджень листя, стебел, репродуктивних органів. Урожай у 2-4 рази зменшується.	Те ж

Крім зазначених вище факторів, на кількість загинлих від вимокання рослин також впливають міра зволоження ґрунту восени перед початком зими та кількість опадів за зиму. За поганого зволоження ґрунту восени та малої кількості опадів взимку талі води швидко проникають в нижні шари

грунту і застою води не спостерігається. Встановлено, що вимокання посівів практично не спостерігається, якщо за зиму випало менше 230 мм опадів. Тому кількісна оцінка агрометеорологічних умов, що спричиняють пошкодження від вимокання, виконується лише у тому випадку, коли з 1 вересня до переходу температури повітря через 0 °С навесні випало більше 230 мм опадів.

Площа з загиблими від вимокання рослинами (S_g) розраховується за даними зрідженості посівів (u) від вимокання за рівнянням:

$$S_g = 0,37u + 0,04 \quad (4.54)$$

Таким чином, за даними метеорологічних величин визначається не тільки зрідженість посівів, а і площа із цією зрідженістю. Повна загибель від вимокання явище досить рідкісне і найчастіше зустрічається в понижених місцях рельєфу. Але врожайність посівів, пошкоджених від вимокання, значно менше врожайності здорових рослин.

Встановлено, що оптимальна кількість опадів є відображенням потреби посівів у атмосферному зволоженні (табл. 4.29).

Приклад загибелі озимих культур від вимокання наводиться в табл. 4.30.

Таблиця 4.29 – Визначення рівнів біологічного максимуму опадів за повною волого місткістю W_p (за В.П.Дмитренком)

Станція	Тип ґрунту	W_p , мм		$R_{max} = 1,4 W_p$	
		0 - 20	0 - 100	0 - 20	0 - 100
Тернопіль	Чорнозем глибокий легкосуглинковий	77	450	108	630
Фастів	Чорнозем опідзолений легкосуглинковий	105	494	147	692
Ромни	Чорнозем глинистий, мало гумусний, легкосуглинковий	104	471	146	659
Умань	Чорнозем глибокий важкосуглинковий	75	392	105	549
Кирилівка	Чорнозем звичайний легкосуглинковий	100	438	146	613
Херсон	Чорнозем каштановий середньосуглинковий	86	413	120	578
Роздільна	Чорнозем звичайний важкосуглинковий	76	270	106	378
Баштанка	Чорнозем південний легкосуглинковий	77	276	108	386

Таблиця 4.30 - Приклад розрахунку загибелі озимих культур від вимокання. Ст. Могильов. 2011 рік.

Глибина промерзання ґрунту 70 см. Фаза розвитку озимої пшениці – відновлення вегетації. Кущистість восени 6 пагонів.

Показники	Березень			Квітень			Травень
	1	2	3	1	2	3	1
Середня за декаду температура повітря, °С	-3,6	-1,2	3,8	4,6	5,3	6,1	7,8
Дата переходу темп. повітря через 0°С			5 березня				
Дата повного відтанення ґрунту				15 квітня			
Початок періоду голодування рівняння			1 березня				
Кінець періоду голодування					12 квітня		
Середня температура талої води за період затоплення, °С					3,4		
Тривалість періоду голодування				43 доби			
Зрідженість посівів від вимокання				145.5			
Площа із загиблими від вимокання рослинами (%)				54 %			

Разом із явищем затоплення несприятливими наслідками впливу надмірного атмосферного зволоження є стікання зерна, яке відбувається за вологої дощової погоди внаслідок послаблення молекулярних зв'язків у остаточно несформованому зерні. Це явище може спостерігатись при щоденних опадах протягом 8 днів і більше кількістю більше 0,1 мм.

За даними Н.Камія зменшення врожаю за рахунок стікання зерна розраховується за виразом

$$\delta y = \sqrt{(n_{on} \delta)^2} \cdot 0,01 \quad , \quad (4.55)$$

де δy – зміна урожайності відносно її потенціалу у частках одиниці,
 n_{on} – кількість днів із щоденними опадами більше 0,1 мм.

Контрольні питання

1. Перелічіть властивості несприятливих явищ.
2. Які несприятливі явища наносять найбільший збиток?
3. Як впливають високі температури на врожай?
4. Як змінюється стан рослин під дією засух?
5. Як впливають засухи і суховії на фотосинтез?
6. Від чого залежить міра небезпечності засух і суховіїв?
7. Що означає вираз «запал зерна»?
8. Які фактори впливають на зменшення надходження води в рослини при заморозках?
9. В чому проявляється дія знижених температур на рослини?
10. Як впливають заморозки і знижені температури на фотосинтез та дихання?
11. Як впливає температура ґрунту на тривалість між фазних періодів?
12. Як впливає затоплення рослин на їх продуктивність?
13. Що називається біологічним максимумом опадів?

4.6.4 Вплив несприятливих умов перезимівлі на продуктивність рослин

Озимі культури (пшениця, жито, ячмінь) – однорітні рослини, зростання яких відбувається впродовж двох циклів, що відмежовані між собою досить тривалим відрізком часу (від 3 до 7 місяців) примусового спокою, який обумовлюється несприятливими умовами зимівлі. Перший цикл зростання озимих культур починається восени і продовжується до припинення вегетації. Другий цикл зростання починається навесні з відновлення вегетації рослин і закінчується збиранням врожаю.

Здатність озимих культур зберігатись у вегетативному стані восени і не розвивати вегетативних органів є адаптивною ознакою, яка сприяє їх

перезимівлі [15, 16, 18, 19, 21, 22, 23, 25–31]. Зменшення інтенсивності зростання наприкінці вегетації призводить до зміни напрямку та інтенсивності процесу обміну речовин, а також накопиченню інгібіторів зростання, що сприяють переходу рослин в стан зимового покою.

З усіх озимих зернових культур найбільш стійким до несприятливих умов зимівлі є жито. Це пояснюється менш вимогливим ставленням цієї культури до зовнішніх умов вирощування, більшою інтенсивністю кущистості та ін. Критична температура вимерзання різних сортів озимого жита в залежності від умов осінньої вегетації коливається у межах від -18 до -24°C . Тому воно має більш широке розповсюдження у районах з суворою зимою.

Зимостійкість рослин залежить від строків сівби, зволоження ґрунту, біологічних особливостей сортів озимих культур та агрометеорологічних умов впродовж осіннього періоду вегетації, наприкінці якого проходить процес загартування рослин. За даними І.І. Туманова процес загартування проходить впродовж двох фаз. Перша фаза протікає в умовах доброго освітлення та при поступовому зменшенні температури повітря до $0 - 6^{\circ}\text{C}$. Тривалість першої фази становить 12 – 14 днів. При добрих умовах проходження першої фази загартування озимі витримують зниження температури ґрунту на глибині вузла кушіння до -12°C .

Друга фаза загартування відбувається наприкінці осені – початку зими при середній за добу температурі повітря $-2 - -5^{\circ}\text{C}$. Вона може відбуватись уже під снігом. Тривалість другої фази становить 3 – 5 днів, інколи – 8 – 12. Після проходження другої фази загартування рослини накопичують найбільшу кількість цукру та здатні витримувати температури до $-18 - 22^{\circ}\text{C}$.

В залежності від морозостійкості висіяних сортів, агрометеорологічних умов осені, рельєфу полів зрідженість посівів взимку носить досить різноманітний характер. Вона може бути невеликою та рівномірно розповсюджуватись по полю. Це буде дифузійна зрідженість. Найчастіше вона викликається короткочасними сильними морозами при відсутності снігу або незначній його висоті у першу половину зими.

За більш суворих умов зимівлі (тривалих сильних морозів, тривалого залягання товстого шару снігу, наявності льодової кірки, застою талих вод та ін.) зрідженість посівів носить плямистий характер. Загальна площа пошкоджень у таких випадках залежить від інтенсивності та тривалості несприятливих умов. Такий вид зрідженості посівів озимих культур зустрічається найчастіше.

Третій тип зрідженості посівів спостерігається в роки з поганими умовами для перезимівлі рослин, коли майже всі рослини на полі гинуть. За великої зрідженості озимих проводиться підсів або повний пересів озимих культур ярими.

Основними причинами пошкодження рослин взимку є: вимерзання, випрівання, вимокання, випирання та видування рослин. Крім того, наявність притертої льодової кірки поглиблює дію всіх вищеназваних факторів. Загибель рослин взимку найчастіше відбувається під дією не одного, а декількох факторів. Так, в посушливих умовах поганий стан озимини навесні пояснюється не тільки умовами перезимівлі, а і великою зрідженістю посівів внаслідок слабого розвитку восени через нестачу вологи в ґрунті. В таких випадках дія зимових умов викликає ще більшу зрідженість посівів.

Комплексну характеристику зимостійкості становить коефіцієнт перезимівлі рослин, який визначається у вигляді відношення кількості рослин, що збереглися і відновили вегетацію $P_{зб}$ до кількості рослин на час припинення вегетації $P_{пв}$ та відображається сумарною зрідженістю навесні $U_{зр}$

$$U_{зр} = 100 - P_{зб} / P_{пв} \cdot 100 \quad (4.56)$$

Морозостійкість рослин визначається за допомогою коефіцієнта морозостійкості K_m , запропонованого В.М. Лічкакі, який визначається відношенням мінімальної температури ґрунту на глибині залягання вузла кушніння T_m до критичної температури вимерзання $T_{кр}$

$$K_m = T_m / T_{кр} \quad (4.57)$$

За допомогою коефіцієнта морозостійкості В.М. Лічкакі запропонував залежність загибелі посівів озимих культур (табл.4.31 та 4.32).

Таблиця 4.31 – Залежність зрідженості U (%) озимих культур до весни від коефіцієнта морозостійкості K .

Озима культура	Рівняння зв'язку	Помилка рівняння E_u , %	Кореляційне відношення η
Пшениця	$U = 77,94K^{4,79}$	± 17	$0,929 \pm 0,018$
Жито	$U = 47,90K^{3,69}$	± 14	$0,920 \pm 0,014$
Ячмінь	$U = 90,26K^{3,0}$	± 14	$0,954 \pm 0,034$

Для працівників сільського господарства важливе значення мають відомості не тільки про зрідженість посівів, але й про величину площі поля (%) можливого пересіву озимини, яка загинула зовсім або дуже пошкоджена.

Таблиця. 4.32 – Коефіцієнт морозонебезпечності K і відповідна йому зрідженість U озимих культур від вимерзання

Коефіцієнт морозонебезпечності K			Зрідженість U % на 1м^2
Озиме жито	Озима пшениця	Озимий ячмінь	
0,55 – 0,79	0,55 – 0,75	0,45 – 0,68	1 – 20
0,80 – 0,95	0,76 – 0,87	0,69 – 0,79	21 – 40
0,96 – 1,06	0,88 – 0,96	0,80 – 0,88	41 – 60
$\geq 1,07$	$\geq 0,97$	$\geq 0,89$	>60

Тому В.М. Лічкакі було отримане рівняння зв'язку між коефіцієнтом морозонебезпечності (K) та площею пересіву озимих, що загинули взимку (S) (табл. 4.33):

$$S = 0,479K + 158,5 \quad (4.58)$$

На перезимівлю озимих впливає також льодова кірка. Товщина і тривалість залягання льодової кірки визначають умови перезимівля озимих. Зрідженість озимих від льодової кірки описується емпіричними залежностями (табл. 4.34).

Таблиця 4.33 – Коефіцієнт морозонебезпечності K і відповідна йому площа можливого пересіву S озимої пшениці по району

K	S	K	S
0,51 – 0,60	6 – 10	0,81 – 0,90	29 – 46
0,61 – 0,70	11 – 17	0,91 – 1,0	47 – 76
0,71 – 0,80	18 – 20	>1.0	>76

Випрівання. Ще одним видом пошкодження озимих посівів є випрівання. Воно відбувається при тривалому (близько 80 – 100 днів) перебуванні рослин під потужним сніговим покривом без світла, при температурі близькій до $0\text{ }^\circ\text{C}$ і з неглибоким промерзанням ґрунту (до 50 см). Дослідженнями В.О. Мойсейчик встановлено, що ступінь пошкодження озимих культур від випрівання описується виразом

$$P = 123 - 5,4n, \quad (4.59)$$

де n - кількість декад зі сніговим покривом більше 30 см.

Таблиця 4. 34 – Залежності зрідженості посівів озимих культур від середньої товщини льодової кірки

Озима культура	Рівняння зв'язку	Номер рівняння	Помилка рівняння, E_u	Кореляційне відношення, η
Пшениця	$U = 1,8m^2 + 2,8m + 5,4$	(4.19)	± 10	$0,831 \pm 0,043$
Жито	$U = 2,03m^2 + 0,81m + 7,9$	(4.20)	± 10	$0,810 \pm 0,030$

* Примітка m – товщина льодової кірки, см з тривалістю залягання більше 4 декад

Крім того, вона визначила показники зміни стану озимих від випрівання (табл. 4.35).

Найбільше поширення і повторюваність має сумісний несприятливий вплив опадів та вологості ґрунту, особливо у перехідні сезони та зимовий період.

Таблиця 4. 35 – Зміна стану посівів озимих культур за агрометеорологічних умов випрівання (за В.О. Мойсейчик)

Стан посівів за середніми значеннями		Середня із мінімальних температур ґрунту на глибині 3 см протягом періоду з висотою снігу більше 30 см	Кількість декад зі сніговим покривом більше 30 см	Оцінка умов
зрідженості навесні, %	кількості стебел навесні відносно осені, %			
0 – 5	більше 130	-9, -10	0	дуже добрі
5 – 10	110 – 130	-7, -8	1 – 5	Добрі
10 – 30	60 – 110	-5, -6	6 – 10	Задовільні
30 – 50	40 – 60	-2, -4	11 – 14	Погані
Більше 50	менше 40	0, -1	більше 15	дуже погані

Багатокомпонентний вплив умов перезимівлі на стан озимих посівів відображається коефіцієнтом перезимівлі

$$K_n = P_{nv} / P_{nv} - (P_m + P_{лк} + P_{en} + P_{\epsilon}) / P_{nv} , \quad (4. 60)$$

де K_n – сукупний коефіцієнт перезимівлі;

P_{nv} – кількість рослин перед припиненням вегетації;

P_m – кількість рослин, що перезимували за умовами морозостійкості;

$P_{лк}$ – кількість рослин, що збереглися від впливу льодової кірки;

P_{en} – кількість рослин, що перенесли випрівання;

P_e – кількість рослин, що вижили після вимокання.

Узагальненою характеристикою коефіцієнта перезимівлі є зрідженість посівів. В.П. Дмитренко виконав типізацію умов зимівлі за різними підходами (табл. 4.36).

На основі коефіцієнта перезимівлі та типізації умов перезимівлі була розроблена загальна єдина оцінка стану озимих посівів сільськогосподарських культур (табл. 4.37).

Таблиця . 4.36 – Типізація умов зимівлі озимих культур за різними підходами (за В.П. Дмитренком)

Культура	Умови зимівлі			
	Сприятливі	Задовільні	Незадовільні	Згубні
Температура ґрунту на глибині вузла кущіння				
Озима пшениця	-1...-4 -5... -11	0...+1 -11 ...-15	-15... - 19	- 20
Суми від'ємних температур повітря за оптимальної кількості опадів за холодний період				
Озимий ячмінь	-100...-300	-300... - 450	-450...-750	> -750
Озима пшениця	-300...-450	-450... - 650	-650...- 1000	> -1000
Озиме жито	-500...- 650	-650...- 850	-850...-1200	> -1200
Коефіцієнт небезпечності В.М. Лічикакі				
Озимий ячмінь	0,45 – 0,70	0,60 – 0,75	0,75 – 0,90	> 0,90
Озима пшениця	0,45 – 0,70	0,70 – 0,85	0,85 – 1,00	> 0,90
Озиме жито	0,30 – 0,70	0,70 – 0,90	0,90 – 1,10	> 1,10
Коефіцієнт продуктивності культури за температурою повітря при оптимальній кількості опадів				
Усі разом	0,85 – 1,00	0,65 - 0,85	0,35 – 0,65	0,15 – 0,35
Зрідженість посівів, %				
Усі разом	0 – 15	15 – 35	35 - 65	> 65

Таким чином стан озимих культур після перезимівлі характеризується показниками: коефіцієнтом перезимівлі, весняною зрідженістю посівів за несприятливих умов, площ із загиблими посівами через інші причини.

Таблиця 4.37 – Загальна оцінка стану посівів сільськогосподарських культур (за В.П. Дмитренком)

Стан посіву	Ознаки стану посіву							
	бал стану	фенологічний склад	зрідженість, %		рівень висоти рослин	забур'яненість	пошкодження	відносна продуктивність
			восени	навесні				
Відмінний	5	Однорідний	0-10	0-15	Високий однорідний	Немає	Немає	Висока, близька за рівнем до господарського максимуму
Добрий	4	Однорідний	10-20	15-30	Вище середнього, однорідний	Немає або незначна до 1-2 балів	Немає або незначні із плямистістю не більше 20%	Вище середньої
Задовільний	3	Однорідний або частково неоднорідний	20-30	30-45	Середній неоднорідний	Немає або до 3 балів	Добре помітні, плямисті або від 20 до 50%	Середня між господарським максимумом та економічним мінімумом
Нерадовільний	2	Переважно неоднорідний	30-40	45-60	Нижче середнього, неоднорідний	Немає або до 3-4 балів	Значні, плямистість від 30 до 70 %	Менше середньої але більше економічного мінімуму
Дуже нерадовільний	1	Неоднорідний	40-50	60-75	Низький неоднорідний	Немає або до 4 балів	Досить значні	Близька до економічного мінімуму
Надзвичайний	0	Восени насіння не зійшло	>50	>75	-	-	Навесні рослини загинули	Економічно збиткова

Контрольні питання

1. Які основні пошкодження рослин взимку зменшують урожайність озимих культур?
2. Які умови спричиняють вимерзання озимих культур?
3. Що називається критичною температурою вимерзання?
4. Як визначається коефіцієнт морозонебезпечності В.М. Лічикакі?
5. Що характеризує коефіцієнт перезимівлі озимих культур?
6. Які умови спричиняють випрівання озимих культур?
7. Яка шкала оцінки озимих посівів від випрівання?
8. Які підходи використовуються при типізації умов перезимівлі озимих культур?
9. Як розраховується площа загиблених посівів від льодової кірки?

4.7 Кліматична складова врожаю

Роль клімату у формуванні кількості і якості урожаю – одне з головних питань у сільськогосподарському виробництві. Сільськогосподарській науці і виробникам сільськогосподарської продукції необхідне виявлення ролі клімату у пристосуванні, адаптації, оптимізації сільськогосподарського виробництва, структури галузей, їх продуктивності та ін.

Економіці країни необхідні уявлення щодо обсягів і географічних закономірностей розподілу кліматичних ресурсів, питомої ваги клімату у продуктивності галузей, співвідношення між корисними і небезпечними його властивостями.

В цілому під кліматом розуміють умовний багаторічний стан атмосфери і підстильної поверхні за сукупності географічних процесів, явищ, гідрометеорологічних величин, узагальнених певним математичним методом оцінки на визначеній частині земної кулі.

Вплив клімату на сільськогосподарське виробництво визначається поняттям *сільськогосподарська продуктивність клімату*. Сільськогосподарська продуктивність клімату певного регіону - це можливості атмосфери і підстильної поверхні за сукупністю кліматичних ресурсів забезпечувати певний рівень родючості ґрунту і врожаю сільськогосподарських культур. Сільськогосподарська продуктивність клімату має декілька складових: мезомасштабну (C_m), яка вміщує провідні кліматичні фактори; мікрокліматичну ($C_{мкм}$), яка змінює мезомасштабну під впливом особливостей рельєфу; та ту, що характеризує вплив екстремальних явищ на сільськогосподарське виробництво ($C_{екс}$)

$$C = C_m + C_{мкм} + C_{екс} \quad . \quad (4.61)$$

На кожну із складових сільськогосподарської плодотворності клімату впливають ще досить велика кількість другорядних факторів. Тому загальне поняття сільськогосподарської плодотворності клімату враховує рівень сонячної радіації, температури повітря, кількості опадів, мікрокліматичні поправки, шкодочинність несприятливих гідрометеорологічних явищ тощо.

Урожай культурних рослин є продуктом сукупної дії біологічного максимуму (Y_6), родючості ґрунту (F), плодотворності клімату (C) і антропогенного впливу (A)

$$Y = Y_6 \cdot FCA. \quad (4.62)$$

Схематично сукупний вплив усіх складових формування врожаю озимої пшениці впродовж тривалого періоду відображені на рис. 4.21.

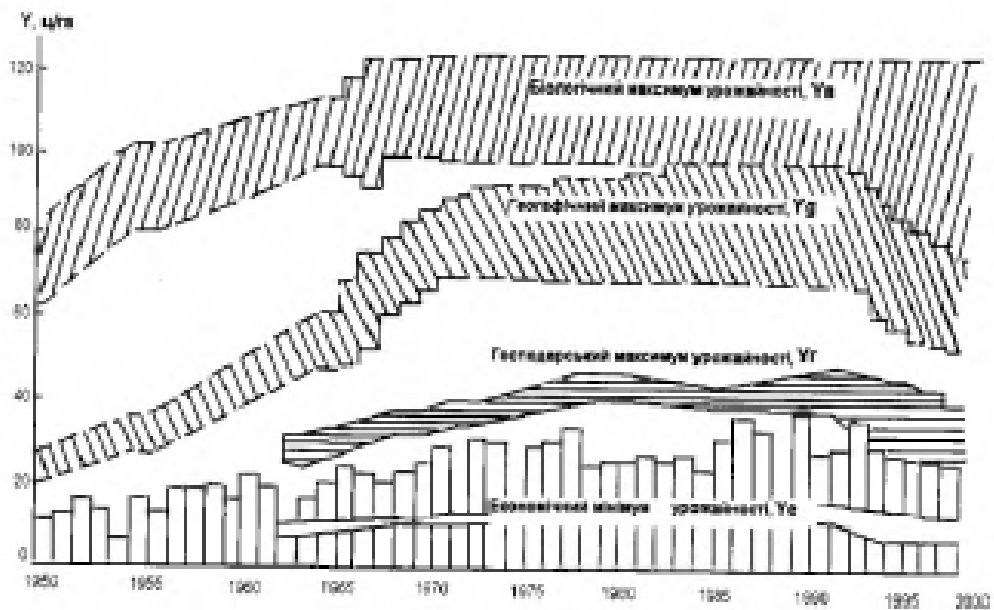


Рис. 4.21 – Динаміка урожайності озимої пшениці в Україні за системою оцінок її біологічного потенціалу, родючості ґрунту, плодотворності клімату і антропогенного впливу (за В.П. Дмитренком)

Але в схемі не відображені втрати врожаїв за рахунок впливу стихійних гідрометеорологічних явищ.

Загальні відомості про фактори формування врожаю дають можливість визначити бонітет ґрунту (B) [20].

$$B = FCA = Y : Y_0 \quad . \quad (4.63)$$

Описана формула поєднує властивості ґрунту, клімату і антропогенного фактору, а також свідчить про співвідношення між отриманою та потенційною урожайністю.

4.8 Родючість ґрунтів і урожай

Родючість ґрунту визначається його здатністю забезпечити рослини засвоєваними речовинами, вологою та іншими складовими формування врожаю.

Родючість ґрунту уявляє собою комплексну характеристику ґрунтової екосистеми за її біотичними та абіотичними складовими та їх взаємодією. Усі складові ґрунтової екосистеми постійно й безпосередньо взаємодіють між собою під впливом факторів зовнішнього середовища за процесами енерго і масообміну.

Родючість ґрунту поділяється на природну та ефективну. Природна родючість визначається загальним природним запасом поживних речовин, кількістю вологи та ін.

Ефективна родючість характеризується поєднанням природної і штучної родючості. Обидві складові родючості ґрунту формуються під впливом клімату і його провідних ресурсів – сонячної радіації, температури, кількості опадів та інших метеорологічних величин.

Ґрунт є середовищем, фізичні, хімічні та біологічні властивості якого разом з метеорологічним режимом і кліматом формують урожай сільськогосподарських культур. Хімічні і біологічні властивості ґрунтів визначаються кількістю провідних елементів живлення рослин, кількістю гумусу та мікроорганізмів. В роботах І.В. Тюрини та М.М. Кононової висвітлюються закономірності змін біологічних властивостей у різних типів ґрунтів (табл. 4.38).

Основні типи ґрунтів відрізняються вмістом в них гумусу, азоту, фосфору та їх щільністю.

Поширення кореневої системи рослин залежить від щільності ґрунту. В ущільненому та розпушеному ґрунтах створюються несприятливі умови для розвитку та проникнення коріння рослин.

Дослідженнями В.П. Дмитренка та А.Я. Короткової встановлено, що формування врожаю сільськогосподарських культур знаходиться в значній залежності від щільності ґрунтів (табл.4.39).

В цілому природна родючість ґрунту описується виразом

$$P_{кр} = (1 - W_n)d, \quad (4.64)$$

де W_n - повна вологомiсткiсть, до якої прирiвнюється пористiсть ґрунту;
 d – питома вага ґрунту.

Таблиця 4.38 - Бiологiчні властивостi рiзних типiв ґрунтiв

Типи ґрунтiв	Показники бiологiчних властивостей ґрунтiв (за I.В.Портновим i М.М. Коновою)			Щiльнiсть ґрунту, г/см ³ (за М.Г. Йовенком)
	Кiлькiсть мiкроорганiзмiв тис.на 1 г		Кiлькiсть гумусу в шарi 0-100 см, т/га	
	ґрунту	Гумусу		
Бурi i сiроземи	4490	224500	80	(1,35- 1,50)*
Каштановi	3482	104460	229	1,35 – 1,45
Чорноземи звичайнi	3630	54450	426	1,20 – 1,50
Пiдзолистi	1086	32580	101	1,48 – 1,70
Тундрово- глеєвi	2140	42900	70	(1,20-1,80)**

Примiтка: щiльнiсть наведена тiльки для сiроземiв(*) та мулистоглеєвих ґрунтiв (**).

Антропогенна складова визначається за кiлькiстю внесених добрив. Потенцiйна прибавка врожайностi озимої пшеницi при внесеннi добрив в областях України за звичайної технологiї становить 5 – 9 ц/га, за iнтенсивної - 8 – 12,5 ц/га.

Таблиця 4. 39 –Тiснота зв'язку мiж середньою врожайнiстю зернових культур i щiльнiстю метрового шару ґрунту (за В.П. Дмитренком та А.Я. Коротковою)

Культура	Кiлькiсть випадкiв	Коефiцiєнт кореляцiї
Овес	24	- 0,730
Озима пшениця	24	- 0,695
Гречка	17	- 0,671
Кукурудза	24	0,113
Ячмiнь	24	0,032
Зернобобовi	24	0,003
Просо	23	0,008

4.9 Агротехнічні основи рослинництва як фактор формування врожаю

4.9.1 Сівозміна – важливий біологічний і агроекологічний фактор рослинництва

Основою кожної системи виробництва рослинницької продукції є сівозміна. *Сівозміна* – це науково - обґрунтоване чергування культур та парів у просторі та часі на певній території щодо полів. Це провідна ланка зональної системи землеробства та ефективний абіотичний чинник.

Сівозміни не повинні порушувати біологічні вимоги до чергування в них культур. Сівозміни мають спеціалізацію, яка визначається за насиченням їх до оптимальних розмірів окремими культурами, міжгосподарською та внутрішньогосподарською спеціалізацією, різноякісністю ґрунтів, рівнем родючості та схильності до ерозії. Завдяки сівозмінам значно скорочується внесення кількості мінеральних добрив, зменшується кількість патогенів, зберігається волога та поживні речовини в ґрунті, покращується комплексна система боротьби з бур'янами. Крім того, у розмінах важлива роль відводиться проміжним посівам, які здатні зменшити забур'яненість на 30-40%.

Для більшості сільськогосподарських культур встановлено період повернення їх у сівозміні на попереднє поле. Для зернових культур він становить 2-3 роки, для цукрових буряків 3-4 роки, соняшнику – 8-10 років, льону, люпину – 6 – 7 років.

За основу організації сівозміни прийняті такі критерії:

1) регулювання режиму органічної речовини і мінеральних елементів живлення, 2) підтримання задовільного структурного стану ґрунту та інших його фізичних властивостей, 3) регулювання водного балансу агроценозів; 4) попередження процесів ерозії і дефляції; 5) регулювання фітосанітарного стану ґрунту. До проблемних факторів, які ускладнюють чергування культур відноситься поява шкідників і хвороб.

Структура посівних площ у сівозмінах визначається напрямом спеціалізації рослинництва та повинна мати економічне, екологічне та агрономічне обґрунтування.

Сівозміни в залежності від сільськогосподарського виробництва характеризуються *типом і видом*. Під *типом* сівозмін розуміють сівозміни різного виробничого призначення в залежності від виду основної продукції. Під *видом* сівозмін розуміють сівозміну певного типу, що різняться набором культур. За видами сівозміни бувають: *польовими, зерново-просапними, зерново – паровими, зерново-парово-просапними, просапними, плодозмінними, травопільними, сидеральними, кормовими, при фермерськими, луковопасовищними, ґрунтозахисними, овочевими та спеціальними*.

Рівень впровадження науково - обґрунтованих сівозмін в Україні невисокий, тому щорічно спостерігається значні втрати як ґрунту (до 500 млн.т), так і гумусу в ньому (до 10 млн.т.).

Для підвищення рівня ефективності сівозмін і умовах дефіциту органічних добрив слід використовувати побічну продукцію (солома, гичка тощо) як органічне добриво і насичувати сівозміни сидеральними культурами за рахунок проміжних посівів [78].

4.9.2 Система обробітку ґрунту

Окрім сівозмін на формування врожаїв сільськогосподарських культур впливає *система обробітку ґрунту*, яка дозволяє створювати оптимальні умови ґрунтового середовища, в якому розвивається рослина. Система обробітку ґрунту уявляє собою сукупність окремих заходів обробітку ґрунту в порядку їх виконання для знищення бур'янів і створення сприятливих умов для росту рослин. Вона включає основний обробіток ґрунту, перед- та післяпосівний обробіток.

Для забезпечення оптимальних умов росту і розвитку культурних рослин обробітком ґрунту вирішують такі основні задачі:

- 1) надання ґрунту сприятливої будови для підтримання оптимальних водно-повітряного, теплового і поживного режимів;
- 2) посилення коло обігу поживних речовин через залучення їх із більш глибоких шарів ґрунту;
- 3) активування мікробіологічних процесів у ґрунті;
- 4) знищення шкідливих організмів;
- 5) заглиблення добрив та рослинних решток на необхідну глибину;
- 6) запобігання ерозійним процесам;
- 7) унеможливлення життєздатності багаторічних культур у сівозміні, на цілині, пасовищах;
- 8) надання потрібних властивостей і стану верхньому шару ґрунту;
- 9) регулювання водного і сольового режимів ґрунту.

У системі заходів підвищення родючості ґрунту, культури землеробства та врожайності сільськогосподарських культур велике значення має мінімалізація обробітку ґрунту. *Мінімалізація обробітку* - новий, економічно й екологічно обґрунтований напрям у науці та практиці з обробітку ґрунту, що дає змогу зменшити його розпиленість, ущільнення, скоротити енергетичні, трудові, матеріальні витрати на механізовані польові роботи, зменшенням кількості та глибини обробітків, поєднанням операцій в одному робочому процесі, за екологічно обґрунтованого застосування засобів хімізації.

Багаторічними дослідженнями й виробничим досвідом доведено, що

мінімізація обробітку ґрунту доцільна за умов, коли обробіток не знижуватиме культуру землеробства, родючість ґрунту, врожайність культур і якість продукції.

Основними умовами ефективного застосування мінімального обробітку ґрунту є:

1) оптимальна будова орного шару ґрунту, коли тверда фаза і пористість співвідносяться як 50:50, що є основною умовою створення оптимальних водного, теплового, повітряного та поживного режимів ґрунту;

2) наявність в орному шарі ґрунту не менш як 40% агрономічно- цінної структури, за якої в ґрунті зберігається постійно розпушений стан орного шару, від чого значною мірою залежить водний та повітряний режими ґрунту;

3) забур'яненість полів, особливо багаторічними рослинами (коренепаростковими і кореневищними), виключає можливість і доцільність мінімізації обробітку ґрунту, однак окремі дослідження засвідчують, що система мінімального обробітку має певні переваги в боротьбі з бур'янами, зокрема з пирієм повзучим;

4) високий рівень агротехніки, чітка технологічна дисципліна на і кілях, своєчасне та якісне проведення всіх польових робіт,

5) науково обґрунтоване застосування інтегрованої системи захисту рослин;

6) врахування основних властивостей ґрунтів і біологічних вимог сільськогосподарських культур та програмування їх урожайності;

7) висока технічна озброєність господарств.

За **мінімального обробітку ґрунту** усувається потреба в найбільш енергоємних операціях - оранці та глибокому розпушуванні. Вони, як і поверхневий та мілкий обробіток ґрунту, поряд зі зміною будови орного шару негативно впливають на ґрунт. Щорічно на оранку в країні витрачається близько 3,3 млн. т нафтопродуктів, 40% енергетичних і 25% - трудових ресурсів. При вирощуванні зернових культур, під час підготовки ґрунту, догляду за посівами, збирання врожаю, сільськогосподарські машини проходять полем 5-15 разів, внаслідок чого ґрунт ущільнюється й розпиллюється, а в кінцевому підсумку знижується його родючість. Часте розпушування ґрунту активує біологічні процеси та мінералізацію органічних речовин, призводить до значних втрат розчинних сполук азоту, фосфору, калію, інших макро- і мікроелементів, знижує гуміфікацію, спричинює водну та вітрову ерозію [70].

4.9.3 Площа живлення та сівба польових культур

Рослини мають різну кореневу систему, надземну біомасу тому неоднаково використовують *площу живлення*. Величина площі живлення

забезпечує рослинам необхідний об'єм ґрунту для кореневої системи та простір, що забезпечує рослинам елементами для фотосинтетичної діяльності. Площа живлення характеризується густотою посіву, габітусом, коефіцієнтом корисної дії (ККД) ФАР. Ці величини регулюються нормою та способом посіву.

Рослини конкурують між собою за світло, вологу і поживні речовини. Залежно від виду, генотипу, вони мають різні за масою та об'ємом кореневу систему, наземну біомасу, тому неоднаково використовують відведену їм площу живлення. Величина площі живлення рослин, крім об'єму ґрунту, який охоплює коренева система рослин включає також певний наземний простір, що забезпечує рослини чинниками фотосинтетичної діяльності. В посіві рослини розміщені на такій відстані, що їхні корені й надземні органи проникають під сусідні рослини. У зв'язку з цим, розвиток рослин залежить не лише від забезпечення життєво необхідними екологічними чинниками (елементи живлення, світло, повітря тощо), а й від сусідніх із ними рослин.

Рослини реагують на зміну їх **густоти** двома **способами**: випадають з посівів або пластично змінюють свої ріст та розвиток. Неоднаковий характер розвитку різних органів і частин рослин в органогенезі під впливом різної густоти є наслідком конкуренції між ними. Отже, **зміною густоти** посіву можна впливати на темпи розвитку рослин, їх морфологію, час закладання генеративних органів та цвітіння і, залежно від біологічних властивостей рослин, прискорювати чи сповільнювати їх розвиток.

У загущених посівах рослинам не вистачає вологи та елементів живлення, особливо азоту. Оптимальне просторове розміщення рослин на площі живлення, дозволяє максимально реалізовувати їх потенціал продуктивності.

Що стосується **повітряно-світлового живлення**, то зміна припливу та засвоєння променистої енергії сонця також залежить від площі живлення рослин й істотно впливає на розвиток надземної маси, швидкість формування і величину фотосинтетичного апарату, інтенсивність і тривалість його роботи. В агроекосистемах їх продуктивність визначається коефіцієнтом корисної дії ФАР, який у ценозах високоврожайних культур може сягати 5-7%, за зрошення - до 10%. В Україні він у середньому не перевищує 2%, у кращих господарствах - 4%. Як за елементи живлення, так і за сонячну енергію рослини ведуть постійну конкурентну боротьбу, що залежить від вертикального розподілу фотоелементів. Навіть за оптимального освітлення, верхні листки рослин мають переваги, порівняно із середніми і нижніми, у використанні ФАР. Тому в одновидових, чистосорткових посівах, у разі їх загущення, відбувається випадання рослин, вони витягуються у висоту і часто вилягають. У разі зрідження посівів, значна

частина площі залишається вільною, і на ній швидко розвиваються бур'яни. З метою зменшення негативного впливу дефіциту світла й відповідного підвищення продуктивності фітоценозу, в рослинництві використовують багатоярусні агроєкосистеми (подібно до лучного й лісового ценозів), в яких по вертикальному профілю світлова ніша зайнята низькорослою і тіневитривалою рослинністю. Перехід від одновидових агроєкосистем до полікультурних - одне з перспективних завдань оптимізації використання ФАР.

Горизонтальний розподіл рослин на певній площі визначається їх густотою та габітусом і регулюється нормою висіву, способом посіву. Горизонтальний розподіл є характерною ознакою не лише для надземних органів рослин, а й для кореневої системи. Як правило, горизонтальні розміри кореневої системи рослин у декілька разів більші за їх надземну масу. Визначальними у формуванні кореневої системи є вид та сорт культурної рослини, величина та співвідношення екологічних чинників, їх співвідношення й коливання в процесі розвитку.

Оптимізація рослинного покриву території агрофітоценозу як виду, так і певного сорту, визначається нормою висіву насіння, способом і напрямком сівби, формуванням густоти посіву та іншими агротехнологічними заходами.

Спосіб сівби і густота посіву залежать від морфологічних особливостей сортів, тривалості періоду їх вегетації. Так, ранньостиглі сорти й гібриди кукурудзи, соняшнику, сої та інших культур, які розвивають меншу вегетативну масу, сіють густіше, а пізньостиглі - розріджено (табл.4.40). При розміщенні їх після кращих попередників, орієнтуються на верхню межу оптимальної густоти стояння, після інших - на нижню.

Таблиця 4.40 – Густота рослин кукурудзи для гібридів різних груп стиглості (тис.шт/га) (за В.В. Вовкодавом)

Група	Зона вирощування			
	Степ		Лісостеп	Полісся
	без зрошення	на зрошенні		
Дуже ранньостигла	65 – 70	70 - 75	65 – 70	65 – 70
Ранньостигла	55 – 50	60 - 65	60 – 65	60 – 65
Середньорання	45 – 50	55 – 6-	55 – 60	55 – 60
Середньостигла	35 – 40	45 - 50	50 – 55	-
Середньопізня	30 – 35	35 - 40	-	-
Пізньостигла	25 – 30	30 - 35	-	-
Дуже пізньостигла	25	30	-	-

Оптимальне просторове розміщення насіння, а відповідно й рослин (норми висіву), забезпечується способом посіву. Залежно від біологічних і морфологічних ознак, систем догляду за посівами, застосовують кілька способів посіву. Розрізняють *звичайний рядковий* спосіб сівби з міжряддями від 15 до 30 см, *вузькорядний* — з міжряддями 7,5- 12 см, *перехресний, діагонально-перехресний, широкорядний, гніздовий, квадратно-гніздовий, пунктирний, безрядковий, стрічковий, смуговий*.

Вагоме значення має також будова листкової поверхні. Сорти пшениці та гібриди кукурудзи з еректоїдним листям краще пропускають світло, відповідно густоту їх посіву збільшують.

У формуванні густоти рослинного покриву і розвитку кореневої системи, а отже, й продуктивності, велику роль відіграють добрива і регулятори росту. Використанням підвищених і високих доз добрив запобігають зрідженню рослин, пов'язаному з нестачею елементів живлення. Удобрені рослини краще розвиваються, їх кількість на одиниці площі може бути значно більшою, що позитивно позначається на врожаї. В останні роки почали широко застосовувати регулятори росту - речовини, які стимулюють ростові (збільшують кореневу й надземну масу) й активізують біохімічні процеси - фотосинтез, накопичення поживних речовин. Особливо широко їх використовують у біологічному землеробстві.

Строки сівби. Серед польових культур є озимі, ранні та пізні ярі, літні проміжні посіви, відповідно існують і різні **строки сівби**: осінні, весняні, літні. Для більшості культур, особливо зернових і технічних, велике значення має дотримання строків сівби. Від цього залежать їх ріст, розвиток, ураження хворобами, шкідниками, засміченість посівів бур'янами. Наприклад, надто ранні посіви озимої пшениці переростають восени, більше ушкоджуються хворобами і шкідниками. Те саме спостерігається при запізненні із сівбою ранніх ярих — ячменю, вівса, гороху та інших культур. Водночас, строки сівби кукурудзи, сої, соняшнику, суданської трави, люцерни, еспарцету, редьки олійної,

Дотримання строків сівби дозволяє керувати ростом і розвитком рослин їх продуктивністю. Так, наприклад ранні строки сівби кукурудзи (25 квітня) ранньостиглих і середньоранніх гібридів дає змогу підвищити збір сухої речовини на 14-15,1 ц/га (В.І. Дудченко та ін., 2006).

Глибина загортання насіння та норма висіву. Під час сівби насіння загортають у ґрунт на визначену глибину, щоб створити оптимальні умови для його проростання. Чим більше насіння одного і того самого сорту, тим глибше його можна загортати в ґрунт. Однак не існує прямої пропорційності між розмірами і глибиною загортання насіння, коли йдеться про різні культури. Так, насіння проса в 5-10 разів дрібніше від насіння пшениці, жита і тритикале, але глибина його загортання в ґрунт майже однакова. Глибина загортання насіння більшості культур не

перевищує 10 см (частіше 3-5 см). Навіть глибина садіння картоплі становить 8-10 см. На меншу глибину висівають насіння культур, які при проростанні виносять на поверхню сім'ядолі (льон, люпин, квасоля, цукрові буряки та ін.).

На легких ґрунтах глибину сівби збільшують, а на важких - зменшують. Визначальним фактором, від якого залежить глибина сівби, є вологість ґрунту. При пересиханні верхнього шару ґрунту, глибину загортання насіння збільшують. Насіння потрібно висівати на тверде ложе і вкривати нещільним ґрунтом, щоб забезпечити доступ повітря до нього. Велике значення має рівномірність глибини загортання насіння, тому що нерівномірне загортання насінневого матеріалу призводить до неодночасного з'явлення сходів, розвитку рослин і дозрівання.

Норма висіву — це кількість або маса насіння, яку висівають на площі 1 га. Кожний вид рослин, сорт, гібрид формує найвищу врожайність лише при певній кількості рослин на одиниці площі. Тому оптимальні площі живлення і норми висіву у різних культур неоднакові. Так, **площа живлення** рослин льону-довгунця становить 4-5 см², пшениці - близько 20 см², кукурудзи - близько 0,3 м². Відповідно на 1 га висівають 25-30 млн. насінин льону, 4-6 млн. — насінин пшениці та 40-80 тис. - насінин кукурудзи. **Норми висіву** залежать від біологічних особливостей сорту, родючості ґрунту, мети вирощування культури.

Оптимальні норми висіву визначають дослідним способом, а в кожному конкретному випадку вагову норму висіву розраховують за формулою:

$$M = H * A * 100 : ГП, ГП = Ч * С / 100, \quad (4.65)$$

де M - вагова норма висіву, кг/га;

H - норма висіву, млн. схожих насінин, на 1 га;

A - маса 1000 насінин, г;

$ГП$ - посівна (господарська) придатність насіння, %;

$Ч$ - чистота, %;

$С$ - схожість, %.

Для одержання рекомендованої густоти рослин перед збиранням урожаю, при сівбі норму висіву насіння збільшують: у степовій зоні на 10-15%, лісостеповій зоні — 15- 20%, а в поліській - на 20-25%.

4.9.4 Біоенергетичні основи рослинництва

Основою виробництва рослинницької продукції є перетворення сонячної енергії в енергію макроенергетичних зв'язків органічної речовини харчових продуктів через фотосинтез зелених рослин. Еколого-енергетичний аналіз сучасних агроєкосистем свідчить, що антропогенна

енергія в значній мірі визначає величину продуктивності агрофітоценозів. Однак, у випадку значних втрат органічної речовини в **агроландшафтах**, внаслідок дегуміфікації, а також ерозії ґрунтів, знижується запас вільної енергії, рухомих форм біогенних елементів, зменшується біологічна інформативність або біорізноманіття. В результаті агроекосистеми еволюціонують у бік деградації та нестабільності. При аналізі потоків антропогенної енергії в рослинництві необхідно врахувати не тільки витрати енергії на вирощування окремих культур, але й енергоємність відтворення ґрунтової родючості.

У сучасному сільськогосподарському виробництві велике значення має врахування енергозатрат в системі технологій вирощування сільськогосподарських культур, заготівлі, переробки, зберігання кормів. Враховують також вміст **валової** та **обмінної** енергії (BE і OE) в одиниці врожаю зерна, кормів, технічної сировини. Порівняння енергії, акумульованої в урожаї, із сукупною енергією, затраченою на вирощування і збирання врожаю, дає змогу об'єктивно оцінити технологію вирощування польових культур, а також заготівлю, приготування, зберігання кормів та ін.

Розуміння біоенергетичної суті виробництва продукції рослинництва, кількісне врахування і аналіз процесів перетворення потоків вільної енергії в агроекосистемах, дає можливість визначити перспективні напрямки розвитку агротехнологій. Технології виробництва сільськогосподарської продукції повинні забезпечувати найбільш повне використання природних агроенергетичних ресурсів, зменшити ріст питомих витрат антропогенної енергії на одиницю продукції та знижувати негативну дію на оточуюче середовище, в тому числі на родючість ґрунту.

Затрати сукупної енергії на вирощування культури, вміст енергії в урожаї, раціоні, тваринницькій продукції, залежно від кількості, прийнято виражати в кілоджоулях ($1 \text{ кДж} = \text{Дж} \cdot 10^3$), мегаджоулях ($1 \text{ МДж} = \text{Дж} \cdot 10^6$), гігаджоулях ($1 \text{ ГДж} = \text{Дж} \cdot 10^9$), тераджоулях ($1 \text{ ТДж} = \text{Дж} \cdot 10^{12}$).

При вирощуванні сільськогосподарських культур затрати і акумуляцію енергії здебільшого виражають в мега- і гігаджоулях (МДж, ГДж).

Сучасна (інтенсивна) технологія вирощування польових культур повинна бути енергозберігаючою, тобто такою, що забезпечує мінімальні затрати сукупної енергії на одержання одиниці продукції. У рослинництві на одиницю затраченої сукупної енергії, в процесі вирощування культури, припадає 2-7 і навіть більше одиниць енергії, акумульованої в урожаї.

Співвідношення валової енергії (BE) врожаю до кількості сукупної енергії (**OE**), затраченої на його вирощування, прийнято називати **енергетичним коефіцієнтом** (E_K) вирощування культури ($E_K = BE/OE$), а співвідношення обмінної енергії (**OE**) до сукупної (PE) - **коефіцієнтом енергетичної ефективності вирощування**

культури ($K_{e\phi} = OE/IE$) [].

Енергетичний коефіцієнт (E_k) характеризує біоенергетичну ефективність агросистеми вирощування культури. Коефіцієнт енергетичної ефективності ($K_{e\phi}$) частіше застосовують у кормовиробництві, як коефіцієнт енергетичної ефективності виробництва кормів.

Для розрахунків $K_{e\phi}$ треба зробити поправку на перетравність сухої маси врожаю, яку визначають за довідниками або розраховують за вмістом обмінної енергії в 1 кг сухої речовини корму, використовуючи формулу Ж.Аксельсона:

$$OE \text{ сухої речовини корму} = 13,1 (CP - K_l 1,05), \quad (4.66)$$

де 13,1 - коефіцієнт, який є добутком середнього показника перетравності сухої речовини (0,73) на середній показник валової енергії 1 кг сухої речовини корму, що дорівнює 18 МДж;

CP - І кг сухої речовини корму;

K_l — вміст клітковини в кормі (може коливатись в широких межах залежно від культури і фази збирання - 0,12- 0,32), значення його беруть у довідниках або визначають за результатами аналізу;

1,05 - поправочний коефіцієнт.

Для **прикладу** наведемо розрахунок вмісту обмінної енергії в 1 кг сухої маси люцерни:

$$OE_{\text{люцерни}} = 13Д(1 - 0,26 \cdot 1,05) = 9,33 \text{ МДж.}$$

Як бачимо, між показником валової енергії (BE) сухої речовини корму (в середньому дорівнює 18 мДж) і обмінної (OE) існує велика різниця (18 МДж - 9,33 МДж = 8,67 МДж).

Контрольні питання.

1. Дайте визначення плодотворності клімату.
2. Що визначає поняття «сільськогосподарська плодотворність» клімату?
3. Перелічіть складові урожаю?
4. Як визначається бонітет ґрунту?
5. Що розуміють під родючістю ґрунтів?
6. За рахунок чого визначається тип ґрунтів?
7. Що називається сівозміною?
8. Значення системи сівозмін та їх структура.
9. Які критерії прийняті при класифікації сівозмін?
10. Яке значення у формуванні врожаю має обробіток ґрунту?
11. Якими показниками характеризується площа живлення рослин?

- 12. Значення системи сівозмін для формування врожаю.*
- 12. Класифікація сівозмін.*
- 13. Значення системи обробітку ґрунту для формування врожаю.*
- 14. Основні умови ефективного застосування обробітку ґрунту.*
- 15. Мінімізація обробітку ґрунту.*
- 16. Як впливають густина стояння рослин та площі живлення на формування врожаю?*

5. ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

5.1. Загальна характеристика продукційного процесу

Продукційний процес рослин (ППР) – це сукупність окремих взаємозалежних процесів, з яких фундаментальними є фотосинтез, дихання і ріст, у ході яких відбувається формування урожаю (рис. 5.1). ППР залежить від умов зовнішнього середовища і сам перетворює середовище, в основному через архітектуру, газообмін і транспірацію фітоценозу.

Рослини, поглинаючи листками з атмосфери CO_2 і кореневою системою воду з ґрунту, створюють в процесі *фотосинтезу* під впливом енергії сонячної радіації органічну речовину у вигляді асимілятів. Одночасно відбувається транспірація, яка забезпечує за постачання рослин водою й елементам мінерального живлення і за регуляцію теплового режиму рослин. В залежності від інтенсивності ФАР, водного і температурного режиму, швидкості вітру, концентрації CO_2 у повітрі, родючості ґрунту і видових особливостей рослин процес фотосинтезу може відбуватись з більшою або меншою швидкістю.

Другий фундаментальний процес – *дихання* – забезпечує постачання енергією різних біохімічних процесів синтезу, пов'язаних з ростом, побудовою нових структурних елементів рослин і з транспортом речовин, а також підтримку живих структур органів рослин. При цьому витрачається органічна речовина, накопичена в органах рослин.

Третій фундаментальний процес *ріст*. Фотосинтез і ріст розглядаються як сполучені процеси. Енергетичне забезпечення ростової функції з боку фотосинтезу є неодмінною умовою росту. Система донорно-акцепторних відносин є основним проявом інтеграції фотосинтезу і росту на рівні цілого організму. Між донором і акцептором формуються тимчасові проміжні фонди асимілятів. Фонди можуть знаходитися в кожному органі, але більш мобільні з них, імовірно, знаходяться в листках і стеблах. Асиміляти, запасені на більш тривалий період, здебільшого накопичуються в коренях. В умовах екологічного стресу, коли пригнічується фотосинтез, величина фондів стає істотним фактором формування урожаю.

Фонди забезпечують часткову автономність функції фотосинтезу і росту. Можливий обмежений ріст без фотосинтезу за умови, що енергетичне постачання відбувається за рахунок запасних субстратів попереднього фотосинтезу. Таким шляхом ростуть паростки, пагони і листки з бруньок дерев, так відбувається і ріст у нічні години. Налив зерна

у зернових культур і формування бульб у картоплі здійснюється також не тільки за рахунок «свіжих» асимілятів, що утворюються в листках, але і шляхом використання фондів асимілятів.

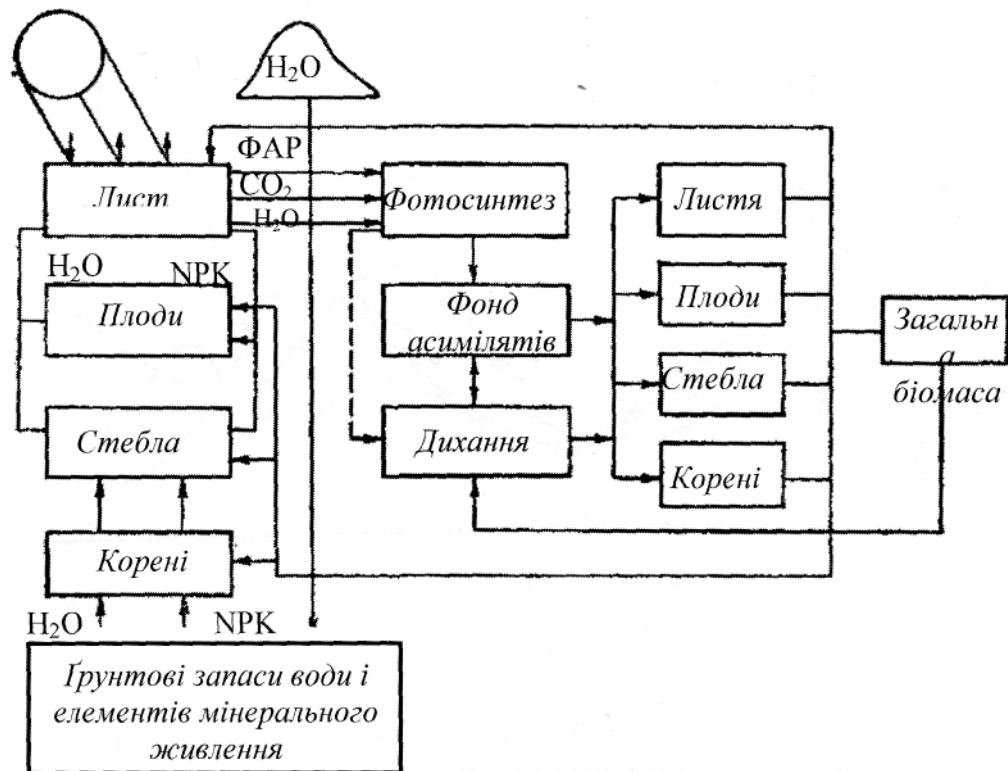


Рис. 5.1 – Блок-схема продукційного процесу (Х. Тоомінг, 1984)

Експериментальні і теоретичні дослідження і Дж.Х.М. Торнлі (1982) і Х. Молдау (1985) та ін. дозволили розширити наші знання про добову й онтогенетичну динаміку фондів.

Ріст – це складова частина продукційного процесу, який супроводжується збільшенням маси і розмірів органів, органел і живого організму в цілому.

Найбільш елементарний показник росту фітомаси – це *приріст*, тобто різниця між сухою фітомасою за визначений проміжок часу $M_2 - M_1$. Приріст сухої фітомаси не є вичерпною характеристикою при оцінці росту органів рослин, тому що не враховує хімічний склад фітомаси.

Приріст сухої маси відбувається за якийсь часовий інтервал Δt , тому вживається поняття *абсолютної швидкості росту*:

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \frac{M_2 - M_1}{t_2 - t_1}, \quad (5.1)$$

і відносного приросту:

$$R_r = \frac{M_2 - M_1}{\bar{M}(t_2 - t_1)}, \quad (5.2)$$

де \bar{M} – середня суха маса рослини за період $t_2 - t_1$.

За даними Р.М. Олійника (17) максимальні прирости загальної біомаси кукурудзи на зрошуваному полі досягають 430–460 кг/га за добу, на богарі – 130–208 кг/га за добу. Максимальні величини відносного приросту досягають 0,38 – 0,50 відн. од.

Дані, що наводяться на рис. 5.2, надають уявлення про вегетаційний хід відносних приростів біомаси озимої пшениці.

Динаміка площі листя характеризує роботу фотосинтетичного апарату протягом вегетаційного періоду. Посівами, що мають оптимальну структуру і добрий хід її розвитку і формування, вважаються такі, в яких площа листя швидко виростає до розмірів приблизно в 40 тис м²/га, потім довго, в залежності від тривалості вегетаційного періоду тієї чи іншої рослини, зберігається в активному стані на цьому рівні і, нарешті, значно зменшується або зовсім відмирає, віддаючи пластичні речовини на формування репродуктивних органів або тих, що запасують.

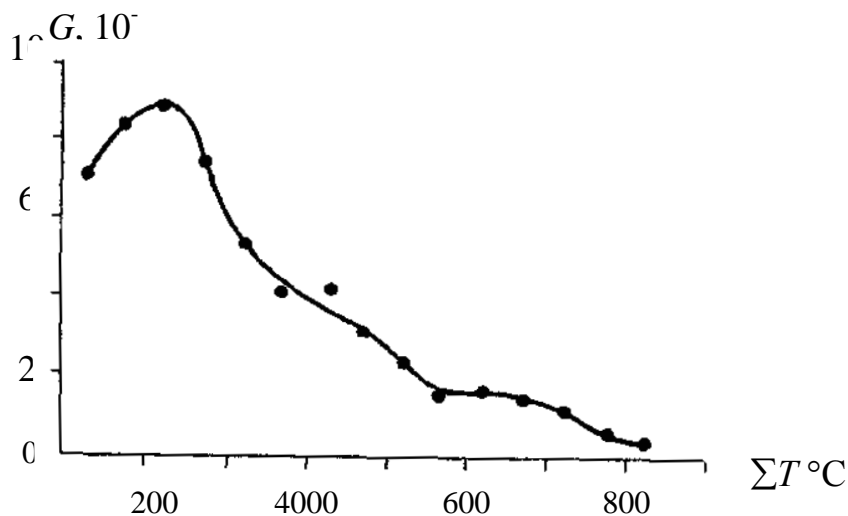


Рис. 5.2 – Динаміка відносної швидкості росту G (1/град.) рослин озимої пшениці Одеська 51 (В.С. Антоненко, 2002).

На рис. 5.3 схематично зображені оптимальні ходи росту площі листя для рослин з різною тривалістю вегетаційного періоду (криві 1а–2в). Криві 1а–1в означають кількість сонячної радіації (в процентах від падаючої), яку можуть поглинати посіви 1а–2в відповідно до ходів росту

в них площі листків. Як видно, у середньому за весь період вегетації такі посіви можуть поглинати до 50–60 % падаючої на них фотосинтетично активної радіації. Для кожного графіка ходу росту площі листків (1а–2в) дається відповідний йому показник фотосинтетичного потенціалу посівів. Зміст цього показника полягає в такому: робочою фотосинтетичною одиницею в посівах може вважатися 1 м² площі листків. За винятком витрат

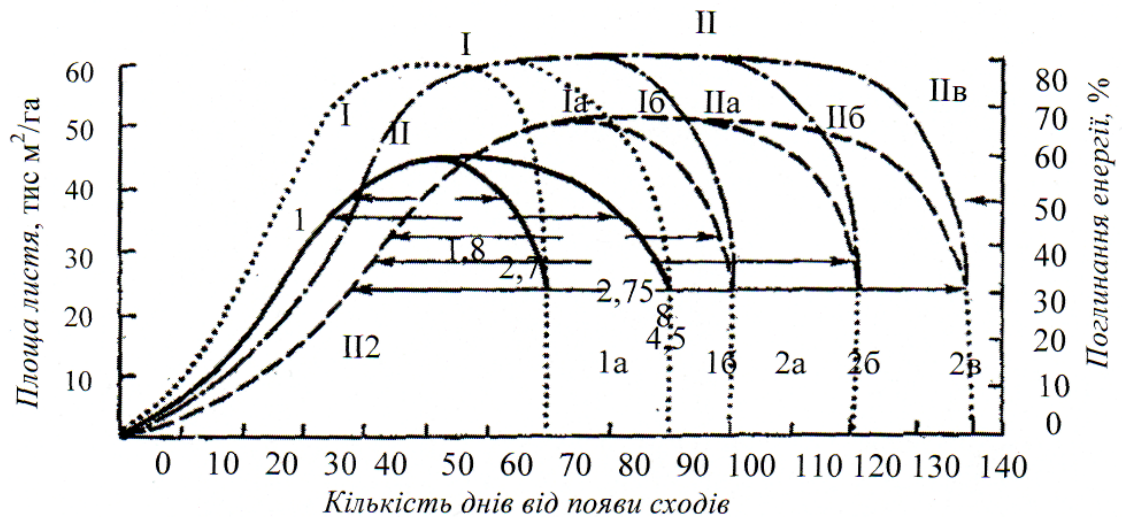


Рис. 5.3 – Оптимальні графіки росту площі листя у посівах рослин з різною тривалістю вегетаційного періоду (А.А. Ничипорович).

1а, 1б – з відносно коротким періодом вегетації; 2а, 2б, 2в – з довгим періодом. 1а, б; 2а, б, в – відповідні криві процентної кількості поглиненої посівами енергії сонячної радіації по мірі росту в них площі листя.

на дихання 1 м² в результаті фотосинтезу утворить за добу в середньому 4–7 г загальної сухої біомаси (однак ці показники можуть бути і значно більш високими). Інакше кажучи, одиницею міри фотосинтетичної роботи в посіві може вважатися робота 1 м² листків за добу.

Для характеристики тривалості фотосинтетичної роботи посіву протягом усього вегетаційного періоду або частини його запропоновано показник – *фотосинтетичний потенціал*, який виражається в (м² день)/га.

$$\Phi_n = \int_{t_1}^{t_2} L_0(t) dt, \quad (5.3)$$

Відповідно до визначення Φ_n , він розраховується як сума показників площі листя на гектар посіву за кожний день вегетаційного

періоду або окремі його відрізки. Підсумовуючи показники площі листя на гектар посіву за кожний день вегетаційного періоду, визначається кількість одиниць можливої фотосинтетичної роботи посіву за весь вегетаційний період або за яку-небудь його частину.

Асиміляційна поверхня пшениці визначається не тільки листовими пластинками, але й іншими асимілюючими хлорофілоносними органами (соломина з листовими піхвами і колосся). В.А. Кумаковим був запропонований метод оцінки внеску всіх асимілюючих органів у фотосинтетичній діяльності рослин пшениці. Він заснований на аналізі структури їхнього фотосинтетичного потенціалу (ФП), тобто сумарної асиміляційної поверхні за окремі періоди і за весь вегетаційний період. Підставою для застосування цього методу служить той факт, що з усіх фотосинтетичних показників урожай рослини тісніше всього корелює з потужністю асиміляційного апарата, тобто з величиною фотосинтетичного потенціалу.

Якщо результати визначення ФП окремих органів зобразити графічно (рис. 5.4), то можна ясно представити склад працюючого асиміляційного апарата за будь-який відрізок часу.

Відповідно до визначення Φ_n , він визначається як сума показників площі листя на гектар посіву за кожний день вегетаційного періоду або окремі його відрізки. Підсумовуючи показники площі листя на гектар посіву за кожний день вегетаційного періоду, визначається кількість одиниць можливої фотосинтетичної роботи посіву за весь вегетаційний період або за яку-небудь його частину.

Асиміляційна поверхня пшениці визначається не тільки листовими пластинками, але й іншими асимілюючими хлорофілоносними органами (соломина з листовими піхвами і колосся). В.А. Кумаковим був запропонований метод оцінки внеску всіх асимілюючих органів у фотосинтетичній діяльності рослин пшениці. Він заснований на аналізі структури їхнього фотосинтетичного потенціалу (ФП), тобто сумарної асиміляційної поверхні за окремі періоди і за весь вегетаційний період. Підставою для застосування цього методу служить той факт, що з усіх фотосинтетичних показників урожай рослини тісніше всього корелює з потужністю асиміляційного апарата, тобто з величиною фотосинтетичного потенціалу.

Якщо результати визначення ФП окремих органів зобразити графічно (рис. 5.4), то можна ясно представити склад працюючого асиміляційного апарата за будь-який відрізок часу.

Встановлено, що в цілому за вегетацію на долю листових пластинок приходить менше половини усього ФП головного пагона, а за період від колосіння до збирання частка листків лише незначно перевищує 1/4 ФП пагонів.

При аналізі приросту біомаси використовується і величина $E_{n,ф}$, яка

дорівнює

$$E_{n.ф} = \frac{1}{L_0} \cdot \frac{\Delta M}{\Delta t}, \quad (5.4)$$

де L_0 – середня сумарна площа листа рослини за період Δt .

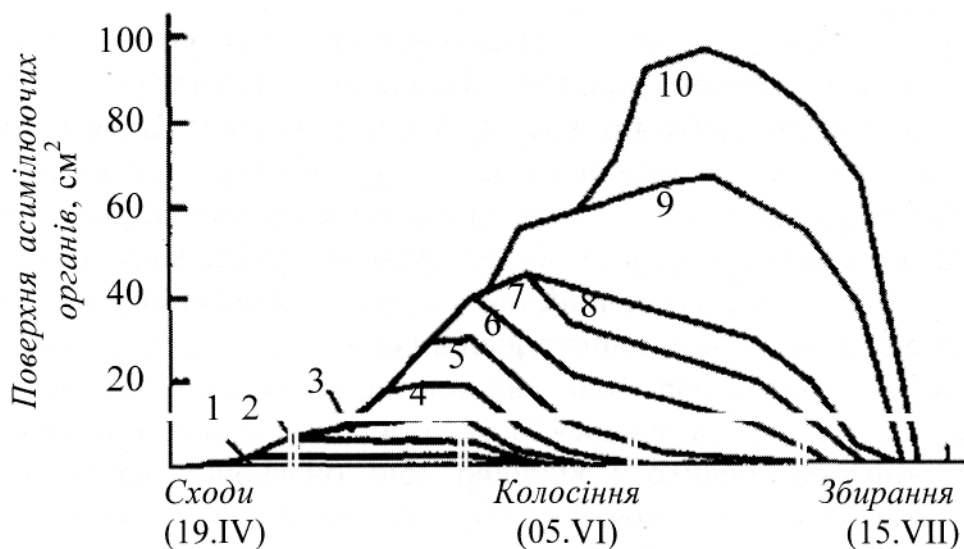


Рис. 5.4 – Структура ФП ярої пшениці сорту Альбідум 43 (Є.І. Кошкін, Г.Г. Гатауліна та ін., 2005).
1 – 8 листя, 9 – соломина, 10 – колос.

Величина $E_{n.ф}$ названа А.А. Ничипоровичем *чистою продуктивністю фотосинтезу посівів*. Вона широко використовується для характеристики фотосинтетичної активності листкової поверхні.

Вивченню чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) як важливої складової урожаю пшениці приділяється велика увага. У цього показника три основні переваги:

- він визначається за тривалі проміжки часу, протягом яких коливання, пов'язані з ростовим станом листя, ярусною мінливістю, короткочасними змінами погодних умов та інших причин, згладжуються й елемент випадковості зводиться до мінімуму;

- до вивчення залучається велика кількість рослин, що дозволяє одержувати статистично достовірні дані;

- визначення ЧПФ не вимагають газометричних приладів, як при вимірюванні інтенсивності фотосинтезу, і більш доступні в польових умовах. ЧПФ характеризує власне не фотосинтез у чистому вигляді, а добову різницю між фотосинтезом і диханням цілої рослини (не листка), віднесена до одиниці листкової поверхні.

Розрахунок ЧПФ широко використовують у дослідженнях, тому що він дає узагальнене і добре порівнюване по варіантах, фазах розвитку,

роках і т.д. уявлення про питому продуктивність асиміляційного апарата (рис.5.5).

З поліпшенням умов живлення і водопостачання пшениці підвищуються інтенсивність фотосинтезу і продуктивність рослин, що супроводжується збільшенням показників ЧПФ.

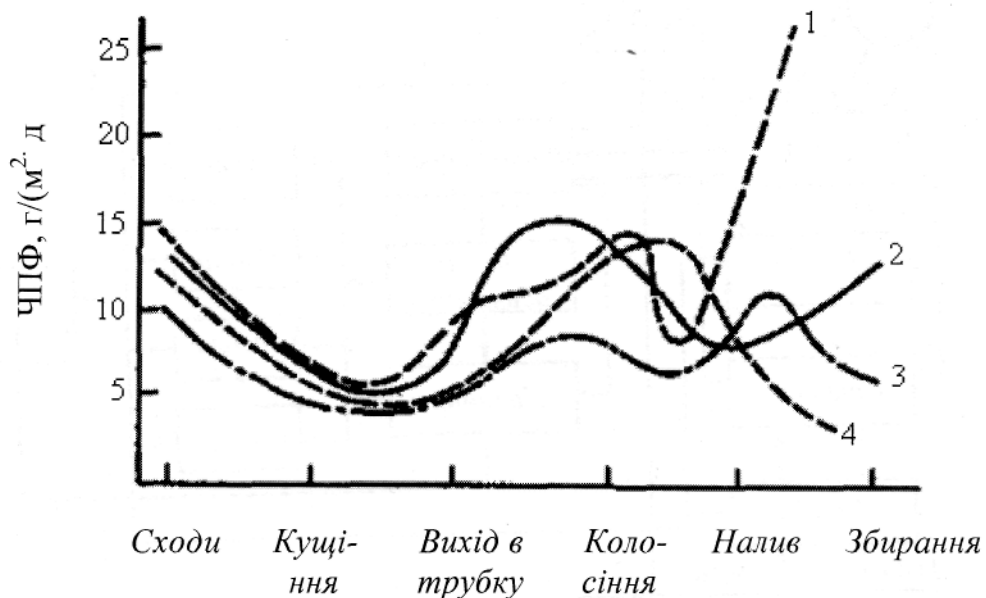


Рис.5.5 – Динаміка ЧПФ фаз розвитку ярої пшениці Саратовська 29 за чотири різних роки дослідження (Є.І. Кошкін, Г.Г. Гатауліна та ін., 2005).

В період вегетативного росту і при оптимальних умовах збільшення структурної маси відбувається пропорційно самій масі (стадія експонентного росту). Ріст окремих органів рослини в оптимальних умовах протягом всього онтогенезу має характерні для даного виду закономірності, задані генетичним кодом рослини. При недостатці якої-небудь фондової речовини ріст обмежений і пропорційний концентрації фондової речовини. При повних фондах лімітування росту фондами відсутнє.

Крім фондів вуглеводів і N, P, K, істотний вплив на ріст мають температура і водний режим рослин. Ріст відбувається у визначеному температурному інтервалі, а всередині цього інтервалу при оптимальній температурі ріст досягає максимальної швидкості.

При великих значеннях водного потенціалу φ_k k -го органа вода не лімітує його ріст, однак при погіршенні водного режиму рослин (φ_k зменшується) ріст буде загальмований і припиниться, якщо φ_k досягне деякого критичного значення $m_{kкр}$. З огляду на все вищевикладене, ріст структурної маси k -го органа рослини m_{sk} можна описати наступним емпіричним рівнянням

(3. Бихеле, Х. Молдау, Ю. Росс)

$$\frac{dm_{sk}}{d\tau} = \frac{g_k(t) f_T(T_k) f_W(k) m_{sk}}{1 + \frac{1}{a_C x_k^{(C)}} + \frac{1}{a_N x_k^{(N)}} + \frac{1}{a_P x_k^{(P)}} + \frac{1}{a_K x_k^{(K)}}}, \quad (5.5)$$

де $f_T(T_k)$ – температурна функція росту, причому $f_T = 0$ на крайніх точках температурного інтервалу росту і $f_T = 1$ при оптимальній температурі росту; функція $f_W(k)$ є спадною і враховує вплив водного режиму рослини на його ріст, причому $0 \leq f_W \leq 1$;

функція $g_k(\tau)$ визначає максимальну швидкість росту при відсутності лімітуючих факторів, і хід функції визначається генетичним кодом; функції f_T і f_W – безрозмірні; функція g_k виражена в 1/с;

$\frac{1}{a x_k^{(j)}}$ – члени, які характеризують залежність росту структурної маси від

концентрації фондів вуглеводів і N, P, K;

a_j – емпіричні постійні, виражені в грамах структурної маси × (грам фондової маси)⁻¹.

5.2. Ефективність використання сонячної радіації фітоценозами

Коефіцієнт ефективності фотосинтезу. Оскільки продуктивність поряд з фотосинтезом визначається також і дихальною компонентою, постає питання про взаємозв'язок сумарного газообміну з нагромадженням біомаси у рослин. Ступінь використання засвоєної CO₂ на побудову біомаси рослин характеризується *коефіцієнтом ефективності фотосинтезу* (K_{еф}). Він показує, яку кількість сухої біомаси рослина утворить протягом доби при засвоєнні одиниці (1 г, 1 кг) CO₂. Теоретично можливий K_{еф} дорівнює 0,68. За сприятливих умов значення K_{еф} може наближатися до 0,5, а за несприятливих – знижуватися до нуля або навіть бути негативним. Найчастіше величини K_{еф} коливаються, значно змінюючись в онтогенезі. Так, у ярової пшениці K_{еф} був максимальним у фазі кущіння – 0,42, а у фазі молочної стиглості він знизився до 0,08. Отже, ефективність фотосинтезу від колосіння до початку молочної стиглості знизилася більш ніж у 5 разів. У озимій пшениці K_{еф} в середньому за вегетацію становить 0,4–0,42.

Мінливість K_{еф} у ході вегетації може залежати також від неповного врахування біомаси в результаті втрат речовин, виділених рослинами через корені в процесі екзоосмосу, від утворення гелеподібних коренеобволікаючих чохлаів і від летучих газоподібних виділень. За розрахунками С.А. Самцевича, рослини озимій пшениці і кукурудзи за рахунок утворення гелеподібних речовин коренеобволікаючих чохлаів можуть виділити у ґрунт 70–125 ц/га сухої речовини. Величина втрат

визначається довжиною вегетаційного періоду й умовами вирощування.

Все це призводить до значних коливань ЧПФ і визначає невідповідність між інтенсивністю фотосинтезу, його добовою продуктивністю і біологічним урожаєм, а також між останніми і ЧПФ.

Коефіцієнт корисної дії фітоценозів. Ефективність використання сонячної радіації фітоценозами характеризується *коефіцієнтом корисної дії* (ККД), який визначається відношенням кількості енергії, запасеної в продуктах фотосинтезу або утвореної у фітомасі урожаю, до кількості поглиненої радіації

$$\eta = \frac{qY \cdot 100\%}{\sum Q_{\phi}}, \quad (5.6)$$

де q – калорійність рослини, кДж/г;

Y – біологічний урожай загальної сухої фітомаси, г/см²; $\sum Q_{\phi}$ – сума ФАР за вегетаційний період, МДж/м².

Якщо вивчається динаміка ККД, то під величиною Y варто мати на увазі приріст сухої фітомаси за розглянутий період, а під $\sum Q_{\phi}$ – суму ФАР за цей же період.

Середня калорійність сухої біомаси у різних видів рослин варіює в межах 16,7–20,5 кДж/г. Калорійність міняється в онтогенезі і для різних органів рослини вона різна. Калорійність листків кукурудзи знижується від 17,6 кДж/г на початку вегетаційного періоду до 10,5 кДж/г наприкінці.

В екстремальних умовах росту рослин калорійність вище, ніж за сприятливих умов, це пояснюється адаптацією рослин до умов навколишнього середовища.

ККД фітоценозу можна виразити як щодо падаючої, так і щодо поглиненої фітоценозом радіації. Вони пов'язані співвідношенням

$$\eta_n = a_n \eta_a, \quad (5.7)$$

де η_n – ККД, визначений щодо падаючої радіації; η_a – ККД щодо поглиненої радіації;

ККД поглиненої фітоценозом радіації характеризує, насамперед, фотосинтетичну активність і економічність дихання самих рослин. ККД щодо падаючої на рослинний покрив ФАР характеризує ефективність використання рослинами поверхні землі. У посівах сільськогосподарських культур ККД щодо падаючої ФАР характеризує ефективність агротехніки і якість експлуатації землі. Наприклад, якщо експеримент показує, що ККД відносно поглиненої ФАР високий, а відносно падаючої ФАР низький, то це означає, що рослини інтенсивно й ефективно фотосинтезують. Але їх мало на одиницю площі землі, тому значна частина падаючої ФАР на поверхню ґрунту некорисна для рослин. Отже, або норма сівби була

низькою, або фактори середовища перешкоджали збільшенню відносної площі листя рослинного покриву.

ККД посівів залежить від строків і густоти посіву, від кількості внесених мінеральних добрив, погодних умов і т.п. Спостерігається дуже велика зміна ККД окремих сільськогосподарських культур протягом вегетаційного періоду. Наприклад, ККД посіву кукурудзи відносно падаючої ФАР протягом вегетаційного періоду може змінюватися від 0,4 до 9,5 %. В особливо сприятливі для фотосинтезу періоди у поливних рослин кукурудзи ККД, розрахований для поглиненої ФАР, досягає 12,5 %. ККД прихідної ФАР впливає на формування урожаїв ярої й озимої пшениці в різних зонах країни в середньому за період вегетації варіює від 0,3 до 4 % (табл. 5.2).

В дуже засушливі роки ККД ФАР падає до 0,3 %. При достатній вологозабезпеченості на фоні різного мінерального живлення він складає 1–3 %, а при сполученні зрошення з мінеральним живленням – 3–4 %. З ростом ККД ФАР, як правило, збільшуються біологічні і господарські урожаї. Однак при високих урожаях біомаси $K_{зосн}$ трохи знижується. При цьому спостерігається зворотна залежність між величинами ККД ФАР і $K_{зосн}$.

У високопродуктивних сортів інтенсивного типу селекції академіка П.П. Лук'яненко, які мають високий вихід зерна (0,4–0,53) і зберігають його при зростаючих дозах добрив і водозабезпеченості, максимальні урожаї зерна в 70–80 ц/га і навіть більше 90 ц/га спостерігаються звичайно при біологічних урожаях 160–180 ц/га, тобто при ККД ФАР 3–4 %. Такі сорти мають великий потенціал урожайності і при подальшому збільшенні ККД ФАР і загальної біомаси можуть дати значну прибавку.

Теоретично можна одержувати урожаї з ККД прихідної ФАР 7–8 % і навіть 10 % (при оптимальному постачанні водою й елементами мінерального живлення). Це значить, що в районах, де прихід ФАР за період вегетації складає 2–3 млрд. ккал/га, урожай зерна пшениці може досягати 150 ц/га. Про реальність таких урожаях свідчать приклади створення у вітчизняній і світовій селекції низькорослих (короткостеблових) сортів пшениці інтенсивного типу, які дають 100 ц/га і вище. Що стосується теоретично можливих ККД ФАР, то вони складають 28–29 % по газообміну і 20–22 % по енергії, що запасується в біомасі. Все це свідчить про значні резерви збільшення урожайності культур.

Потенційний ККД C_3 -рослин за вегетаційний період складає близько 3 %; ККД C_4 -рослин досягає 5 %. ККД природних пасовищ, у яких переважають види з C_4 -циклом, як правило, не перевищують ККД пасовищ, які складаються з C_3 -рослин. У період максимальних приростів потенційний ККД по ФАР у C_3 -рослин складає 3–4 %, в окремих випадках досягає 9–11 %; ККД C_4 -рослин досягає 5–6 % і більше.

Таблиця 5.2 – Використання сонячної енергії (ФАР) посівами пшениці та її продуктивність (Є.І. Кошкін та ін., 2005)

ККД ФАР	$U_{\text{біолог}}$, ц/га	$U_{\text{госп}}$, ц/га	$K_{\text{госп}}$
Яра пшениця			
0,30	17,6	4,0	0,24
1,50	89,8	35,7	0,43
3,30	132,0	39,9	0,30
4,07	186,0	57,4	0,31
Озима пшениця			
0,90	58,8	18,5	0,31
1,50	98,5	32,4	0,39
2,83	141,0	49,3	0,35
3,43–3,67	215,0–230,0	67,3–69,4	0,25–0,28

Коефіцієнт господарської ефективності урожаю. Важливим показником продуктивності посівів сільськогосподарських культур є коефіцієнт господарської ефективності урожаю $K_{\text{госп}}$, який виражає відношення кількості сухої фітомаси господарської частини урожаю (зерно, початки, бульби і т.д.) до маси загальної сухої фітомаси. Коефіцієнт господарської ефективності залежить від сорту сільськогосподарських культур і агрометеорологічних умов. Наприклад, $K_{\text{госп}}$ озимої пшениці в умовах Полтавської області варіює від 13 до 53 %. З причин, що знижують $K_{\text{госп}}$, насамперед слід зазначити посуху і полягання рослин. При високій загальній продуктивності фотосинтезу і прирості загальної сухої фітомаси зниження $K_{\text{госп}}$ обумовлене погіршенням умов ФАР всередині посіву при інтенсивному вегетативному рості рослин, великою висотою рослин і недостатньою забезпеченістю рослин поживними речовинами при високій вологості ґрунту.

Мінеральні елементи при роздрібненому і диференціальному застосуванні підвищують $K_{\text{госп}}$ і якість урожаю. Спільне внесення азоту і фосфору, посилене фосфорне живлення, а також бор і марганець сприяють підвищенню $K_{\text{госп}}$, тоді як посилене азотне живлення і мідь знижують $K_{\text{госп}}$ окремих культур. Аналіз отриманих унікальних даних дослідів з озимим житом і пшеницею на Полтавській дослідній станції протягом 72 років дозволяє зробити деякі важливі висновки:

1) у ході селекції урожай як загальної сухої фітомаси, так і зерна поступово підвищується при цьому відзначається тенденція росту $K_{\text{госп}}$;

2) показник $K_{\text{госп}}$ знижується при дуже низькому і при досить високому нагромадженні фітомаси, однак при деякому середньому значенні фітомаси він досягає найбільшої величини (рис. 5.6).

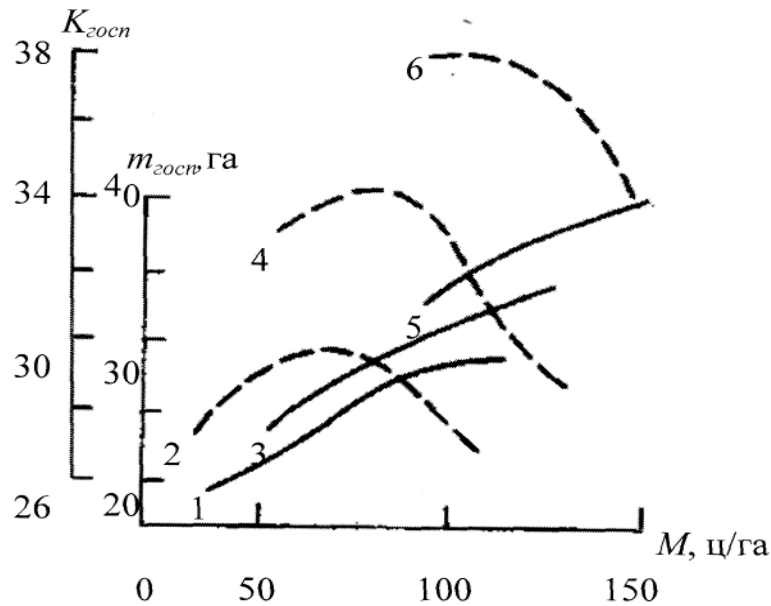


Рис. 5.6 – Зміна урожаю зерна $m_{госп}$ і показника $K_{госп}$ в залежності від урожаю сухої фітомаси озимої пшениці M в процесі сортозміни (Х. Тоомінг, 1977).

1, 3, 5 – маса зерна; 2, 4, 6 – показник $K_{госп}$;

1, 2 – досліді 1886-1907 рр.; 3, 4 – 1923-1928 рр.; 5, 6 – 1952-1962 рр.

Таким чином, високий рівень нагромадження загальної фітомаси є, з одного боку, базою для створення високого урожаю зерна, з іншого – часто веде до зниження коефіцієнта господарської ефективності посівів. Отже, рівень господарсько-цінної кошовної частини урожаю не завжди пропорційний значенню ККД, розрахованому по загальній сухій фітомасі. Тому поряд із ККД посіву η , розрахованою за загальною сухою фітомасою, іноді можна розглядати окремо ККД господарсько-цінної частини урожаю за вегетаційний період

$$\eta_{госп} = \frac{qm_{госп}}{\sum Q_{\phi}}, \quad (5.8)$$

де $m_{госп}$ – суха фітомаса господарсько-цінної частини урожаю;

q – калорійність урожаю;

$\sum Q_{\phi}$ – сума ФАР за вегетаційний період.

Таким чином $\eta_{госп}$ – це частка ФАР, запасена протягом вегетаційного періоду у фітомасі господарсько-цінних органів рослин. ККД, розрахований по загальній сухій фітомасі, і $\eta_{госп}$ пов'язані співвідношенням

$$\eta_{госп} = \eta K_{госп}. \quad (5.9)$$

Отже, щоб забезпечити високі значення ККД господарсько-цінної частини урожаю, виведення нових сортів і всі агротехнічні прийоми повинні бути спрямовані на забезпечення високого показника $K_{\text{госп.}}$ при високому значенні ККД загальної фітомаси посіву η .

ККД посіву в цілому значно нижче ККД листя. Природними причинами зниження ККД посівів є: 1) недостатня площа листової поверхні на початку вегетаційного періоду, що не дозволяє повністю використовувати падаючу на посів ФАР; 2) поступове збільшення в ході росту витрат на дихання фотосинтезуючих і нефотосинтезуючих органів рослин; 3) наявність листків, фотосинтетично неактивних через їхній вік; 4) наявність листків, не адаптованих до існуючих умов ФАР всередині посіву.

О.О. Ничипорович [61] посіви за їхніми середніми значеннями ККД підрозділив на такі групи:

Звичайні	0,5 – 1,5 %
хороші	1,5 – 3,0 %
рекордні	3,5 – 5,0 %
теоретично можливі	6,0 – 8,0 %

За оцінками Х. Тоомінга теоретично можливий ККД посіву ячменю трохи нижче передбачуваного Ничипоровичем і складає близько 5 %.

Узагальнені показники фотосинтетичної діяльності посівів. Розгляд основних факторів фотосинтетичної діяльності рослин у посівах показує, що будь-який агротехнічний прийом, спрямований на підвищення урожайності, ефективний у тому випадку, якщо він: 1) забезпечує швидкий розвиток і досягнення великих розмірів площі листя посіву; 2) підвищує продуктивність фотосинтезу листя; 3) зберігає їх в активному стані можливо більш тривалий період; 4) сприяє найкращому використанню продуктів фотосинтезу, спочатку на посиленій ріст живильних і провідних органів (листки, корені, стебла), а потім на ріст господарсько-цінних органів і нагромадження в них можливо більшої кількості, можливо кращої якості органічних речовин, які складають основний урожай рослин.

Ріст площі листя і чиста продуктивність фотосинтезу як основні показники фотосинтетичної діяльності рослин у посівах визначають величину добових приростів сухої речовини й у кінцевому рахунку урожай рослин.

Внесення добрив при оптимальній вологості ґрунту (не нижче 75 % від НВ) збільшує рівень показників фотосинтетичної діяльності посівів (табл.5.3). Внесення повної дози мінеральних добрив у сполучі з внесенням органічних добрив майже в 1,5–2 рази підвищує рівень показників фотосинтетичної діяльності посівів, що в кінцевому результаті дозволяє отримати максимальні урожаї

зерна.

Таблиця 5.3 – Вплив добрив, вологозарядкових поливів та зрошення на чисту продуктивність фотосинтезу кукурудзи, г/(м² д) (Г.П. Устенко, 1963).

Варіант досліджу	Густота посіву	Червень			Липень			Серпень		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Зимова вологозарядка										
Без добрив	40,0	8,0	7,8	8,6	6,9	4,2	1,4	1,1	5,1	4,6
Зимова вологозарядка і чотири вегетаційних поливи										
Гній 80 т + N ₃₀₀ P ₁₃₆	56,0	10,0	10,0	8,8	10,0	7,9	6,7	6,6	11,6	10,0
N ₃₀₀ H ₁₃₆	64,0	8,6	6,5	7,3	6,0	5,8	5,0	4,8	7,6	7,1
Чотири вегетаційних поливи										
N ₃₀₀ P ₁₃₆	68,0	10,0	9,3	8,3	8,9	6,2	5,0	3,6	9,7	7,4
N ₃₀₀ P ₁₇₆	68,0	10,0	9,3	8,3	8,9	6,2	5,0	5,2	10,3	7,6

5.3. Потенційний і дійсно можливий урожай посівів

А.А. Ничипорович у 50-і роки минулого століття сформулював основи теорії високої продуктивності посівів сільськогосподарських культур. Він запропонував рівняння зв'язку між фотосинтезом і нагромадженням органічної речовини в динаміці формування не тільки біологічного $U_{біол}$ але і господарського $U_{госп}$ урожаю в агрофітоценозі. А.А. Ничипорович ввів важливі елементи рівняння – коефіцієнт ефективності фотосинтезу K_{ef} і коефіцієнт господарської ефективності $K_{госп}$

$$\hat{O}_{\hat{a}\hat{t}\hat{n}\hat{i}} = \frac{\sum (\hat{O}_{\hat{N}\hat{i}} L K_{\hat{a}\hat{o}} \hat{E}_{\hat{a}\hat{t}\hat{n}\hat{i}})_{1,2,3,\dots,n}}{100000} \quad (5.10)$$

де Φ_{CO_2} – денна продуктивність фотосинтезу;

L – площа або індекс листової поверхні;

K_{ef} – коефіцієнт ефективності фотосинтезу;

$K_{госп}$ – коефіцієнт господарської ефективності;

n – час активної роботи фотосинтетичного апарата.

Таким чином, найвищі урожаї можуть бути отримані при інтенсивному рості розмірів площі листя рослин в агрофітоценозі, при найбільшому часі активної роботи фотосинтетичного апарата протягом

кожної доби і вегетаційного періоду, тобто при найбільш високих значеннях фотосинтетичних потенціалів, при найбільш високих сумах денного засвоєння CO_2 , а також високих коефіцієнтах ефективності фотосинтезу. Отже, всі агротехнічні заходи, включаючи використання добрив, поливи і т.п., а також селекційно-генетичні заходи повинні бути направлені на підтримку оптимального розвитку указаних процесів і узгодження процесів фотосинтетичного і дихального метаболізму.

На основі досліджень фотосинтетичної продуктивності сільськогосподарських культур та природних фітоценозів Х. Тоомінг [93] сформулював концепцію максимальної продуктивності посівів.

Відповідно до принципу максимальної продуктивності, адаптація рослин і фітоценозу спрямована на забезпечення максимально можливого газообміну CO_2 в даних умовах середовища, тобто

$$F_c(L_0, t) \rightarrow \max. \quad (5.11)$$

Це відносний максимум газообміну CO_2 , тобто рівень, який забезпечено на даному етапі еволюції структурами і функціями рослин і існуючими умовами середовища. Максимум газообміну може виявитися дуже високим, наприклад у C_4 -рослин, при достатній вологозабезпеченості і високому приході ФАР. Максимальний рівень газообміну може виявитися і надзвичайно низьким, наприклад у пустелях або під лісом. У таких умовах газообмін CO_2 тимчасово може мати навіть негативні значення, але все-таки максимальні для існуючих умов середовища.

Для оцінки потенційної продуктивності сільськогосподарських культур Х. Тоомінг (1984 р.) запропонував *метод еталонних урожаїв*, що є логічним виходом принципу максимальної продуктивності. Метод еталонних урожаїв розглядає і порівнює різні категорії урожаїв: потенційний урожай ПУ, дійсно можливий урожай ДМУ і урожай у виробництві УВ. Перший з них (ПУ) – це урожай сорту в ідеальних метеорологічних умовах, він визначається приходом ФАР, біологічними властивостями культур і сортів. Другий урожай (ДМУ) – це максимально можливий урожай культури або сорту в існуючих метеорологічних і ґрунтових умовах. ПУ – це абстрактне поняття, тому що не цілком ясно, які метеорологічні умови є ідеальними для формування урожаю культури або сорту. ПУ можна представити як урожай, що формувався в умовах оптимуму водно-теплового режиму. На даному етапі розглядаємо в основному ПУ і ДМУ за ідеальних ґрунтових умов. Дослідження еталонних урожаїв у такому випадку дозволяє з'ясувати їхні максимально можливі значення, вивчати вплив погодних і кліматичних умов на ДМУ. ДМУ в ідеальних ґрунтових умовах у роботах Н.Ф. Бондаренко названий також кліматично забезпеченим

урожаєм (КУ). При визначенні ґрунтової родючості в першому наближенні ПУ і ДМУ для ідеальних ґрунтових умов можна помножити на бал ґрунту, нормований на одиницю.

Незважаючи на деяку абстрактність, поняття ПУ і ДМУ виявляються дуже корисними при вирішенні ряду задач сільськогосподарської науки і виробництва. ПУ – це рівень урожаю, до якого варто прагнути, узгоджуючи потреби рослин з умовами середовища шляхом агротехнічних заходів, меліорації земель, районування культур і сортів відповідно до клімату і мікроклімату. Підвищувати ж рівень ПУ можна шляхом селекції. ДМУ – це рівень урожаю, до якого варто прагнути при програмуванні урожаїв.

Потенційний урожай посівів. При розробці принципів максимального використання ФАР і програмування урожайності посівів сільськогосподарських культур, насамперед, слід уточнити значення теоретично максимально можливого урожаю. При цьому доцільно використовувати поняття *потенційний урожай* (ПУ). ПУ – це значення урожаю, що забезпечується приходом енергії ФАР при оптимальному режимі метеорологічних факторів протягом всього вегетаційного періоду. ПУ загальної сухої фітомаси (г/см²) можна розрахувати за формулою

$$Y_{nom} = \int_0^{\tau_0} \frac{\eta_{nom}(t)}{q(t)} Q_{\phi}(t) dt, \quad (5.12)$$

де $\eta_{nom}(t)$ – функція (хід) потенційного ККД посіву протягом вегетаційного періоду;

$q(t)$ – калорійність рослин, кДж/м;

$Q_{\phi}(t)$ – функція денних сум ФАР протягом вегетаційного періоду, МДж/м²;

τ_0 – тривалість вегетаційного періоду, дні.

Потенційний урожай загальної сухої фітомаси можна приблизно розрахувати на підставі середнього за вегетаційний період потенційного ККД

$$Y_{nom} = \frac{\eta_{nom} \sum Q_{\phi}}{q}, \quad (5.13)$$

де η_{nom} – середній за вегетаційний період потенційний ККД; $\sum Q_{\phi}$ – прихід ФАР за вегетаційний період.

ПУ господарсько-цінних органів (зерна, бульб картоплі та ін.) розраховується з використанням множника K_{zocn} . ПУ залежить не тільки від сум ФАР, але і від ходу потенційного ККД посіву протягом вегетаційного періоду. Потенційний ККД посіву – це максимальний ККД посіву, який забезпечений біологічними властивостями сорту, сучасною агротехнікою і рівнем родючості ґрунту в оптимальних для даного сорту метеорологічних умовах. Отже, при незмінному приході ФАР ПУ посівів залежить від біологічних властивостей культур і сортів, а також від

родючості ґрунту, що відбиваються на ККД.

Значення потенційного ККД і ПУ непостійні. У зв'язку з інтенсифікацією сільськогосподарського виробництва, виведенням нових сортів, удосконаленням агротехніки і збільшенням доз добрив потенційний ККД і ПУ зростають.

Дійсно можливий урожай – це урожай, який визначається значенням ПУ і лімітується дією режиму метеорологічних факторів протягом вегетації. Дійсно можливий урожай (ДМУ) відрізняється від ПУ тим більше, чим більше метеорологічні фактори відрізняються від оптимальних.

У першому наближенні можна ігнорувати взаємозв'язком впливу метеорологічних факторів на урожай і виразити ДМУ формулою

$$Y_{ДМУ} = Y_{ном} F_1(f_1) F_2(f_2) \dots F_k(f_k), \quad (5.14)$$

де $Y_{ДМУ}$ – дійсно можливий максимальний урожай;

$F_i(f_i)$ – функція, що відображає залежність урожаю від фактора f_i .

Задача агротехніки, меліорації, районування культур, селекції і розробки принципів підвищення ефективності використання посівами ФАР є зменшення різниці між $Y_{ДМУ}$ і $Y_{ном}$, тобто зменшити різницю

$$\Delta Y = Y_{ном} - Y_{ДМУ} = Y_{ном} [1 - \prod_{i=1}^k F_i(f_s)] \quad (5.15)$$

Іншими словами, ця різниця визначає максимальний приріст урожаю, якщо вдається оптимізувати фактор f_i .

Головною передумовою для одержання високого урожаю, близького до ПУ, є оптимальність водного режиму в посівах. Як функцію зниження урожаю водним дефіцитом можна використовувати відношення

$$F_1 = E/E_0 \quad (5.16)$$

де F_1 – функція зниження урожаю водним дефіцитом, що у даному випадку представляє собою коефіцієнт ґрунтового-атмосферного зволоження;

E – сумарне випаровування рослинністю; E_0 – випаровуваність рослинності.

За умови $E=E_0$ водний режим посіву можна вважати оптимальним. Якщо $E < E_0$, то урожай лімітується водним дефіцитом.

На підставі формул (5.8) і (5.16) можна записати

$$Y_{ДМУ} = Y_{ном} E / E_0. \quad (5.17)$$

Включаючи сюди вираз (5.4), отримуємо

$$Y_{ДМУ} = \eta_{nom} E \sum Q_{\phi} / q E_0. \quad (5.18)$$

Недобір урожаю через водний дефіцит $\Delta E = E_0 - E$ можна визначити за формулою

$$Y = Y_{nom} - Y_{ДМУ} = Y_{nom} (1 - E / E_0) \quad (5.19)$$

Або

$$\Delta Y = \eta / q \sum Q_{\phi} (1 - E / E_0). \quad (5.20)$$

На основі формул (5.18)–(5.20) можна оцінити дійсно можливі урожаї і урожай, недоодержаний через дефіцит опадів, якщо $E \leq E_0$.

Розгляд цих формул показує, що втрати урожаю через водний дефіцит зростають з підвищенням ПУ і ККД посіву.

5.4 Рівняння росту і функції розподілу асимілятів

Для опису кількісного росту (збільшення згодом) сухої фітомаси рослини довгий час використовувалися емпіричні криві росту. Як правило, вони мали сигмовидний вигляд, що описується таким рівнянням

$$\frac{1}{m_p} \frac{dm_p}{d} = k(m'_p - m_p), \quad (5.21)$$

де m_p – фітомаса рослини в момент часу; m'_p – остаточна маса рослини при; k – постійна.

Значення рівнянь полягало в основному в можливості апроксимувати ріст фітомаси рослин математичним виразом. Але вони не дозволяли розкрити й аналізувати сутність росту рослин.

Принципово нове балансове рівняння запропоновано Л.О. Івановим у 1946 р., яке зв'язує фотосинтез і дихання з нагромадженням загальної сухої фітомаси

$$M + \Delta m_{on} = \Phi L \tau - R M_1 \tau_1, \quad (5.22)$$

де M – суха маса всієї рослини за період, що враховується; m_{on} – маса

опалих за цей час частин;

Φ – інтенсивність фотосинтезу;

L – робоча поверхня або маса;

t – робочий час;

R – інтенсивність дихання;

M_1 – дихаюча маса;

τ_1 – час дихання.

Рівняння Іванова показує, що урожай визначається балансом

фотосинтезу і дихання, тобто газообміном. Крім того, це рівняння враховує роль асимілюючої поверхні і тривалості її роботи в нагромадженні урожаю. Таким чином, рівняння (5.22) стало основою при початку нового етапу в кількісному описі росту рослин.

Фізіологічно обґрунтоване рівняння росту запропоноване Давідсоном і Філіппом

$$\frac{dM}{dt} = \varepsilon (\bar{\Phi} - \bar{R}), \quad (5.23)$$

де $\bar{\Phi}$ – сумарний фотосинтез рослини; \bar{R} – сумарне дихання рослини; ε – коефіцієнт переходу від маси засвоєного двоокису вуглецю до сухої фітомаси. Якщо первинними продуктами фотосинтезу є вуглеводи, то $\varepsilon = 0,67$ (г сухої маси/г CO_2).

Рівняння Давідсона і Філіпа в принципі мало відрізняється від рівняння Іванова, але воно представлено математично в більш загальному вигляді і, власне кажучи, є елементарною динамічною моделлю.

Істотним кроком для подальшого розвитку математичного опису росту з'явилися роботи Ю. Росса (1968). Його система рівнянь росту послужила основою для інтенсивного розвитку динамічного моделювання продукційного процесу і стала до цього часу загальновизнаною. Запишемо запропоновану Россом систему диференціальних рівнянь для опису росту окремих органів рослин

$$\frac{dm_j}{dt} = \varepsilon_{\Phi} \sum_{i=1}^4 A_{ij} \bar{\Phi}_{ci} - \varepsilon_R \sum_{i=1}^4 B_{ij}, \quad (5.24)$$

де i і j позначають органи рослини ($i=1$ – листки, $i=2$ – стебла, стовбури, $i=3$ – корені, $i=4$ – репродуктивні органи);

m_j – суха маса органа j ;

ε_{Φ} – коефіцієнт ефективності фотосинтезу, г· сухої маси/г· CO_2 ; ε_R – коефіцієнт ефективності дихання;

$\bar{\Phi}_{ci}$ – сумарний фотосинтез органа i за добу, г· CO_2 /(д. росл);

\bar{R}_{cj} – сумарне дихання органа j за добу;

V – втрати сухої фітомаси за добу внаслідок опадів, г/(д. росл); M – сумарна суха маса рослин;

A_{ij} – частка створених за добу в i -му органі рослини «свіжих» асимілятів, які відтікають протягом доби в j -й орган;

B_{ij} – обмін «старих» асимілятів (г/д.) між i -м і j -м органами, віднесений до 1 г сухої фітомаси цілої рослини;

A_{ij} і B_{ij} представляють у вигляді «ростових матриць».

У спрощеному випадку, коли основними фотосинтезуючими органами є листки, замість "ростових матриць" для періоду вегетативного росту

розглядаються функції вегетативного росту A_j , а для періоду репродуктивного росту – функції репродуктивного росту або так названі функції притоку – відтоку B_j .

Рівняння росту для j -го органа тоді записується у вигляді

$$\frac{\Delta m_j}{\Delta t} = A_j \frac{\Delta M}{\Delta t}, \quad \text{або} \quad \frac{\Delta m_j}{\Delta M} = A_j. \quad (5.25)$$

Звідси стає ясным значення функції A_j – вона визначає частку від приросту всієї рослини M/t , яка в даний момент часу приходить на приріст j -го органа. Функцію росту Монсі і Мурата називають *відношенням розподілу асимілятів*.

Протягом онтогенезу розвиток окремих органів відбувається по-різному, тому $A_j(t)$ змінюється в часі. Крім того, $A_j(t)$ залежить від погодних умов, які впливаючи на $A_j(t)$, можуть впливати на весь вигляд рослини.

Тільки в період репродуктивного росту i

$$\frac{\Delta m_j}{\Delta t} = MB_j, \quad (5.26)$$

звідки виходить, що функція B_j визначає частку від усієї фітомаси, яка переміщається у вигляді «старих», запасених асимілятів з інших органів у j -й орган. Якщо $B_j > 0$, то відбувається притік асимілятів у j -й орган, якщо ж $B_j < 0$, то, навпаки, асиміляти відтікають з j -го органа в інші органи. Таким чином, функції A_j і B_j окремих органів рослини характеризують внутрішні закономірності росту, розкривають характер загального приросту по окремих органах.

Виходячи з припущення, що відтік асимілятів з j -го органа пропорційний масі живої частини m_j цього органа, Е.П. Галямін (запропонував функцію репродуктивного росту визначати за виразом

$$b_j = \frac{m_j}{t} \frac{1}{\tilde{m}_j}, \quad (5.27)$$

де m – біомаса, у складі якої є компоненти, що здійснюють і регулюють обмін речовин, називається *функціонуючою біомасою* (А.М. Польовий, 1979). Її кількість оцінюється на основі використання універсального закону старіння біологічних систем.

Для періоду активного росту вся біомаса є функціонуючою, отже, приріст загальної і функціонуючої біомаси однаковий

$$\frac{\Delta \tilde{m}_j}{\Delta t} = \frac{\Delta m_j}{\Delta t} \geq 0, \quad (5.28)$$

У випадку виникнення стресових умов або при природному старінні рослини, коли кількість загальної біомаси знижується внаслідок переваги процесів розпаду над процесами синтезу, зміна кількості функціонуючої біомаси визначається за виразом

$$\frac{\Delta \tilde{m}_j}{\Delta t} = \left(\frac{\Delta m_j}{\Delta t} \frac{1}{k_s} \right), \quad (5.29)$$

де k_s – параметр, який характеризує частку життєдіяльних структур і рухливих вуглеводів у загальній біомасі органа, безрозмірний.

Х. Тоомінг ння Росса трохи модифікував, включивши в (5.25) замість M/t добовий газообмін посіву, і одержав таке рівняння

$$\frac{\Delta m_j}{\Delta t} = \varepsilon A_j(t) \left[\int_1^{t+1} \int_0^{L_0(t)} (\Phi_1 - R_1) dL d\tau - \sum_{i=2}^n \overline{R_{ci}} \right] + MB_j \quad (5.30)$$

де $\sum_{i=2}^n \overline{R_{ci}}$ – сумарне за добу дихання всіх органів, крім листя; t – час у добі.

У цьому рівнянні значення приросту $\Delta m_j / \Delta t$ є функціями відносної площі листя посіву $L_0(t)$. Отже, для визначення приросту фітомаси окремих органів рослин у посівах, насамперед, необхідно знайти відносну площу листя посіву в будь-який момент вегетаційного періоду. Відносна площа листя визначається по її початковому значенню та окремих приростах. Приріст площі листя посіву визначається шляхом підстановки в рівняння (5.31) питомої поверхневої щільності листя $m(t)$. Питома поверхнева щільність листя є суха маса одиниці площі поверхні листя g/m^2 .

$$\frac{\Delta L}{\Delta T} = \frac{\varepsilon A(t)}{m_t(t)} \left[\int_t^{t+1} \int_0^{L_0(t)} (\Phi_1 - R_1) dL d\tau - \sum_{i=2}^n \overline{R_{ci}} \right] - v_1(t) \quad (5.31)$$

де $v_1(t)$ – швидкість зменшення площі зелених листків, яка вважається пропорційною площі діючої листкової поверхні (Є. П. Галямін описує динаміки фітомаси посівів. О.Д. Сиротенко (1987) запропонував наступну систему рівнянь

$$\begin{aligned} m_l^{j+1} &= m_l^j + \varepsilon_R (\alpha_l^j \Phi^j - \varphi^j R_{0l} m_l^j - \lambda_l^i m_l^j + k^j \delta_r^j m_r^j), \\ m_s^{j+1} &= m_s^j + \varepsilon_R (\alpha_s^j \Phi^j - \varphi^j R_{0s} m_s^j - \lambda_s^i m_s^j + (1 - k^j) \delta_r^j m_r^j), \\ m_r^{j+1} &= m_r^j + \varepsilon_R (\alpha_r^j \Phi^j - \varphi^j R_{0r} m_r^j - \lambda_r^i m_r^j - \delta_r^l m_r^l), \\ m_R^{j+1} &= m_R^j + \varepsilon_R (\alpha_r^j \Phi^j - \varphi^j R_{0R} m_R^j - L_l^i m_l^j + S_R r_r^j m_r^j), \end{aligned} \quad (5.32)$$

де $m_l^j, m_s^j, m_r^j, m_R^j$ – фітомаси відповідно листя, стебел, коріння та репродуктивних органів на j -ту добу;
 $\alpha_l^j, \alpha_s^j, \alpha_r^j, \alpha_R^j$ – ростові функції листя, стебел, коріння і репродуктивних органів;
 $\lambda_l^j, \lambda_s^j, \lambda_r^j$ – ростові функції, які визначають втрати фітомаси на опад та відтік у репродуктивні органи;
 L_R, S_R, r_R – коефіцієнти (1), що показують, яка частка втрат реутилізується у репродуктивних органах;
 Φ^j – сумарний фотосинтез посіву за добу;
 $R_{0l}, R_{0s}, R_{0r}, R_{0R}$ – коефіцієнти дихання підтримки листя, стебел, коріння та репродуктивних органів;
 $\epsilon_R = (1 + R_R)$, ($\Delta\tau$ – часовий крок; R_R – коефіцієнт дихання росту);

$$k^j = \lambda_l^j / (\lambda_l^j + \lambda_s^j);$$

λ_l^j - функція, яка визначає швидкість переміщення асимілятів із підземних у надземні органи на початку весняної вегетації.

Ростові функції в (5.33) підлягають таким обмеженням:

$$\lambda_l^j + \lambda_s^j + \lambda_r^j + \lambda_{Rj}^j = 1; \quad \lambda_p \geq 0 \quad p \in l, s, r, R.$$

Для функції δ_l^j характерно, що

$$\delta_r^j = \begin{cases} \delta_r^j, & \text{якщо } w^j \leq w_0, \\ 0, & \text{якщо } w^j \geq w_0, \end{cases}$$

де w^j – поточна сума ефективних температур;
 w_0 – сума ефективних температур, при якій припиняється перетікання асимілятів із підземних у надземні органи на початку весняної вегетації.

Для опису динаміки площі листя О.Д. Сиротенко ввів поняття про функцію «пожовтіння», яка представляє собою відношення

$$\gamma = LG / L, \quad (5.33)$$

де LG – зелена площа фотосинтезуючого органа рослини; L – його загальна площа.

Для опису динаміки росту сухої біомаси окремих врахуванням зміни активності дихання органів рослини А.М. Польовим (1978) запропонована така система рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta m_i^j}{\Delta t} &= \frac{\beta_i^j \Phi^j}{1+c_{G_i}} - \frac{\alpha_{R_i}^j c m_i \varphi_R^j + v_i^j) \tilde{m}_i^j}{1+c_{G_i}}, \\ \frac{\Delta m_p^j}{\Delta t} &= \frac{\beta_i^j \Phi^j}{1+c_{G_i}} - \frac{\alpha_{R_p}^j c m_p \varphi_R^j + m_p^j \sum_i^{l,s,r} v_i^j m_i^j}{1+c_{G_i}}, \\ \frac{\Delta m_g^j}{\Delta t} &= \frac{m_{g_{max}}^j}{\Delta t} \cdot \frac{\Delta m_p^j \gamma \Delta t}{k_g + \Delta m_p \gamma \Delta t}, \end{aligned} \quad (5.34)$$

де $\frac{m_{i(p)}}{t}$ – приріст біомаси i -го вегетативного (репродуктивного) органа;
 $m_{i(p)}^{\sim}$ – функціонуюча біомаса i -го вегетативного (репродуктивного) органа;
 $\Delta m_g / \Delta t$ – приріст сухої біомаси зерна;
 $\Delta m_{g_{max}} / \Delta t$ – максимально можлива в реальних умовах швидкість приросту сухої біомаси зерна;
 β_i – ростова функція вегетативного періоду;
 v_i – ростова функція репродуктивного періоду;
 C_G – коефіцієнт дихання росту;
 α_R – онтогенетична крива дихання;
 C_m – коефіцієнт дихання підтримки;
 φ_R – температурна крива дихання;
 k_g – константа Міхаеліса-Ментен;
 i – органи: l – листя; s – стебла; r – корені; p – колосся.

Виходячи з уявлень про динаміку функціонуючої біомаси, вирази (5.29) і (5.30), швидкість зміни площі асимілюючої поверхні j -го органа за сприятливих умов росту і розвитку рослин, впливу стресових умов і в період старіння А.М. Польовий описує таким виразом:

$$\frac{\Delta L_j}{\Delta t} = \frac{\Delta \tilde{m}_j}{\Delta t} \cdot \frac{1}{m_t(t)}, \quad (5.35)$$

Приріст сухої фітомаси значно залежить від метеорологічних умов. Хоча і функції росту до деякої міри залежать від факторів зовнішнього середовища, зокрема, на перших фазах розвитку вони, насамперед, властиві даному генотипу, характеризують вид або сорт. Вони показують, як відбувається ріст окремих органів рослини, коли починається і коли закінчується ріст того чи іншого органа, коли відносний приріст органа є максимальним і т.д.

Ячмінь сорту Домен, наприклад, характеризується функцією вегетативного росту листків (рис. 5.7 а), яка на початку вегетаційного періоду порівняно швидко досягає максимуму, а потім протягом 20 днів знижується до нуля – ріст листків припиняється. Частина «старих»

асимілятів з листків відтікає в колосся, яке характеризуються функціями B_1 і B_3 . У той період як ріст листків припиняється, ріст стебел максимальний, починається також швидке підвищення функції росту колосся.

Функції росту картоплі істотно відрізняються від функцій росту зернових. Ріст картоплі можна поділити на три періоди: 1) від посадки до виснаження запасів материнської бульби, 2) ріст бадилля, 3) ріст бульб. Ці періоди частково перекриваються.

Ріст бадилля починається з моменту появи сходів і закінчується на початку інтенсивного бульбоутворення. Протягом 40 днів відбувається одночасно ріст бадилля і бульбоутворення. На початку утворення бадилля ріст його відбувається як за рахунок фотосинтезу листків, так і за рахунок фондів, що знаходяться в материнських бульбах. Після появи сходів найбільший приріст мають стебла і корені, їхній ріст йде за рахунок фондів материнської бульби.

При максимумі функції росту стебел починається ріст листків. Їхній приріст досягає максимуму через 25–30 днів. Максимум приросту листків складає близько 70 % усього приросту рослини. При максимумі функції росту листків спостерігається мінімум функції росту стебел. З моменту максимуму приросту листків починається і ріст бульб. Приріст листків припиняється до початку інтенсивного бульбоутворення. У цей період бульби ростуть за рахунок фотосинтезу листків і припливу асимілятів із старіючих органів листків і стебел.

Контрольні питання.

1. *Що називається продукційним процесом?*
2. *Із яких фундаментальних процесів складається продуктивність?*
3. *Що називається ростом рослин?*
4. *Що приймається за показник фотосинтетичної роботи посіву?*
5. *Як визначається чиста продуктивність фотосинтезу?*
6. *Як визначається коефіцієнт інтенсивності фотосинтезу?*
7. *Як визначається ККД господарсько – цінної частини урожаю?*
8. *Перелічіть узагальнені показники фотосинтетичної діяльності посівів?*

6. АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІ УМОВИ І ПРОДУКТИВНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

6.1 Зернові культури

Зернові культури світового землеробства представлені трьома ботанічними родинками: *Тонконогові* – зернові культури, *Гречкові*, *Бобові*.

Зернові культури становлять понад 70 % всіх продуктів харчування людства. Пріоритет їх вирощування зумовлений високою продовольчою та кормовою якістю, тривалим зберіганням та транспортабельністю. Продовольче значення зернових культур зумовлене оптимальним співвідношенням для засвоєння живим організмом азотистих речовин до безазотистих (приблизно 1:6 фізіологічний оптимум).

Зернові культури поділяються на дві біологічні групи: озимі і ярі форми, а за біологічними особливостями – на хліба 1 групи (пшениця, жито, ячмінь, тритикале, овес) та хліба 2 групи – кукурудза, просо, сорго, рис.

У світі зернові культури займають площі: пшениця - 216 млн га, рис – 146,5, кукурудза – 131,5, ячмінь – 73,5 млн га.

В Україні перше місце за площею посіву і валовими зборами зерна займає озима пшениця - від 6,4 до 7,3 млн га. Друге місце займає ячмінь - 3,5 – 4 млн га, третє – кукурудза – 1,5 – 2 млн га. Інші культури висівають в Україна на площі від 2,5 до 3,5 млн. га. Інші злакові культури – жито, тритикале, овес, яра пшениця, просо, рис, сорго висівають в Україні на площі 2,5 – 3,5 млн.га.

Основними зонами виробництва зерна в Україні є Степ і Лісостеп, на частку яких у середньому припадає відповідно 46 і 40 % валових зборів зерна. Потенціал продуктивності сучасних сортів зернових культур перевищує 70–80 ц/га, а озимої пшениці – 100 ц/га, але рівень реалізації його в умовах виробництва значно нижчий. Часто ріст урожайності відстає від затрат на виробництво зерна і ефективність затрачених засобів нижча від запланованої.

Найвищої урожайності зернових у середньому досягнуто у Лісостепу – 34 ц/га, в тому числі озимої пшениці – 41,8, ярого ячменю – 31,7, кукурудзи – 39,5, вівса – 27,1 ц/га. Хімічний склад зерна різних зернових культур відрізняється (табл. 6.1) [66].

В своєму розвитку зернові знаходяться до виходу у трубку або до утворення стебла у **вегетативному періоді** розвитку, від початку виходу в колос до кінця цвітіння – в **генеративному** і від першої стадії дозрівання до повної стиглості – в **репродуктивному** періоді. Вегетативний період співпадає з **системним розвитком вегетативної маси**, генеративний – із **ростом продукту, тобто зерна**.

Таблиця 6.1 - Хімічний склад зерна, % (за О.І. Зінченком)

Культура	Білки	Вуглеводи	Жири
Пшениця м'яка	13,9	79,9	2,0
Пшениця тверда	16,0	77,4	2,6
Жито	12,8	80,9	2,0
Кукурудза	12,8	78,9	5,3
Рис	7,6	72,5	2,2
Гречка	13,1	67,8	3,1

Ріст і розвиток зернових за уніфікованою шкалою наводиться в табл. 6.2.

Таблиця 6.2- Уніфікована розширена шкала росту та розвитку зернових культур (стадії розвитку зернових)

Код	Стадії
МАКРОСТАДІЯ 0: ПРОРОСТАННЯ	
00	Сухе зерно
01	Початок поглинання води
03	Кінець поглинання води
05	Поява кінчика зародкового кореня
06	Зародковий корінь,
01	Поява кінчика зародкової піхви (колеоптиля)
09	Сходи
МАКРОСТАДІЯ 1: РОЗВИТОК ЛИСТКІВ	
10	Перший лист виходить із колеоптиля
11	Стадія 1-го листка. Перший листок розгорнутий. З'являється вістря 2-го листка
12	Стадія другого листка. Другий листок розгорнутий. З'являється вістря 3-го листка
13	Стадія 3-го листка. Третій листок розгорнутий. З'являється вістря 4-го листка
1...	Стадії, що тривають до ...
19	9 і більше листків розгорнуті
МАКРОСТАДІЯ 2: КУЩІННЯ	
20	Немає кущіння
21	З'являється 1-й пагін кущіння, початок кущіння
22	З'являється 2-й пагін кущіння,
23	З'являється 3-й пагін кущіння
2...	Стадії що тривають до ...
29	Кінець кущіння: розвинута максимальна кількість пагонів
МАКРОСТАДІЯ 3: ВИХІД У ТРУБКУ	
30	Початок виходу у трубку: головний пагін і пагони кущіння спрямовані нагору, починають витягатися. Відстань колоса від вузла кущіння, щонайменше, 1 см
31	Стадія 1-го вузла. Перший вузол з'являється на поверхні землі. Відстань колоса від вузла кущіння, щонайменше, 1 см
32	Стадія 2-го вузла. Другий вузол з'являється на поверхні землі. Відстань його від 1-го вузла, щонайменше, 2 см

Продовження табл. 6.2	
33	Стадія 3-го вузла. Третій вузол з'являється .. Відстань його від 2-го вузла , щонайменше, 2 см
34	Стадія 4-го вузла. Четвертий вузол з'являється.. Відстань його від 3-го вузла , щонайменше, 2 см
3...	Стадії, що тривають до ...
37	Поява останнього (прапорцевого) листка
39	Стадія лігули (листяного язичка). Лігула помітна, прапорцевий листок повністю розвинений
МАКРОСТАДІЯ 4: НАБРЯКАННЯ СУЦВІТЬ (КОЛОСКІВ АБО ВОЛОТІ)	
41	Листкова піхва прапорцевого листка подовжується
43	Суцвіття всередині листка зрушено вгору, листкова піхва прапорцевого листка починає набрякати
45	Листкова піхва прапорцевого листка набрякла
47	Листкова піхва прапорцевого листка відкривається
49	Остюки з'являються над лігулою прапорцевого листка. Поява мереж. Ості з'являються над лігулою прапорцевого листка
МАКРОСТАДІЯ 5: ПОЯВА СУЦВІТЬ	
51	Початок появи суцвіття: видно верхню частину волоті або колоса
52	Поява 20% суцвіття
53	Поява 30% суцвіття
54	Поява 40% суцвіття
55	Поява половини суцвіття
56	Поява 60% суцвіття
57	Поява 70% суцвіття
58	Поява 80% суцвіття
59	Кінець колосіння. Колос (волоть) повністю з'явилися.
МАКРОСТАДІЯ 6: ЦВІТІННЯ	
61	Початок цвітіння
65	Середина цвітіння. 50% зрілих тичинок
69	Кінець цвітіння
МАКРОСТАДІЯ 7: УТВОРЕННЯ ЗЕРЕН	
71	Перші зернівки досягли половини остаточного розміру. Вміст зернівок водянистий
73	Рання молочна стиглість
75	Середня молочна стиглість. Всі зернівки досягли свого остаточного розміру. Вміст зернівок молочний.
77	Пізня молочна стиглість
МАКРОСТАДІЯ 8: ДОЗРІВАННЯ ЗЕРЕН	
83	Рання воскова стиглість
85	М'яка воскова стиглість
87	Тверда воскова стиглість. Вм'ятини від нігтя не випрямляються
89	Рання повна стиглість. Зерно тверде, розколюється при значному зусиллі
МАКРОСТАДІЯ 9: ВІДМИРАННЯ	
92	Пізня повна стиглість. Зерно тверде, не ламається нігтем
93	Зерно слабо тримається в колоску в денний час
97	Рослина повністю відмерла. Солома ламається
99	Збирання врожаю зерна

Одним із найважливіших завдань агропромислового комплексу України в сучасних умовах є значне збільшення і стабілізація виробництва продовольчого та кормового зерна. Основною зерною культурою в

Україні є озима пшениця. У Степу, особливо в південних і центральних його районах, немає культури, рівної їй за продуктивністю.

Озима пшениця (*Triticum*). Насіння озимої пшениці починає проростати при температурі 1...2 °С, але для дружного проростання і появи сходів оптимальною вважається температура 15...20 °С (табл. 6.1). За такої температури і достатньої вологості орного шару ґрунту масові сходи звичайно з'являються через 7–9 днів після сівби. Температура вища 28 °С несприятлива для проростання насіння. При запасах продуктивної вологи в орному шарі ґрунту менших ніж 5 мм сходи не з'являються.

Є.С. Улановою встановлено, що найменша тривалість періоду посів – сходи (5–7 днів) спостерігається при запасах продуктивної вологи в орному шарі ґрунту від 30 до 60 мм і температурі повітря вищій за 14 °С. При зменшенні запасів вологи до 15 мм сходи з'являються через 12 днів, а при зменшенні запасів вологи до 6–7 мм сходи з'являються через 20–25 днів. При зниженні температури повітря до 10 °С сходи з'являються через 10–12 днів, а при 7...8 °С – через 17–20 днів.

При достатньому зволоженні ґрунту сходи озимої пшениці з'являються при нагромадженні від посіву суми ефективних температур повітря (вище 5 °С) рівній 67 °С.

Швидкість настання фази початку кущіння озимої пшениці, також знаходиться в тісній залежності від температури повітря і зволоження ґрунту. Якщо зволоження орного шару ґрунту достатнє (більше 30 мм продуктивної вологи), кущіння озимої пшениці починається при накопиченні при нагромадженні від фази сходів суми ефективних температур (вище 5 °С) також рівною 67 °С. Найменша тривалість періоду сходів – кущіння (8–10 днів) спостерігається при запасах вологи 30–50 мм у шарі ґрунту 0–20 см і температурі повітря 13...18 °С. При такій же температурі, але при зменшенні запасів вологи до 15 мм, період від сходів до кущіння збільшується до 16–18 днів, а при зменшенні запасів вологи до 6–8 мм кущіння настає тільки через 25–30 днів.

Найбільш сприятлива для кущіння озимої пшениці температура повітря 9...12 °С, а при температурі 1...3 °С кущіння припиняється. При запасах продуктивної вологи більш ніж 20 мм в орному шарі ґрунту кущіння йде найбільш інтенсивно.

Активна вегетація озимої пшениці припиняється після переходу температури повітря восени через 5 °С (в бік зниження). Однак у південних районах країни перехід від осені до зими відбувається повільно і кущіння пшениці продовжується в період від дати переходу температури повітря через 5 °С до дати переходу її через 3 °С. Під час тривалих і інтенсивних відлиг також можливе подовження періоду кущіння рослин.

За сприятливих умов озима пшениця оптимальних термінів сівби формує до кінця осені 3–6 пагонів на одній рослині.

Після весняного відновлення вегетації озима пшениця продовжує кущитися при температурах від 3...5 °С до 12...15 °С. Висока температура у весняний період і нестача вологи у ґрунті погіршують весняне кущіння пшениці.

Після закінчення кущіння кількість пагонів у посіві, так само як і кількість квіток і колосків у конусі наростання (колосі), зменшується за рахунок редукції асинхронно розвинутих колосків, квіток і пагонів. Це явище цілком закономірне, але ступінь редукції залежить як від біології сорту, так і від умов використання факторів життя рослин, що складаються в агрофітоценозі. Це призводить до того, що частка пагонів різних порядків у посіві змінюється; рівень продуктивності агрофітоценозу є інтегруючим показником співвідношення різноякісного продуктивного колосся.

Оптимальна кількість стеблин, яка забезпечує продуктивність агрофітоценозу озимої пшениці на рівні 70–80 ц/га, за даними досліджень становить 470–600 шт/м² посіву. Так, в умовах 1987 р. сорт озимої пшениці Поліська 87 сформував урожай 113 ц/га при 610 шт продуктивних пагонів на 1 м² посіву; а урожайність 102–105 ц/га Миронівська 61 забезпечила при наявності 700 колосків на 1 м² посіву, Донська напівкарликова – при 610, а Одеська 51 – при 533 шт/м². У той же час урожайність на рівні 66–75 ц/га була одержана при такій же (690–530 шт.) кількості продуктивних пагонів. В умовах також високоурожайного 1993 року одержано урожай на рівні 90–100 ц/га при інтенсивній технології вирощування, коли кількість продуктивних пагонів залежно від сорту варіювала від 750 шт./м² у сорту Скіфянка до 550 шт./м² у Мирлебена. Але при густоті 500–600 шт/м² продуктивного колосся в гірших моделях технології одержано тільки 42–58 ц/га. При цьому у високопродуктивних агрофітоценозах за період з VI по XI етап органогенезу редукція пагонів становила 790–940 шт/м².

У чорноземних районах, де тепла буває достатньо, запаси продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту навесні визначають майбутні умови формування урожаю. За даними Є.С. Уланової, добрими весняними запасами продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту є 150–200 мм, задовільними – 120–150 мм, недостатніми – 100–120 мм і поганими – менше 100 мм.

В період від виходу в трубку до колосіння у озимої пшениці виявляється найбільша потреба у волозі внаслідок інтенсивного росту (табл.6.3). Найбільш високі урожаї озимої пшениці спостерігаються в роки, коли в цей період запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту становлять 100–125 мм. При невеликих запасах продуктивної вологи в ґрунті навесні урожайність озимої пшениці значною мірою залежить від опадів. Кількість опадів у

травні від 40 до 80 мм забезпечує при цьому хороші умови для формування урожаю озимої пшениці. Сприятливою для формування великого колосся з багатоквітковими колосками є температура від 15 до 20 °С.

У період цвітіння і дозрівання збільшуються вимоги рослин до тепла. Однак при високій температурі (вище 40 °С) в період цвітіння різко знижується життєздатність пилка, що призводить до зниження урожаю. Мінімальною температурою для цвітіння вважається 6...7 °С.

Таблиця 6.3- Оцінка запасів продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту в основні періоди весняно-літньої вегетації озимої пшениці в чорноземних районах (за Є.С. Улановою).

Період	Запаси продуктивної вологи, мм			
	добрі	задовільні	недостатні	погані
Відновлення вегетації	150–200	120–150	100–120	< 100
Вихід в трубку	140–180	100–140	80–100	< 80
Колосіння	80–140	60–80	40–60	< 40
Налив зерна	80–100	40–80	30–40	< 25

При зниженні відносної вологості повітря до 30 % і нижче, підвищенні температури до 25 °С і вище і швидкості вітру 5 м/с і більше (при недостатці вологи в ґрунті) відзначається пожовтіння, скручування і підсихання листків, щуплість зерна і череззерниця. За даними С.А. Веріго, запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту 40 мм і більше в середньому за період цвітіння – початок воскової стиглості сприяють формуванню добре виповненого зерна, а при вологозапасах менше 10 мм налив зерна припиняється і воно починає підсихати.

Вимоги до світла змінюються в залежності від фази розвитку рослин. В цілому тривалість вегетаційного періоду скорочується в умовах довгого дня. Загальна тривалість вегетаційного періоду озимої пшениці, включаючи зимовий період, в залежності від сорту й агрометеорологічних умов коливається від 275 до 330 днів.

Озима пшениця добре використовує осінню і весняну вологу і урожайність її значно менше, ніж ярих зернових культур, залежить від весняно-літніх опадів. У неї розвивається потужна коренева система, яка глибоко проникає в ґрунт, у зв'язку з чим вона менше страждає від посух і суховіїв. Посів восени і більш ранне (на 7–10 днів)

збирання озимої пшениці в порівнянні з ярицею дозволяє повніше і більш рівномірно використовувати працю і засоби виробництва.

Озиме жито (*Secale, cereale*) В Поліссі озиме жито розміщують переважно на піщаних, супіщаних землях, тому урожайність його нижча, ніж пшениці. В однакових умовах жито дає вищі і стійкіші урожаї ніж озима пшениця. На Глухівській сортодільниці у 1985 – 1990 рр. урожайність озимої пшениці становила 43,8 ц/га, а жита – 46,9 ц/га, на Ямпільській Сумської області – 24,1 і 29,4 ц/га, Любешівській Волинської області – 27,3 і 30,7 ц/га, Дубровицькій Рівненської області – 21,8 і 30,2 ц/га відповідно.

На лівобережній частині Лісостепу після непарових попередників озиме жито, як менш вибаглива до умов вирощування культура, забезпечує також вищі урожаї порівняно з озимою пшеницею. На Миргородській сортодільниці Полтавської області у середньому за п'ять років урожайність його становила 44,7 ц/га, а пшениці – 42,1 ц/га, на Куп'янській Харківської області – відповідно 33 і 31,5 ц/га, Лебединській Сумської – 50 і 47,8 ц/га.

Отже, підвищення питомої ваги озимого жита в озимому кліні на Поліссі до 60 % і в лівобережному Лісостепу до 10–15 % замість існуючої відповідно 40 і 6 % буде сприяти збільшенню валового збору зерна продовольчих культур і стабілізації його виробництва по роках, більш повному забезпеченню населення житнім хлібом.

Розширення посівів озимого жита як більш морозостійкої та посухостійкої і менш вибагливої до інших умов вирощування культури порівняно з пшеницею диктується екологічними і економічними міркуваннями. Адже озима пшениця стала дуже уражуватись кореневими гнилями, септоріозом, борошнистою росою та іншими хворобами і без застосування фунгіцидів практично не можна одержувати навіть задовільних урожаїв. Крім того, жито потребує менше мінеральних добрив, зокрема азотних.

Насіння жита при наявності вологи в ґрунті починає проростати при температурі 1...2 °С. Оптимальна температура для їхнього проростання 22...28 °С. Дружні сходи озимого жита появляються через 6–8 днів після посіву при температурі 15...20 °С та хорошій вологозабезпеченості.

Найменша тривалість періоду від сходів до куціння (до 10 днів) спостерігається при температурі вищій за 13 °С і запасах продуктивної вологи в орному шарі ґрунту більше 30 мм. Тривалість цього періоду збільшується до 15–20 днів при температурі 9...11 °С і достатніх запасах вологи або температурі вище 13 °С, але знижених запасах вологи в орному шарі ґрунту від 15 до 20 мм.

Озиме жито добре куциться при середній добовій температурі повітря близько 12 °С, хоча слабке куціння може продовжуватися і при температурі близької до 5 °С. При наявності достатніх запасів вологи у

ґрунті від посіву до появи трьох пагонів кущіння необхідна сума ефективних температур $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, а до появи шести пагонів кущіння – $300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Весняне відновлення вегетації озимого жита відбувається при температурі повітря $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. У період виходу в трубку сприятлива середня добова температура повітря $11\text{...}12\text{ }^{\circ}\text{C}$. У період колосіння добрі умови створюються при температурі $14\text{...}15\text{ }^{\circ}\text{C}$, а для цвітіння і дозрівання необхідна температура $16\text{...}17\text{ }^{\circ}\text{C}$ і вище. Озиме жито відноситься до числа порівняно засухостійких культур, що пояснюється хорошим розвитком його кореневої системи. Найбільша витрата вологи посівів озимого жита відзначається в період швидкого росту рослин – від виходу в трубку до колосіння. Недостача вологи в цей період спричиняє утворення дрібного і малопродуктивного колосся.

Весняне відновлення вегетації озимого жита відбувається при температурі повітря $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. У період виходу в трубку сприятлива середня добова температура повітря $11\text{...}12\text{ }^{\circ}\text{C}$. У період колосіння хороші умови створюються при температурі $14\text{...}15\text{ }^{\circ}\text{C}$, а для цвітіння і дозрівання необхідна температура $16\text{...}17\text{ }^{\circ}\text{C}$ і вище. Озиме жито відноситься до числа порівняно засухостійких культур, що пояснюється хорошим розвитком його кореневої системи. Найбільша витрата вологи посівів озимого жита відзначається в період швидкого росту рослин – від виходу в трубку до колосіння. Недостача вологи в цей період викликає утворення дрібного і малопродуктивного колосся.

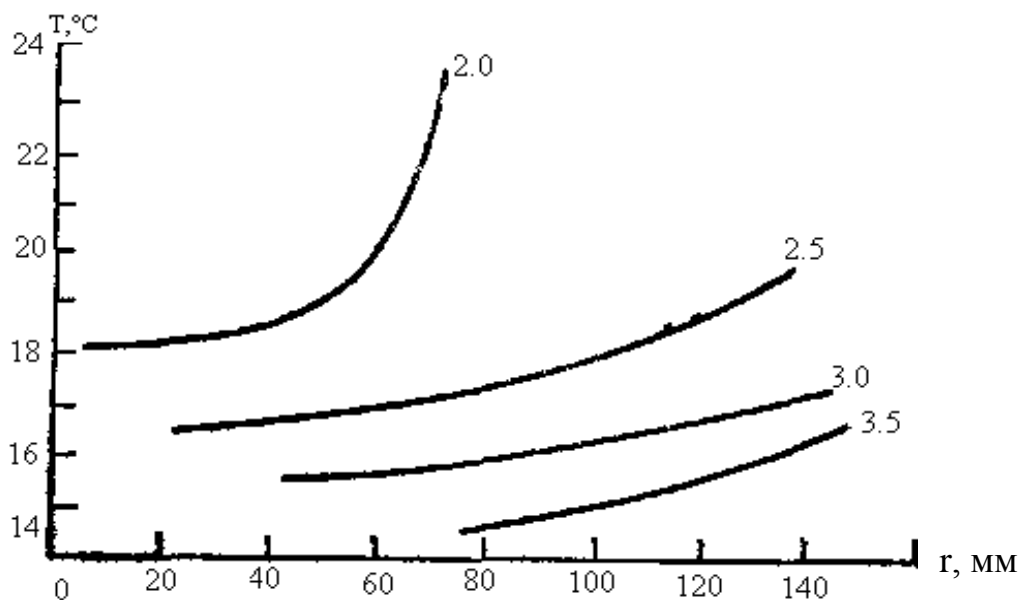


Рис. 6.1 – Зв'язок урожайності озимого жита (т/га) з опадами r_{on} та середньою температурою повітря T за три декади після колосіння (М.С. Кулик, 1966).

За даними М.С. Кулика в нечорноземних районах найбільші урожаї озимого жита спостерігаються при температурі повітря $15\text{...}17\text{ }^{\circ}\text{C}$ і сумі

опадів більше 80 мм за три декади після колосіння (рис. 6.1). Тривалість вегетаційного періоду озимого жита коливається в залежності від сорту, агрометеорологічних умов і районів вирощування від 270 до 350 днів.

Яра пшениця (яриця). Для стабілізації виробництва зерна пшениці, як основної продовольчої культури, недосіяні з тієї чи іншої причини восени площі озимої пшениці і загиблі в зимово-весняний період посіви озимини необхідно займати ярою пшеницею. Враховуючи це, у кожному господарстві площі посівів ярої пшениці повинні бути такими, які забезпечили б виробництво страхових фондів її насіння.

Проростання насіння ярої пшениці починається при 1–2 °С, а поява сходів можлива при 4–5 °С, тому висівається вона в самі ранні терміни. Насіння пшениці, яке набрякло і наклюнулось, може без ушкоджень переносити короточасні зниження температури до –10...–13 °С. При температурі ґрунту на глибині закладення насіння 5 °С сходи з'являються на 20-й день, при 10 °С – на 9-й день, при 15 °С – на 7-й день. Сходи пшениці переносять заморозки до –6...–8 °С.

Оптимальні умови зволоження на перших етапах розвитку рослин створюються при запасах продуктивної вологи в орному шарі ґрунту від 30 до 40 мм.

При хорошій вологозабезпеченості початок кушіння ярої пшениці спостерігається при нагромадженні після сходів суми ефективних температур (вище 5 °С) 67 °С.

Хороші умови для кушіння рослин створюються при температурі повітря 13...18 °С. У районах з посушливою весною і вологим літом після опадів нерідко розвиваються пізні пагони кушіння – підгони, зерно яких найчастіше не визріває, тоді як зерно головних пагонів досягає повної стиглості.

Недостача вологи в ґрунті після виходу в трубку призводить до зменшення кількості розвинутих і збільшенню неплідних колосків. Оподи, що випадають згодом навіть рясні, не можуть виправити стан посівів. Запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту в цей період менше 80 мм не забезпечують нормальний розвиток рослин.

Яра пшениця – рослина довгого дня. Після виходу в трубку в ярої пшениці починають виявлятися сортові розходження за вимогою до тепла. Так, для проходження періоду від виходу в трубку до колосіння різних сортів потрібна сума ефективних температур (вище 5 °С) 283–400 °С, а від колосіння до воскової стиглості 450–540 °С.

В період колосіння і молочної стиглості для росту і розвитку рослин найбільш сприятливою вважається температура 16–23 °С.

В період від появи сходів до виходу в трубку ушкодження заморозками –5...–7 °С призводить до зниження урожаю на 10–30 % і подовження періоду вегетації від 2 до 8 днів (табл.6. 4).

В період цвітіння і наливу зерна яра пшениця ушкоджується заморозками $-1... -2$ °С. Після настання воскової стиглості насінні якості зберігаються і при заморозках $-5... -7$ °С.

Таблиця 6.4 – Післядія весняних заморозків на урожайність і тривалість вегетаційного періоду основних польових культур (А.І. Коровін, 1984)

Культура	Період відростання озимих і появи сходів у ярих культур			Період від кушіння до виходу в трубку або утворення 2-3 листків у незлакових	
	інтенсивність заморозк у °С	зменшення урожаю, %	збільшення вегетаційного періоду,	зменшення урожаю, %	збільшення вегетаційного періоду, дні
Озима пшениця	$-8...-10$	10–25	від 3 до 6	10 – 30	4–8
Озиме	$-8...-10$	10–25	від 3 до 5	10–30	4–8
Яра пшениця	$-5...-7$	10–25	від 2 до 5	15–30	4–8
Ярий ячмінь	$-6...-8$	10–20	від 2 до 5	12–25	4–7
Овес	$-6...-8$	10–20	від 2 до 5	20–50	4–6
Кукурудза	$-1...-2$	10–25	від 5 до 8	20–50	8–15
Гречка	$-3...-4$	10–30	від 5 до 8	20–50	8–12
Горох	$-4...-5$	10–30	від 4 до 7	15–40	5–10
Соя	$-1...-2$	10–20	від 4 до 7	15–30	5–10
Сочевиця	$-4...-5$	10–20	від 4 до 6	15–30	5–8
Люпин	$-4...-5$	10–20	від 2 до 6	15–30	5–8
Льон	$-5...-6$	10–30	від 2 до 5	10–30	5–10

Ґрунтова й атмосферна посухи в період колосіння – молочна стиглість різко знижують урожай. Якщо в період інтенсивних суховіїв запаси продуктивної вологи в орному шарі ґрунту знижуються до 10 мм, а в метровому – до 30 мм і менше, те спостерігається сильне зів'янення, пожовтіння і передчасне відмирання листків, а також припинення росту рослин. Найбільш сприятливими для рослин у цей період є запаси продуктивної вологи у ґрунті в межах 70–75 % найменшої вологомісткості. При зниженні відносної вологості повітря до 10–12 % і температурі $40...42$ °С навіть на зрошуваних посівах зерно може дозріти передчасно і бути щуплим.

При наливі зерна у вологу і дощову погоду може спостерігатися явище "стікання" – вимивання розчинних органічних і мінеральних речовин із зерна опадами, що викликає щуплість зерна і відчутно знижує урожай. Щуплість зерна може також відмічатись при наливі зерна у вологу погоду внаслідок розвитку грибкових хвороб, особливо іржі.

Споживання вологи по фазах розвитку ярої пшениці розподіляється приблизно так: у період сходів 5–7 %, у фазу кушіння 15–20 %, при виході рослин у трубку і колосінні 50–60 %, у фазу молочної стиглості 20–30 % і в період воскової стиглості 3–5% від загального споживання вологи за весь вегетаційний період. Тривалість вегетаційного періоду ярої пшениці коливається від 90 до 120 днів у залежності від сорту і кліматичних умов.

Ячмінь (*Hordeum, sativum*) У південному і центральному Степу другим за продуктивністю і посівними площами після озимої пшениці є ярий ячмінь. Так, на Мелітопольській сортодільниці (1985–1990 рр.) урожайність ярого ячменю в середньому становила 40,5 ц/га, Розівській Запорізької області – 33,5 ц/га, Новотроїцькій – 31,5 ц/га і Нижньосірогозькій Херсонської області – 30,7 ц/га, Бородинській Одеської області – 32,8 ц/га. Він також використовується як страхова культура на випадок пересіву озимих культур. Тому від урожайності цих культур залежить виробництво зерна. Збільшення посівних площ озимого ячменю, який після непарових попередників переважає озиму пшеницю за урожайністю, стримується відсутністю добрих попередників і частими посухами у період сіви, що не дозволяє одержувати нормальні сходи.

У західних районах Лісостепу ярий ячмінь перевершує за урожайністю озиму пшеницю, і в структурі посівних площ зернових культур він займає перше місце (40 %). Тут вирощуються високоякісні пивоварні сорти, які дають великі прибутки господарствам. Крім того, вирощування ячменю відповідає спеціалізації господарств на виробництві продукції тваринництва.

У правобережних районах Лісостепу ярий ячмінь перевищує за продуктивністю озиму пшеницю, розміщену після непарових попередників, тому його посівні площі в зерновому кліні слід довести до 30–35 %. На Лівобережжі Лісостепу ярий ячмінь за продуктивністю поступається озимій пшениці. Розміщують його переважно після цукрових буряків і кукурудзи на зерно, після яких пшеницю не сіють.

Насіння ячменю починає проростати при температурі 1–2 °С. Сходи його з'являються при середній добовій температурі повітря 8–10 °С на 12–17-й день, а при 16–18 °С – на 6–7-й день. Сходи ячменю починають ушкоджуватися заморозками –7...–8 °С.

При хорошій вологозабезпеченості кушіння ярого ячменю починається при нагромадженні суми ефективних температур (вище 5°С) від посіву 134 °С. Запаси продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту

навесні більше 160 мм сприяють одержанню високих урожаїв, а менше 80 мм є недостатніми.

Ячмінь відноситься до рослин довгого дня і при укороченому світловому дні його колосіння затримується.

Колосіння ячменю починається при накопиченні суми ефективних температур після виходу в трубку близько 330 °С, а для періоду колосіння – воскова стиглість потрібно 400 °С.

Сприятливими для формування урожаю ячменю в період колосіння є запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту від 110 до 130 мм. Підвищення середньої добової температури повітря понад 23 °С в цей період несприятливо позначається на урожайності ячменю. У той же час температури 38–40 °С і вище в період наливу зерна ячмінь виносить краще, ніж пшениця.

Квітки і зав'язі ячменю ушкоджуються заморозками –1...–2 °С, а в період наливу зерна небезпечними є заморозки –1,5...–4 °С.

Ячмінь вважається однією з найбільш засухостійких зернових культур. По стійкості до "захоплення" і "запалу" зерна під дією суховіїв він стоїть на першому місці серед хлібних злаків. У той же час, будучи скоростиглою культурою, ярий ячмінь рідше попадає під вплив посух і суховіїв. Тривалість вегетаційного періоду ярого ячменю в залежності від сорту й агрометеорологічних умов коливається від 80 до 115 днів.

Овес (*Avena sativa*) Цінною фуражною, а також дієтичною культурою є овес. Нові сорти сприяють значному підвищенню його урожайності. Здебільшого овес висівають у Поліссі, де його розміщують, як і жито, на менш родючих піщаних ґрунтах. Проте, незважаючи на це, він тут перевершує за продуктивністю ячмінь, який висівають на більш родючих землях. Так, у 1992 р. у Житомирській області вівса зібрали по 40,5 ц/га, а ячменю – по 39,7 ц/га. У 1985–1990 рр. на Іванківській сортодільниці Київської області урожайність вівса становила 35,4 ц/га, а ячменю – 30,4 ц/га, Дубровицькій Рівненської області – відповідно 31,8 і 30 ц/га, Стрийській Львівської області – 45,2 і 38,9 ц/га, Славутській Хмельницької області – 50,8 і 49,7 ц/га.

У Лісостепу і Степу в однакових умовах овес також не поступається за продуктивністю ячменю і має перспективу на розширення посівних площ, як більш посухостійка культура.

Насіння вівса починає проростати при температурі 2–3 °С, тому висівають його в можливо ранній термін, Сходи вівса переносять короточасні весняні заморозки –8... –9 °С. В період від сходів до кушіння найбільш сприятливою є температура від 15 до 18 °С.

При хорошій вологозабезпеченості від посіву до кушіння сума ефективних температур (вище 5 °С) повинна складати 134 °С. Овес є вологолюбною рослиною і не боїться перезволоження ґрунту.

Викидання волоті вівса настає після нагромадження суми ефективних температур від виходу в трубку 378 °С. Період від виходу в трубку до викидання волоті є критичним стосовно вологи. В міру розвитку рослин їхня стійкість до низьких температур зменшується і в період цвітіння можливі ушкодження заморозками –1...–2 °С.

Для цвітіння вівса найбільш сприятливою є помірно волога погода (при температурі 18–20 °С). Високі температури (38–40 °С) і літні посухи овес переносить гірше ярої пшениці і ячменю і більше їх страждає від "захоплень" і "запалів".

Овес відноситься до рослин довгого дня. Тривалість його вегетаційного періоду коливається від 90 до 129 днів.

Кукурудза (*Zea mays*). Найбільш високий біокліматичний потенціал для виробництва кукурудзи мають Північний Степ і Лісостеп. Сума активних температур, тривалість вегетаційного періоду в районах Північного Степу дозволяють вирощувати середньоранні, середньостиглі та середньопізні гібриди, у південному і центральному Лісостепу – середньостиглі, у північних і західних районах – ранні та середньоранні.

У цих зонах виробництво кукурудзи має велику перспективу. На сортодільницях, де рівень інтенсифікації рільництва високий, урожайність її зерна майже удвічі більша, ніж у господарствах.

На сортодільницях північного Степу у 1985–1990 рр. урожайність кукурудзи на всій площі становила в середньому 54,3 ц/га, у Лісостепу— 59,8 ц/га, або відповідно на 17–22 ц/га вище ярого ячменю. Таким чином, в цих зонах доцільно сконцентрувати виробництво зерна кукурудзи, довести її питому вагу у зерновому кліні до 20–25 %, а то й більше.

У західному Лісостепу кукурудза також забезпечує високі урожаї. На Радехівській сортодільниці Львівської і Торчинській – Волинської областей у середньому за 1985–1990 рр. зібрано по 62 ц/га. Але перш ніж розширювати її посіви, слід здійснити комплекс заходів щодо різкого підвищення урожайності. Є всі можливості збільшити продуктивність кукурудзи у цій зоні вдвічі, збирати по 50–60 ц/га зерна, інакше вирощування її буде неефективним. І тільки при досягненні такого рівня урожайності можна поступово розширювати площі її посіву.

Кліматичні умови південних і центральних районів Степу в зв'язку з обмеженими запасами вологи у ґрунті, частими ґрунтовими і повітряними посухами не сприятливі для вирощування кукурудзи на неполивних землях. Тому продуктивність кукурудзи тут часто нижча (на 10–13 ц/га), ніж ярого ячменю.

Насіння кукурудзи починає проростати при температурі близько 8°С. Однак при такій температурі проростання йде дуже повільно, проростки загнивають і посіви зріджуються. Ю.І. Чирковим встановлено, що при запасах продуктивної вологи більше 15 мм у шарі ґрунту 0–10 см і

температурах 11–12 °С сходи кукурудзи з'являються через 20–25 днів, а при 18–22 °С – через 6–8 днів. При закладенні насіння на глибину 4 см сходи кукурудзи з'являються при нагромадженні суми ефективних температур 83 °С (вище 8 °С). Ця сума ефективних температур збільшується на 7 °С на кожен сантиметр поглиблення при посіві насіння на глибину від 4 до 12 см. При запасах продуктивної вологи менше 8 мм у шарі ґрунту 0–10 см тривалість періоду від посіву до сходів майже подвоюється, відповідно зростає і необхідна сума ефективних температур.

Весняні заморозки до –2... –3 °С ушкоджують сходи. На тривалість періоду від посіву до сходів сортові розходження помітного впливу не чинять.

Рівень температури визначає терміни появи чергових листків кукурудзи, а розходження в тривалості періоду утворення листків між ранньостиглими і пізньостиглими сортами досягає 20–30 днів. За даними Ю.І. Чиркова, нижня межа температури в період утворення листків близька до 10 °С. З підвищенням середньої добової температури повітря від 10 до 20 °С швидкість утворення листків й інтенсивність нагромадження рослинної маси збільшується. З підвищенням температури вище 20 °С темпи розвитку рослин починають зменшуватися, а при середній добовій температурі вище 26–28 °С розвиток кукурудзи не прискорюється. У цих випадках зростає значення баластних, які не прискорюють розвиток рослин, температур. При температурах 33–36 °С приріст зеленої маси кукурудзи припиняється.

Черговий листок кукурудзи з'являється при нагромадженні суми ефективних температур 30 °С (вище 10 °С). У південних районах для появи нового листка потрібна більша сума ефективних температур, тому що в жаркі дні кукурудза використовує тепло менш ефективно через баластні температури. Ранньостиглі сорти кукурудзи утворюють 11–12 листків і тому потребують менше тепла, ніж пізньостиглі, які утворюють 19–21 листків.

Вологість ґрунту істотно впливає на нагромадження рослинної маси, але на швидкість розвитку рослин вона має слабкий вплив. Помітне гальмування швидкості розвитку відзначається тільки при зменшенні запасів продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту нижче 40 мм. Подальше зменшення запасів вологи у ґрунті затримує викидання волоті кукурудзи на 4–6 днів.

Оптимальні умови для формування урожаю зеленої маси кукурудзи створюються при середній декадній температурі повітря 20–24 °С і запасах продуктивної вологи 35–45 мм в орному шарі підзолистих ґрунтів і 60–70 мм у півметровому шарі чорноземних ґрунтів (рис. 6.2).

Завдяки низькому транспіраційному коефіцієнту (280–350) кукурудза ощадливо використовує ґрунтову вологу на формування урожаю. Однак сумарна витрата її за окремі міжфазні періоди та вегетаційний період в

цілому значна в зв'язку з великою масою урожаю.

При оптимальному зволоженні середньодобові величини сумарного випаровування за окремі міжфазні періоди становлять:

- 1) сходи – 8-й листок – 1,0...3,3 мм;
- 2) 7–8-й листок – 15–16-й листок – 2,5...4,9 мм;
- 3) 15–16-й листок – цвітіння волоті – 4,9...7,3 мм;
- 4) цвітіння волоті – формування зерна – 4,3...7,4 мм;
- 5) формування зерна – молочно-воскова стиглість – 3,1...6,1 мм;
- 6) молочно-воскова стиглість – повна стиглість – 1,2...3,6 мм.

Встановлено, що сумарне водоспоживання кукурудзи за вегетацію в незрошуваних умовах досягає 300–400 мм, а при зрошенні – 450–500 мм.

Критичний до вологи період у кукурудзи починається за 10 днів до викидання волоті і триває близько 30 днів. Недостача вологи в цей період різко знижує урожай.

Після викидання волоті вплив сортових особливостей на швидкість розвитку кукурудзи проявляється менше, ніж у період утворення листків. При підвищенні температури вдень до 30–35 °С, низькій відносній вологості і запасах продуктивної вологи менше 20–30 мм у шарі ґрунту 0–50 см в період після викидання волоті значно знижується кількість зерен у качані.

Найбільш сприятливі умови для наливу зерна складаються при середній добовій температурі повітря від 20 до 24 °С і запасах продуктивної вологи 60–70 мм і більше у півметровому шарі ґрунту. Осінні заморозки –2...–3 °С ушкоджують листки, а качани в період молочно-воскової стиглості можуть переносити заморозки до –4... –5 °С.

Тривалість вегетаційного періоду кукурудзи в залежності від сорту й агрометеорологічних умов коливається від 90 до 160 днів. Кукурудза є світлолюбною рослиною і вимагає інтенсивного сонячного освітлення. Дуже висока щільність посівів призводить до зниження урожаю зерна. Найбільші урожаї зерна кукурудзи спостерігаються при листовій поверхні 30–35 тис. м²/га.

Кукурудза відноситься до порівняно засухостійких культур, на утворення одиниці сухої речовини вона споживає менше води, ніж ярі зернові культури. Однак на одиницю площі кукурудза вимагає вологи більше, ніж інші зернові культури, у зв'язку з її більш високими урожаями.

Кукурудза дуже чутлива на зрошення. Якщо вологість ґрунту під час росту і розвитку кукурудзи підтримується на рівні 70–80 % найменшої вологомісткості, то урожаї зерна в степовій зоні збільшуються в 3–3,5 рази в порівнянні з посівами, що знаходяться в умовах природного зволоження.

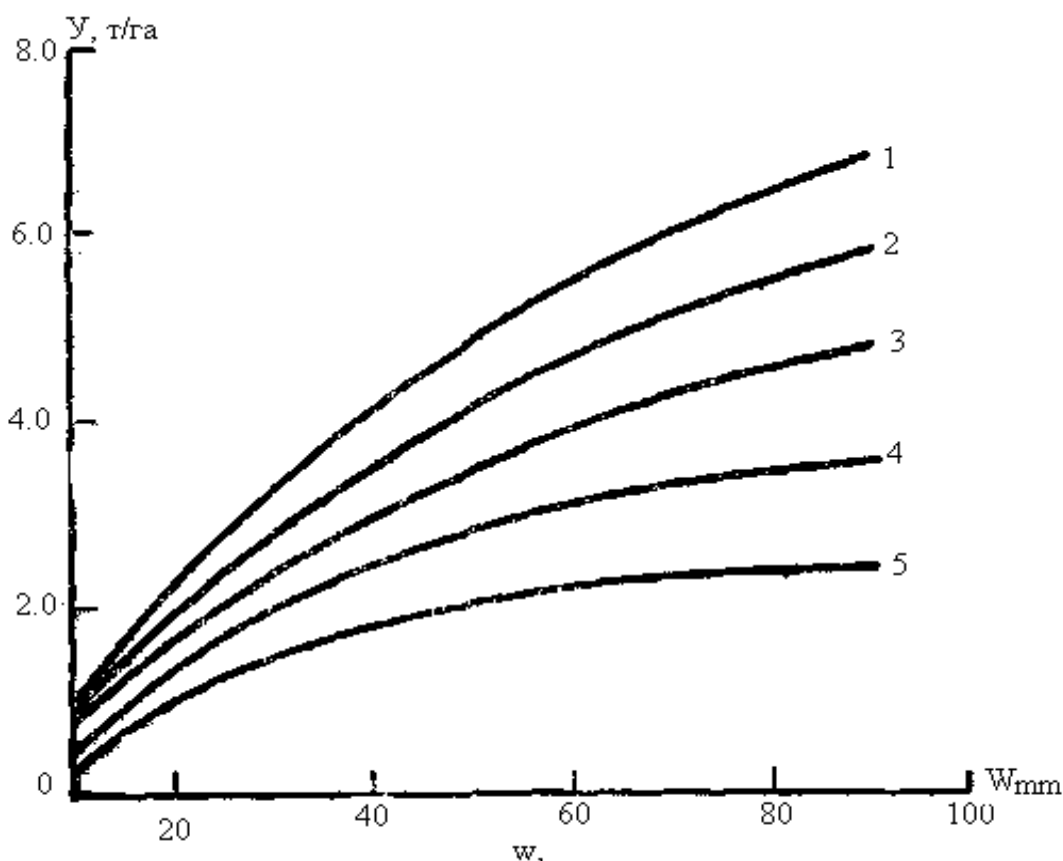


Рис.6.2 - Залежність урожаю зерна кукурудзи U від запасів продуктивної вологи w на фазу викидання волоті при різній площі листкової поверхні (Ю.І. Чирков). Площа листкової поверхні: 1) 30 тис. m^2 /га; 2) 25 тис. m^2 /га; 3) 20 тис. m^2 /га; 4) 15 тис. m^2 /га; 5) 10 тис. m^2 /га.

Просо (*Panicum*). Площі його посіву невеликі – в межах 200–250 тис. га. В основному вони розміщені у Степу і Лісостепу. Урожайність дуже низька – 14–16 ц/га і тільки в окремі найбільш сприятливі за погодними умовами роки вона дещо вища. Рівень виробництва проса не забезпечує потреби у пшоні. У науково-дослідних установах, на сортодільницях, де дотримуються елементарних умов технології, в основному борються з бур'янами як хімічними, так і агротехнічними заходами, урожайність його становить 30–40 ц/га, а в кращі роки вона досягає 50 ц/га. Це вказує на те, що валовий збір зерна проса можна збільшити в 2–2,5 рази без розширення посівних площ і повністю задовольнити потреби населення у пшоні.

Просо належить до теплолюбних рослин короткого дня. Проростання насіння починається при температурі ґрунту 6–8 °С, але оптимальна температура проростання 25 – 30 °С. Тому просо належить до числа культур щодо пізніх термінів сівби. Сходи проса з'являються при нагромадженні суми ефективних температур 150 °С и ушкоджуються заморозками –2... –3 °С.

Характерною рисою проса є повільний ріст його на початку вегетації. Найбільш сприятлива температура для росту і розвитку рослин 18–24 °С. Викидання волоті проса настає після нагромадження суми ефективних температур 600 °С. Мінімальна температура для цвітіння проса близько 15 °С. Високі температури (35–40 °С) просо переносить краще, ніж інші зернові.

По посухостійкості просо займає одне з перших місць серед інших польових культур. Транспіраційний коефіцієнт у нього становить 226–277 одиниць. Просо є незамінною культурою в посушливих районах і широко використовується як страхова культура для пересіву загиблих озимих або ранніх ярих зернових культур. Найбільша потреба у волозі спостерігається в нього в період від виходу в трубку до викидання волоті.

Просо добре використовує опади другої половини літа і може висіватися як пожнивна культура. Оптимальні запаси вологи у ґрунті для формування високого урожаю складають 60–80 % найменшої вологомісткості протягом усього періоду вегетації. Вегетаційний період різних сортів проса триває від 60 до 120 днів. Незважаючи на високу посухостійкість, просо дуже чутливе на зрошення і при поливі в посушливі роки його урожайність буває в 6–7 разів вище в порівнянні з урожаєм на неполивних полях.

Гречка (*Fagopyrum sagittatum*) Основні посіви гречки зосереджені у Лісостепу, де розміщено 77 % її посівів і виробляється 84 % зерна. В дев'яностих роках площі гречки зросли до 450 тис. га при урожайності 12–13 ц/га. Проте потенціальна можливість таких нових сортів гречки, як Астра, Любава, Крупинка, Скоростигла 86, їхніх технологій вирощування, реалізується ще далеко не повністю. Тому збільшення виробництва зерна гречки в першу чергу буде відбуватись за рахунок підвищення урожайності до 20–22 ц/га. Як свідчать дані науково-дослідних установ і сортодільниць, у північних районах Степу урожайність гречки не нижча, ніж на сортодільницях Лісостепу. Тому є можливість збільшити виробництво гречки за рахунок розширення її посівів в північних районах Степу.

Насіння гречки починає проростати при температурі близько 6 °С, але дружні сходи з'являються на 5–7-й день при температурі 15–20 °С. Сходи гречки дуже чуттєві до заморозків і ушкоджуються при зниженні температури повітря до –1... –2 °С.

Гречка відрізняється швидким розвитком: через 8–10 днів після появи сходів рослини утворюють бутони, а через 25–30 днів вони зацвітають. При температурі нижче 12–13 °С ріст гречки сповільнюється. У період цвітіння сприятлива сонячна погода при середній добовій температурі повітря 16–20 °С і короткочасні слабкі дощі. При температурі 10 °С і нижче протягом 4–6 ночей цвітіння і налив зерна гречки припиняються.

У період цвітіння гречка погано переносить температуру вище 30 °С і посушливу погоду, що призводить до неповного запліднення і засихання зав'язей. Неприятливі в цей період також тривалі зливові дощі і тумани. Заморозки до –1 °С ушкоджують квітки і листки, а до –2 °С викликають загибель бутонів, квіток і листків, сильно ушкоджують стебла рослин.

Для формування гарного урожаю гречці необхідна велика кількість води, особливо в період цвітіння й утворення зерна, що обумовлено високим транспіраційним коефіцієнтом (500–600). Зростання кількості опадів у період від початку цвітіння до дозрівання від 40 до 100 мм викликає значне (у 2–3 рази) збільшення урожайності, хоча реакція різних сортів гречки на ту саму кількість опадів різна.

Сорти Богатир і Більшовик-4 мають приблизно однакову продуктивність при однаковій кількості опадів. Сорт Слов'янка при однакових умовах зволоження менш продуктивний, ніж інші порівнювані сорти. Скоростиглий сорт Стародубська при малій кількості опадів (не більш 100 мм) за період від цвітіння до дозрівання більш урожайний, чим середні і пізньостиглі сорти. Вегетаційний період гречки в залежності від сортових особливостей продовжується 50–90 днів.

Короткий вегетаційний період гречки і можливість висіву в пізні терміни дозволяють використовувати її як страхову культуру для пересівання загиблих озимих і ранніх ярих зернових культур, а в південних районах – як пожнивну культуру.

Рис. (*Oryza sativa*). Рис в Україні займає 25–30 тис. га. Вирощується він на поливних землях Півдня України, де виробляється 150–200 тис. т зерна. Розширення його посівних площ можливе лише з будівництвом нових зрошувальних систем.

Рис – дуже теплолюбна культура. Навіть у сортів, районованих на північній границі ареалу його вирощування, насіння проростає при температурі 11–12 °С, а сходи з'являються при температурі ґрунту і води 14–15 °С. У період куціння для рису необхідна температура не нижче 15–18 °С, а під час цвітіння 18–20 °С. Найбільш сприятлива температура для росту і розвитку рослин 25–30 °С, але не більш 40 °С. Цвітіння рису при температурі 25 °С і вище відкрите, а при температурі нижче 20 °С частіше буває закритим. При зниженні температура до 15 °С стерильність квіток на волоті досягає 30–40 %.

У період молочної стиглості рис вимагає температури не нижче 15–18 °С, а при настанні воскової стиглості – не нижче 12–15 °С. При зниженні температури в період молочної і воскової стиглості до 10 °С налив і дозрівання зерна припиняються. Для утворення повновагих зернівок найбільш сприятлива температура повітря 24–25 °С, температура шару води 19,5–21,0 °С. Заморозки –0,5 °С уже небезпечні для рису, а зниження температури до –1 °С ушкоджує рослини в усі фази розвитку.

Рис дуже вологолюбна рослина і тому вирощується при постійному затопленні водою від посіву до молочної стиглості в умовах укороченого затоплення. Транспіраційний коефіцієнт рису змінюється в залежності від сорту й умов вирощування від 230–290 до 980–1100.

Рис прискорено розвивається при короткому дні. Тривалість вегетаційного періоду складає від 85–100 днів у скоростиглих сортів, до 135–145 днів - у пізньостиглих.

Сорго. (*Sorghum vulgare*) Вирощується на Півдні України. Сорго дуже теплолюбна і світлолюбна рослина. Зерно проростає при температурі 11–12 °С, Сходи сорго ушкоджуються заморозками –2...–3 °С. Рослини добре ростуть і розвиваються при температурі до 33 °С и переносять підвищення температури до 38–40 °С. Сорго дуже чутливе до зниження температури вночі. При середній нічній температурі 14 °С і денній 20 °С ріст і розвиток рослин сповільнюється.

Серед зернових культур сорго є одним з найбільш засухостійких рослин. У сухі і дуже жаркі періоди його листки скручуються, і ріст рослин припиняється, а після випадання дощів рослини відновлюють ріст.

Тривалість вегетаційного періоду сорго залежить від скоростиглості і складає 90–150 днів. Транспіраційний коефіцієнт сорго варіює від 180 до 340. Будучи засухостійкою рослиною, сорго, у той же час дуже чутливе на гарне зволоження і може давати при зрошенні 10–12 т/га зерна.

Контрольні питання

1. Охарактеризуйте значення зернових культур.
2. Охарактеризуйте хімічний склад зерна зернових культур.
3. Озима пшениця, особливості розвитку, вимоги до навколишнього середовища.
4. Озиме жито. Райони вирощування, вимоги до навколишнього середовища.
5. Вимоги до навколишнього середовища ярої пшениці.
6. Ярий ячмінь, особливості розвитку.
7. Значення вівса та його вимоги до зволоження ґрунту.
8. Кукурудза, сорти та гібриди, вимоги до тепла.
9. Просо. Особливості вирощування.
10. Сорго, вимоги до умов вирощування.
11. Рис. Вимоги до умов навколишнього середовища.
12. Особливості вирощування гречки.

6.2 Зернобобові культури

Зернобобові культури мають велике значення в зерновому і кормовому балансі господарств. У складі зернобобових культур нараховується близько 60 видів: соя, горох, квасоля, боби, люпин, вика, чина, нут, сочевиця, арахіс і ін. У зв'язку з тим, що серед зернобобових культур є холодостійкі і теплолюбні, посухостійкі і вологолюбні, їх вирощують повсюдно.

Зерно бобових культур широко використовується на харчові, кормові та технічні потреби. Характеристика хімічного складу зерна наводиться в табл. 6.4.

В зерні майже всіх зернобобових культур містяться анти поживні речовини (інгібітори ферментів, алкалоїди та ін.) що знижує цінність цих культур.

Важлива особливість зернобобових культур полягає в біологічній фіксації азоту атмосфери. При цьому рослини не тільки забезпечують основну потребу в азоті, а й збагачують ґрунт та підвищують його родючість.

Зернобобові культури є кращими попередниками для більшості польових культур [66].

Основною особливістю, що визначає народногосподарську цінність зернобобових культур, є високий вміст білку в їхньому насінні, стеблах і листках. Білки в насінні і вегетативних органах створюються в основному за рахунок азоту повітря. Володіючи здатністю використовувати атмосферний азот (за допомогою бульбашкових бактерій), зернобобові рослини збагачують ґрунт азотом і підвищують його родючість.

Таблиця 6.4 – Хімічний склад зерна зернобобових культур (%) (за С.П. Танчиком)

Культура	Білок	Вуглеводи	Жир	Клітковина	Зола
Горох	20 - 35	20 - 48	1,3-1,5	3,0-6,0	2,0-3,1
Кормові боби	25 - 35	50 - 65	1,0-1,3	3,4 - 6,0	2,6 - 4,1
Соя	30 - 55	20 - 32	13 - 26	2,9-11,0	4,5-6,8
Люпин	30 - 48	17 - 39	3,7-14,0	11,0-18,0	2,5-4,0
Квасоля	22 - 32	50 - 60	2,3-3,6	5,0-7,1	2,5-4,6
Чина	25 - 34	24 - 25	0,5-1,2	4,0-5,4	2,5-3,0
Нут	18 - 34	47 - 60	4,0-7,2	2,4-12,0	2,5-4,9
Сочевиця	22 - 36	47 - 60	0,6-2,1	2,4-4,9	2,0-4,4

У структурі посівних площ усіх зернових культур зернобобові на

Україні займають до 10 %. Основною зернобобовою культурою є горох, який займає 90 % усіх посівних площ цих культур, на яких вирощується 92 % зерна.

Горох (*Pisum sativum*). Зерно гороху містить 20-23 % білку, крохмаль, цукри, жир, вітаміни, каротин, мінеральні речовини. Горох – однолітня, травяниста, самозапильна рослина з вилягаючим стеблом. В онтогенезі гороху розрізняють фенологічні фази: проростання насіння, сходи, бутонізація, утворення бобів, досягання. Вегетаційний період більшості сортів становить від 70 до 100 днів. Горох – найбільш скоростигла культура серед зернобобових культур.

В останнє десятиріччя виробництво зерна гороху збільшилось в Україні майже в 1,8 рази. Вирощується горох по всій території України.

У Лісостепу розміщується 36 % посівних площ гороху і виробляється 51 % його зерна. У сівозмінах правобережної частини цієї зони він займав до 1,5 поля, а лівобережної – одне поле. Подальше насичення сівозмін горохом призводить до зараження ґрунту фузаріозом і до загибелі посівів, як це мало місце в деяких господарствах. Збільшення виробництва гороху в цій зоні можна досягти за рахунок його сумісних посівів з ячменем.

У лівобережних районах Лісостепу урожайність гороху становить 19–27 ц/га. У Полтавській області на Новосанжарській сортодільниці в середньому за шість років урожайність гороху становила 18,6 ц/га, на Миргородській – відповідно 22,9 ц/га, Пирятинській – 26,6 ц/га і Барвенківській Харківської області – 25,8 ц/га.

У Поліссі площі посіву гороху становлять лише 1 % у зерновому кліні. Розміщуються вони на найродючіших ґрунтах. Горох негативно реагує на кислотність ґрунтів, і подальше розширення його посівних площ не перспективне.

Проростання насіння гороху можливе при температурі, близькій до 0 °С, що дозволяє сіяти його в ранній термін. З підвищенням температури до 8–10 °С насіння проростають за 4–6 днів. Сходи гороху з'являються при нагромадженні сум ефективних температур (вище 3 °С) 110 °С і без значних ушкоджень можуть переносити заморозки до –7...–8 °С. Оптимальна температура для росту і розвитку гороху складає 18–25 °С.

Горох відноситься до вологолюбних культур. Для одержання високих урожаїв необхідна вологість ґрунту 70–80 % НВ. Транспіраційний коефіцієнт залежить від сорту і погоди і коливається від 300 до 600. Багато сортів добре переносять надлишок вологи у ґрунті, але близькість ґрунтових вод несприятливо впливає на ріст і розвиток рослин. При доброму розвитку кореневої системи посіви нормально переносять короткочасну ґрунтову посуху.

В умовах України найбільш шкодочинні по посівах гороху кореневі гнилі, переноспороз і аскохітоз. Із шкідників на посівах гороху найбільш поширені бульбочкові довгоносики, попелиці, горохова плодожерка, вогнівки, трипси, гороховий комарик, горохова зернівка.

Со́я (*Glycine max*). Головна білково-олійна культура світового землеробства. За вмістом білка со́я займає перше місце серед зернових і зернобобових культур.

Сою висівають на всіх континентах. За обсягом виробництва со́я в 2,3 рази перевищує всі разом узяті однорічні зернові бобові культури.

В Україні площі під посівами со́ї становлять 610 тис.га.

Со́я – однорічна трав'яниста, самозапильна рослина. В онтогенезі со́ї розрізняють такі фенологічні фази: проростання насіння, сходи, утворення першого трійчастого листка, гілкування, бутонізація, цвітіння, формування бобів, початок пожовтіння бобів, досягання. Вегетаційний період со́ї становить 100 – 160 днів.

Со́я – вимоглива до тепла рослина. Створення і впровадження ранньостиглих сортів со́ї дало можливість успішно вирощувати її в Лісостепу, навіть у західних та північних районах, і одержувати до 20–25 ц/га зерна. У Степу за урожайністю со́я прирівнюється до гороху. Тут є можливість збільшити виробництво її зерна за рахунок розміщення посівів на поливних землях, де урожайність її досягає 25–30 ц/га. Площі посіву со́ї в дев'яностих роках зросли вдвічі і становлять 100 тис. га. Стримуючим фактором розширення її посівних площ є відсутність налагодженої переробки зерна.

Для її розвитку необхідна тривалість періоду з температурою вище 15°C 130–150 днів. Насіння со́ї починає проростати при температурі 8 °C, але хороші умови для проростання насіння створюються при температурі повітря в період сівби близько 15...16 °C. При середній добовій температурі повітря 19...22 °C сходи со́ї з'являються через 6–7 днів. Сходи починають ушкоджуватися при заморозках –3... –4 °C.

Тривалість періоду поява сходів – цвітіння в залежності від температури змінюється від 50 до 75 днів. Хороші умови теплозабезпеченості в цей період складаються при температурі 20...21,5 °C. Період від появи першого боба на рослині до максимального їхнього числа складає 20–30 днів. Поява квіток і плодів можлива в широкому діапазоні температур повітря від 11,5 до 27°C, однак оптимальні умови теплозабезпеченості складаються при температурі 23...25 °C.

Коренева система рослин має порівняно невеликі розміри, тому со́я висуває підвищені вимоги до вологи. У період цвітіння і формування бобів потреба со́ї у волозі помітно збільшується. Сприятливі умови для формування урожаю створюються, якщо за вегетаційний період випадає

350–450 мм опадів, а вологість ґрунту в період від сходів до цвітіння складає 70 %, від цвітіння до утворення плодів – 80 % і в період дозрівання – 60-70 % найменшої вологомісткості.

Чина посівна (*Lathyrus*). Чина використовується як кормова культура: висівають на зерно, зелений корм і сіно. В Україні вирощують один вид чини – чину посівну (*Lathyrus sativus L.*). Це гілляста однорічна рослина, 60 – 120 см заввишки. В нашій країні поширені такі сорти: Красноградська 4, Красноградська 5, Красноградська 6, Красноградська 7, Красноградська 8. Найвищі врожаї чини збирають при звичайному рядковому посіві.

Оскільки сходи чини витримують значне зниження температури, висівають її одночасно з ранніми зерновими культурами.

Чина – холодостійка рослина. При температурі 1°C її насіння починає бубнявити, а при 2...4°C – дружно проростати. Оптимальна середньодобова температура для цвітіння і досягання чини становить 20...22°C. Сума позитивних температур за період від сівби до досягання коливається від 1500 до 1800 °C.

Для проростання насіння чини вбирає 101...102 % води від своєї маси. Транспіраційний коефіцієнт – 400 відн. од. Чина легко переносить посуху. Вимоглива до зволоження ґрунту в період бутонізації та цвітіння. Чина – рослина довгого світлового дня. Вимоглива до світла.

До ґрунтів чина не вимоглива. Придатні різні типи ґрунтів, окрім перезволожених і засолених. Потребує нейтральної чи слабо лужної реакції ґрунту.

Вегетаційний період чини триває від 90 до 115 днів.

Сочевиця (*Lens culinaris*) – одна з найдавніших культурних рослин. Вирощується в Лісостепу та Степу. Цінна продовольча і кормова культура. Світова площа посіву становить 3,4 млн.га. Середня врожайність сочевиці в Україні становить 12 – 13 ц/га. За розміром зерна сочевицю поділяють на два підвиди: крупно насінну (маса 1000 зерен 60...65 г) та дрібнонасінну (20-25 г).

В Україні районовані сорти сочевиці: Дніпровська 3, Нова луна, Красноградська 250, Луганчанка, Світанок та ін.

Насіння сочевиці проростає при температурі 4...5 °C. Сходи добре переносять весняні заморозки до –4... –5 °C, а при температурі –7... –8°C ушкоджуються лише верхівки листків, що дозволяє висівати сочевицю в ранні терміни. Запізнювання із сівбою значно знижує урожай зерна. Вимоги до тепла в неї вище, ніж у гороху, що обмежує її проростання на північ.

Потреба у волозі в сочевиці для набрякання і проростання насіння висока, але вона відрізняється більш високою посухостійкістю, чим горох.

В період наливу і досягання перезволоження спричиняє утворення великої зеленої маси, і зменшення бобів і зерен.

У більшості районів сочевиця поступається гороху в урожайності.

Сочевиця відноситься до рослин довгого дня. Зацвітає через 40 – 45 днів після сходів. Цвітіння тривале, особливо в дощову похмуру погоду. Тривалість вегетаційного періоду складає 85–110 днів. Вимоги до тепла в неї вище, ніж у гороху, що обмежує її просування на північ.

Збирання сочевиці переважно роздільне і його потрібно починати коли 60 – 70 % бобів досягне повної стиглості.

Квасоля (*Phaseolus vulgaris*). В Україні квасолі вирощують у південних і лісостепових районах на площі біля 20 тис.га. з середнім рівнем врожайності 10 – 13 ц/га.

Квасоля – одна з найбільш теплолюбних культур серед зернобобових. Найбільш поширені види квасолі: звичайна, гостролиста, багатоквіткова, лімська, золотиста.

Найбільш сприятливі умови для вирощування квасолі мають господарства Івано-Франківської, Львівської, Чернівецької та Сумської областей. Тут вона забезпечує найвищі урожаї. Низький рівень механізації вирощування та збирання квасолі гальмує нарощення її посівних площ.

Насіння її починає проростати при температурі 10...12 °С, а сходи ушкоджуються при заморозках –1,0... –1,5 °С. Тому висівають квасолі після закінчення весняних заморозків і стійкому прогріванні ґрунту до 12– 15 °С. Хороші умови для росту і розвитку рослин складаються при температурі 20–25 °С.

Квасоля відноситься до вологолюбних культур, потреба у волозі особливо зростає в період цвітіння і зав'язування бобів, у той же час вона погано росте на важких глинистих ґрунтах з високим рівнем ґрунтових вод. Квасоля добре переносить деяке затінення, що дозволяє обробляти її в змішаних посівах з іншими рослинами.

Квасоля досить вимоглива до ґрунтів. Вона краще росте на легких чорноземах і суглинистих родючих ґрунтах з нейтральною реакцією ґрунтового розчину.

Вегетаційний період у різних сортів квасолі коливається від 75 до 120 днів і більш.

В Україні районовано 15 сортів звичайної квасолі, з яких найбільше поширені: Буковинка, Дніпрянка, Докучаєвська, Мавка, Надія, Зіронька, Загадка, Лаура, Присадибна, Пантера, Полька, Українка та ін.

Збирання врожаю квасолі починають, коли у 70 – 80 % бобів побуріє та затвердне насіння, а листя почне засихати і опадати.

Кормові боби (*Faba bona*) У західних і північних районах Лісостепу,

на півдні Полісся перспективною є культура кормових бобів, яка в виробничих умовах може забезпечити урожайність до 30–40 ц/га високобілкового зерна. Проростання насіння кормових бобів починається при температурі 3–4 °С, а сходи можуть перенести короточасні заморозки до –5...–6 °С. Вимоги до тепла при подальшому росту і розвитку рослин не відрізняються від гороху.

Кормові боби висувають підвищені вимоги до вологості у посушливих умовах дають низькі урожаї насіння і силосної маси. Тривалість вегетаційного періоду при вирощуванні на зерно складає 90–145 днів.

Контрольні питання

1. *Значення зернобобових культур у забезпеченні людства рослинним білком.*
2. *Загальна ботанічна характеристика зернобобових культур.*
3. *Відношення гороху до умов навколишнього середовища.*
4. *Перелічіть райони вирощування зернобобових культур та їх середню врожайність.*
5. *Значення сої, її відношення до ґрунтів.*
6. *Значення сочевиці та чини. Їх відношення до умов навколишнього середовища.*
7. *Кормові боби, їх значення, ареал розповсюдження, середні врожаї.*

6.3 Прядивні та олійні культури

Бавовник (*Gossypium Hirsutum*) – багаторічна культура короткого дня універсального використання.

У насінні бавовнику міститься 20-27 % напіввисихаючої олії, що використовується на харчові потреби. Крім того, у бавовнику міститься до 40 % високоякісного білка.

Бавовник – основна прядивна культура світу. Світова посівна площа його становить близько 35 млн.га. В Україні площі його не перевищують 3 тис. га.

Ця культура традиційно вирощується у Середній Азії. В Україні в 1930–1940 рр. бавовник вирощувався на Півдні України на сортовипробувальних ділянках. У зв'язку зі збільшенням теплозабезпеченості вегетаційного періоду, викликаного змінами клімату, повернення його до вирощування цілком ймовірно. Бавовник вирощується тільки в умовах зрошеного землеробства. Протягом вегетаційного періоду його вимоги до тепла і вологості не залишаються постійними.

Сіяти бавовник починають, коли ґрунт на глибині 10 см прогрівається до 12...15°С.

В умовах добре обробленого і вологого ґрунту в квітні і на початку травня відбувається проростання насіння бавовнику при середній добовій

температурі 10–11 °С. Поява сходів відзначається через 30–40 днів, однак за цих умов рослини виявляються ослабленими, часто уражаються кореневою гнилизною, а посіви – зрідженими. Тривалість періоду сівба – сходи в умовах оптимальної вологозабезпеченості залежить від середньої добової температури повітря.

Хорошими умовами для появи сходів вважаються: середня добова температура повітря 14 °С і вище. Для появи сходів бавовнику необхідна сума середніх добових температур (вище 10 °С) рівна 84 °С. Запаси продуктивної вологи на глибині закладення насіння (0–5 см) 6–10 мм. Зниження запасів вологи в цьому шарі до 5 мм і нижче в умовах сухої і вітряної погоди затримує появу сходів. Для сходів бавовнику велику небезпеку представляють пізні весняні заморозки на поверхні ґрунту мінус 0,5...1,0 °С.

Після появи сходів швидкість розвитку бавовнику в умовах достатньої вологозабезпеченості визначається температурою повітря.

У момент розгортання 7-го листка в бавовнику середньостиглих сортів відбувається масова закладка плодових (сімподіальних) пагонів, на яких розвиваються бутони, а надалі квітки і коробочки.

Тривалість періоду сходи – бутонізація варіює від 22 до 50 днів в залежності від температури повітря. Несприятливі умови складаються для бавовнику при середній добовій температурі повітря 30 °С і більше, особливо в поєднанні з низькою вологістю повітря (повітряна посуха).

В період бутонізації – цвітіння рослини значно збільшуються в розмірах, починається змикання крон при рядковому посіві, коренева система досягає глибини 70–80 см.

Фаза цвітіння настає при нагромадженні, розрахованих від дати сівби, сум ефективних температур вище 10 °С у скоростиглих сортів близько 970 °С, у середньостиглих – 1000 °С, у пізньостиглих тонковолокнистих сортів – 1100 °С.

У період цвітіння – розкриття перших коробочок відбувається подальше нагромадження плодових елементів бавовнику: закладка нових бутонів, цвітіння, формування коробочок, дозрівання бавовняного волокна і насіння. В умовах сухої і жаркої погоди при недостатній вологозабезпеченості посівів спостерігається обпадання бутонів та коробочок, що значно скорочує кінцевий урожай бавовнику-сирцю.

На початку періоду розкриття коробочок і збирання урожаю бавовнику-сирцю в рослинах йде процес висихання стулок у перших коробочок і одночасне формування, і дозрівання насіння і волокна в коробочках, що утворилися пізніше.

Темпи розкриття коробочок визначаються температурою і вологістю повітря і ґрунту, швидкістю вітру, інтенсивністю випаровування і т.д.

До машинного збору бавовнику-сирцю звичайно приступають у період, коли частка опалих листків після обробки посівів спеціальними

хімічними речовинами – дефоліантами складає 75–80 %, а кількість коробочок, що розкрилися, досягає 70 % від загальної кількості на рослинах. Урожайність бавовнику-сирцю сучасних сортів варіює від 2,0 до 4,5 т/га.

Основні сорти бавовнику – Валент, Дніпровський 5, Підозерський 4, Рейкою 22. Найкращим попередником для бавовнику є люцерна.

Льон (*Linaceae*) відноситься до числа кращих лубоволокнистих рослин. Основні посівні площі цієї культури розміщуються у Поліссі.

Льон-довгунець – рослина довгого дня; він невимогливий до тепла і вирощується тільки в районах, добре забезпечених вологою. Однак він погано переносить надлишкове зволоження і високий рівень стояння ґрунтових вод. Швидкість проростання насіння в умовах достатнього зволоження залежить від температури: при 18–20 °С для проростання необхідно 4–6 днів, при 7 °С до 11–13 днів, при 1–3 °С до 25–30 днів; кращою температурою для проростання насіння вважається 10–12 °С. Сходи льону витримують зниження температури повітря до –2... –3 °С.

У період інтенсивного росту рослин – через 15–20 днів після сходів і до цвітіння льон дуже вимогливий до зволоження ґрунту, його транспіраційний коефіцієнт складає 400–460. Оптимальною температурою цього періоду є 10–15 °С; при достатній зволоженні ґрунту в цих умовах швидко збільшується висота рослин і технічна довжина волокна. При більш високій температурі повітря (17–25 °С) і високій сонячній радіації розвиток рослин прискорюється, але затримується ріст стебла, підсилюється розгалуження, що знижує технічну цінність волокна. Ріст стебла льону припиняється з настанням фази цвітіння.

Сприятливими умовами для вирощування льону є помірні температури літа з частими несильними дощами. Опади зливого характеру із сильним вітром спричиняють полягання посівів, у результаті чого погіршуються умови збирання льону, знижується якість його волокна.

Вегетаційний період залежить від сорту і складає 70–90 днів. Середня урожайність лляного волокна 0,36 т/га, а в передових господарствах вона досягає 0,8-1,0 т/га.

Льон-кудряш (рогач) – низькоросла рослина (30–50 см), яка має сильно розкущене в основі стебло і велику кількість коробочок (до 50 і більше); вирощується як олійна культура. Цей вид менш вимогливий до вологи, але має потребу в більшій кількості тепла. Вирощується льон – кудряш для виробництва технічної олії.

Соняшник (*Helianthus*) – основна олійна культура в нашій країні. На його частку припадає 70 % площі всіх олійних культур.

Соняшник – однорічна рослина з родини складноцвітних (*Helianthus Annuus L.*). Батьківщина соняшника – Північна Америка, в якій відкрито соняшник близько 2000 років тому. До Європи соняшник завезено іспанцями.

Соняшник дуже цінна олійна культура, у листі і квітках якої виявлено флавоноїди, сапоніни, стеарин, антоціан. У насінні близько 40% олії, іноді до 50 – 52 %, білків – 20%, вуглеводів – 25 %. Крім того багато органічних кислот, фосфоліпідів. Олійні сорти вміщують в середньому 35 % олеїнової кислоти, та 60 – 65 % лінолевої кислоти. До олійних сортів відносяться сорти Харківський 3, Харківський 7, Прометей, Чумак та ін.

Стебло соняшника висотою від 0,6 до 3 м, пряме переважно без гілок, покрите жорсткими волосками використовуються для виготовлення палива. Листя чергове на довгих черешках темно-зелене, овальне серцеподібне з пластиною до 40 см з пилчастими краями. Площа листя відіграє значну роль у формуванні врожаю соняшника, тому необхідно створювати умови для формування найбільшої площі асиміляції.

Формування суцвіть у скоростиглих сортів починається в фазі 3 – 5 пари , середньостиглих – 5 – 6-ї пари та пізньостиглих – 8-10 ї пари листків [66, 74]. Неприятливі умови в цей період (нестача живлення, погане освітлення тощо) спричиняють формування кошика з недостатньою кількістю квітів, що у подальшому навіть при сприятливих умовах значно зменшує врожай соняшника. Тривалість вегетаційного періоду соняшника в залежності від скоростиглості сортів коливається у межах від 75 до 140 днів .

Квітки у верхівкових дуже великих кошиків 30 – 50 см в діаметрі, протягом дня повертаються за сонцем. Соняшник утворює одне суцвіття, але бувають додаткові відростки з малими суцвіттями. Цвіте у липні, серпні. Квіти соняшника зібрані в суцвіття – кошик, діаметр якого коливається від 10 до 40 см ..

Цвітіння однієї рослини в залежності від умов навколишнього середовища триває 8 – 10 діб. Починається цвітіння від країв кошика і поступово наближається до центра.

Плоди – довгасті яйцеподібні сім'янки, слабо гранчасті 8 – 15 мм довжиною, 4 – 8 мм шириною з шкіряним оплідям. Період наливу сім'янок продовжується в середньому біля 35 днів від часу запліднення. Тривалість цього процесу залежить від погодних умов, агротехнічних заходів та сортових особливостей соняшника. Посушливі умови несприятливо впливають на налив, значно його скорочуючи та зменшуючи інтенсивність.

Амплітуда вміщення масел у насінні соняшника коливається від 25 до 75 % на абсолютно суху масу ядра насіння. В період наливу насіння відбувається відтік пластичних речовин із листків, стебел та кошика до насіння.

Накопичення масел в насінні починається з моменту формування ядра насіння і продовжується до повної стиглості насіння. Максимальний вміст масел в насінні відмічається через декілька днів після настання фази фізіологічної стиглості.

Корінь – мичкуватий. Розмножується соняшник посівом насіння. Насіння заглиблюється на глибину 2 – 2,5 см. Іноді соняшник висівають як кулісну культур. Соняшник має міцне та дуже розвинуте коріння. Його коріння проникає в ґрунт до 140 – 250 см. Гільчаться в сторони – на 60-90 см.

Найбільш придатні ґрунти – чорноземи, каштанові та сірі лісові. Погано росте на піщаних, солонцюватих та важких ґрунтах. За вимогами до ґрунтового – кліматичних умов соняшник поділяється на три групи

- 1 – гібриди для степової зони (Дунай, Запорізький 14);
- 2 - гібриди Лісостепу (Запорізький 28, Супер 25);
- 3 – гібриди степу і лісостепу (Дніпр, Дністр, Одеський 504, Харківський 49, Харківський 58).

У 2010 році до Реєстру сортів рослин України внесено 278 сортів і гібридів соняшника.

У світовому виробництві олійних культур соняшник займає 8%, або 27 млн. га. Основні посіви його зосереджені в Європі. В Україні під соняшником зосереджено близько 3,9 млн. га. За посівами соняшника Україна займає друге місце у світі.

Світове виробництво насіння соняшника – 30 млн.т. Урожайність насіння сучасних сортів досягає в середньому 1,6– 1,7 т/га, а в передових господарствах 2,0–2,5 т/га.

За морфологічними ознаками розрізняють три типи соняшнику: Лузальний, Олійний та Межеумок.

У розвитку соняшника від сівби до повного досягання розрізняють такі фази розвитку: сходи, перша пара справжніх листків, утворення кошика, цвітіння, досягання.

За тривалістю вегетаційного періоду сорти та гібриди соняшнику поділяють на скоростиглі (80-100 днів), ранньостиглі (100-120 днів), середньостиглі (120-140 днів), середньопізні (більше 140 днів). У виробництві відомі більше як 240 сортів і гібридів соняшника.

Насіння соняшника починає проростати при температурі 4 –6 °С, оптимальною вважається температура близько 20 °С, при якій сходи з'являються на 6–8-й день після посіву при достатньому зволоженні ґрунту. Сходи легко переносять короткочасні заморозки до – 3... –4 °С, а окремі сорти до –5... –6 °С.

Від фази сходів до цвітіння вимоги соняшника до тепла зростають. Оптимальною є температура 25–27 °С, несприятливою є температура повітря вище 30 °С. У період цвітіння заморозки –1... –2 °С виявляються згубними для всієї рослини.

Сума ефективних температур вище 10 °С – від 1400 °С для ранньостиглих сортів до 2500 °С для пізньостиглих сортів.

Соняшник вважається посухостійкою рослиною, однак він споживає велику кількість води. Найбільша потреба у волозі відзначається в період від утворення кошика до цвітіння: близько 60 % усієї необхідної рослині вологи за весь період вегетації. Транспіраційний коефіцієнт соняшника складає 470–570. Завдяки могутній і глибокій кореневій системі й опушенню надземних вегетативних органів соняшник виявляється стійким до короткочасних посух. Загальна витрата води соняшника за вегетаційний період у посушливі роки складає 280–290 мм, а у вологі роки – близько 400 мм.

Стійкість соняшника до весняних заморозків і висока потреба у волозі дозволяє висівати цю культуру рано навесні, а в південних районах – під зиму, завдяки чому рослини використовують зимово-весняні запаси ґрунтової вологи.

Соняшник – світлолюбна культура. Тривала похмура погода або затінення молодих рослин послабляють його ріст і розвиток, знижують якість насіння.

Для вирощування соняшника кращими ґрунтами вважаються чорноземні і каштанові ґрунти.

Ріпак. (*Brassica napus*) Озимий ріпак відноситься до холодостійких і найменш вимогливих до тепла культур.

За ґрунтовими умовами найсприятливіший для вирощування озимого ріпаку Лісостеп, задовільні - Степ та Прикарпаття, ризикована або малопридатна Поліська зона. Середня урожайність озимого ріпаку знаходиться на рівні 12–15 ц/га.

Проростати насіння ріпаку може вже при температурі 1 °С. Проте для одержання сходів на 3–4-й день погрібна температура від 14 до 17 °С. Повні сходи з'являються, коли сума активних температур повітря (вище 10°С) дорівнює 60–90 °С. Сходи також можуть переносити заморозки до –3...–5 °С. Для осінньої вегетації достатня сума активних температур вище 5 °С в межах 750–800°С, припинення осінньої вегетації відбувається при переході середньодобових температур через 2–3 °С в сторону спаду.

Загартування рослин ріпаку восени проходить у дві фази: світлову і темнову. Перша проходить при температурі від 5 до 7°С, тривалість її від 14 до 20 днів, припиняється з настанням мінусових температур. За цей час у листках накопичуються високоенергетичні речовини, включаючи розчинні сахара. Потім вони відтікають до кореневої шийки і точки росту. Друга фаза триває 5–7 днів при мінусових температурах від –5 до –7 °С. Рослини краще проходять загартування, коли в осінній період буває більше сонячних днів, ніж похмурих. Якщо такі умови склалися, то посіви витримують зниження температури до мінус 15–18 °С навіть у безсніжні

зими, під снігом – до мінус 25–30 °С.

Тому для формування високого рівня морозостійкості, а поряд з цим і зимостійкості, рослини повинні ввійти в зиму з добре розвинутою розеткою листя (6–8 штук) та кореневою системою (діаметр кореневої шийки 4–5 мм).

Весняне відновлення вегетації починається в період, коли середньодобова температура повітря становить близько 1,3 °С, а ґрунту 2,9 °С.

Найбільш сприятлива для росту вегетативної маси температура 18–20°С. В період цвітіння та дозрівання насіння потреба в теплі зростає, краща температура в цій фазі 22–23°С. Досить високі температури під час цвітіння призводять до опіків бутонів, які не розпустилися, а під час формування насіння можуть знижувати урожайність. Жиру в насінні ріпаку завжди буває більше, якщо він дозріває при температурі 10–15°С, і менше, коли дозрівання проходить при 25–30 °С.

Озимий ріпак відноситься до світлолюбних культур.

Озимий ріпак – це культура, яка висуває підвищені вимоги до вологозабезпеченості. При річній сумі опадів 600–700 мм він формує високу продуктивність, при 500–600 мм – задовільну, а якщо вона менша 400 мм – урожаї помітно знижуються.

У період формування стручків і досягання насіння ця культура потребує достатнього забезпечення вологою. Сприятлива також висока вологість повітря. При відсутності таких умов досягання урожаю прискорюється, внаслідок чого формується щупле насіння.

Серед інших олійних культур, що мають господарське значення, це – коноплі, рицина, кунжут, гірчиця, арахіс.

Контрольні питання

1. Народно – господарське значення прядивних культур.
2. Вимоги льону до умов навколишнього середовища.
3. Вимоги бавовнику до умов навколишнього середовища.
4. Народно-господарське значення олійних культур.
5. Біологічні особливості соняшника.
6. Вимоги соняшника до умов навколишнього середовища.
7. Морфологічні і біологічні особливості озимого та ярого ріпаку.
8. Вимоги ріпаку до умов навколишнього середовища

6.4 Коренеплоди і бульбоплоди

Цукровий буряк (*Beta vulgaris*) є основним джерелом сировини для цукрової промисловості в країні. Цукровий буряк має широку пристосованість до ґрунтово-кліматичних умов і висівається далеко за

межами основної зони бурякосіяння.

Рід буряк *Beta* відноситься до сімейства лободових (*Chenopodiaceae*). Він складається з 10 однорічних, дворічних і багаторічних видів, поширених у різних континентах, головним чином в дикорослому стані. Цукрова, столова, кормова і деякі інші культурні та дикі форми буряка є представниками одного і того ж виду *Beta vulgaris*.

Культурний буряк за способом використання підрозділяється на цукровий, накопичуються в корені до 20% і більше цукру: столовий, що містить 6-12% цукру, що має забарвлені коріння, листову, або мангольд, в коренях якої до 9-14% цукру, а листя і соковиті черешки використовують як овоч, і кормовий, що містить в коренеплодах 5-10% цукру.

Цукровий буряк - дворічна рослина. У перший рік утворюється лише розетка листя і потовщений корінь з великим запасом поживних речовин. Ріст і розвиток буряків першого року життя (після сходів) умовно можна розділити на три періоди. У перший період посилено росте листя і коренева система, головний же корінь (коренеплід) залишається мало потовщеним. Потім настає період посиленого росту коренеплоду. Інтенсивність росту листя в цей час сповільнюється. Нарешті, в третій період призупиняється ріст коренеплоду і в ньому починається посилене відкладення цукру. На другий рік з висадженого коренеплоду при сприятливих умовах утворюються квітконосні пагони з насінини.

Для утворення квітконосів коренеплоди в перший і другий рік життя потребують знижених температурах (від 0 до 8 градусів) протягом більш-менш тривалого часу. Іноді бувають екземпляри рослин, для росту, розвитку і освіти квітконосів яких вже в перший рік складаються сприятливі світлові та температурні умови, особливо при холодній весні і довгому дні. Такі рослини називаються "цвітухи" зустрічаються вони частіше в північних районах. У південних районах іноді бувають рослини, які тільки на третій рік дають квітконосні пагони і насіння. Такі рослини називаються "впертюхами".

Явище "цвітуха" і "впертюх" небажані. Квітучі рослини мають грубий корінь з малим запасом поживних речовин Щоб менше було "впертюх", маткові коренеплоди треба прибирати в пізні терміни і зберігати взимку при температурі не вище 2-3 градусів [66].

Листя. Сім'ядолі цукрових буряків виносяться на поверхню, виконуючи в перший час функції справжніх листків (фаза вилючки). Лише через тиждень-півтора з'являється перша пара справжніх листків. Лист буряків стебловий, серцевидний, краї хвилясті, поверхня часто гофрована. Всього за вегетаційний період утворюється до 50-70 і більше листків. Найшвидше нове листя з'являється в середині вегетації (через 1- 2 дні). До часу збирання врожаю половина і більше листків відмирає.

Коренева система. Цукровий буряк має стрижневу кореневу систему з сильно розгалуженими бічними корінцями, які розташовуються по обидві

сторони коренеплоду і проникають в глибину на 2-2,5 м і завширшки 40-50 см. Сильний розвиток кореневої системи робить цукровий буряк досить стійким проти посухи.

Коренеплід цукрових буряків конічної форми. З двох сторін на коренеплоді розташовані характерні поздовжні здавленості, де розвиваються бічні корінці. На поперечному розрізі коренеплоду добре видно 10-12 концентричних кілець, що представляють собою чергування судинно-волокнистих пучків і паренхімної тканини, в якій відкладається цукор. У коренеплоду буряка невелика головка, дуже коротка шийка і відносно переважаючий корінь [66].

Розподіл цукру в корені буряка нерівномірний. При вертикальному розрізі найбільше цукру в середній, найбільш розширеній частині кореня, при горизонтальному (поперечного) - між центральною і периферійною частинами кореня.

Суцвіття - кисть, квітки п'ятірного типу, з непоказним зеленуватим відтінком. Пилок буряка може розноситися по повітрю до 2-3 км. При близькому розміщенні висадки цукрових буряків з кормовою і столовою відбувається переапилення, що знижує цукристість цукрових буряків.

Плід - горішок. При бурінні плоди зростаються (в межах групи квіток) в супліддя в 2-6 горішків. Вага суплідь (клубочків) становить від 20 до 40 г і більше. Зародок насіння складається з двох сім'ядоль, підсем'ядольного коліна і зародкового корінця.

Цукровий буряк - помірно теплолюбна і вологолюбна культура. Вегетаційний період в перший рік життя 150-170 днів, у другий 100-130 днів. Цукристість і врожайність цукрових буряків сильно змінюються в залежності від кліматичних і ґрунтових умов, тривалості вегетаційного періоду, форм і доз добрив, строків збирання і т.ін.

Фази розвитку. Сходи: а) перші сходи появи сім'ядоль над поверхнею ґрунту в окремих місцях; б) масові сходи - також на більшій частині ділянки; перша пара справжніх листків (1-й справжній лист). Між сім'ядолями з'являється перший і відразу другий лист; друга пара справжніх листків (3-й справжній лист); третя пара справжніх листків (5-й справжній лист). Розгортання 5-го справжнього листка; початок росту коренеплоду; змикання рослин у рядках; закриття міжрядь; пожовтіння зовнішніх листків.

Органогенез - формування органів рослин в їх ембріональному зародковому стані. Нормальний життєвий цикл культур, як усіх вищих рослин, складається з ряду періодів, що характеризуються якісними змінами біохімічних реакцій, фізіологічних функцій і утворювальних процесів. У розвитку рослин можна виділити два основних періоди: формування вегетативних органів - коренів, стебел, листя; утворення генеративних органів - суцвіть, квітників, і органів розмноження - плодів і насіння.

Насіння буряка починають проростати при температурі 1–4 °С, що дозволяє сіяти цукровий буряк раніш, ніж інші теплолюбні культури. Життєздатні сходи з'являються при температурі 6–7 °С. Тому хороші умови для сівби цукрового буряка створюються, коли середня добова температура ґрунту на глибині 5–10 см досягає 5–6 °С. З підвищенням температури поява сходів прискорюється: при температурі 10–12 °С вони з'являються через 12–14 днів, а при 15–17 °С – через 7–8 днів. Проростки і сім'ядолі цукрового буряка гинуть при заморозках –3... –4 °С, а сходи переносять короточасні зниження температури до –6... –7 °С.

Ріст коренеплодів починається при нагромадженні суми ефективних температур (вище 5 °С) 500 °С. Активний їхній ріст і нагромадження цукру продовжується до зниження середньої добової температури повітря восени до 6 °С. Найбільш сприятливої для росту коренеплодів є температура близько 20 °С, пригнічення рослин починається при температурі вище 30 °С. В роки з прохолодними веснами і при дуже ранніх термінах сівби в деякій частині рослин з'являються цвітоносні пагони в перший рік життя. Сума температур, яка потрібна для вирощування цукрового буряка складає 2200–2400 °С.

Цукровий буряк у другу половину вегетаційного періоду дуже вимогливий до світла. Недостача світла знижує урожайність і цукристість коренеплодів. В умовах достатньої забезпеченості рослин вологою цукристість буряка тим вище, чим більше сонячних днів у серпні і вересні.

Цукровий буряк відноситься до рослин, що ощадливо витрачають воду. Але загальна витрата води з 1 га через тривалу вегетацію значна. Так, при урожаї 40–50 т/га витрата води складає 3500–4000 м³. Найбільшу кількість води буряк витрачає у липні і серпні. Потреба у волозі цукрового буряка висока. Вона збільшується в міру росту рослин і досягає максимальних розмірів у восьму декаду вегетації, а потім знову знижується. У той же час цукровий буряк відрізняється високою посухостійкістю.

Хороші умови для формування урожаю цукрового буряка складаються при запасах продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту більше 100 мм до початку росту коренеплодів і більше 70 мм у період росту коренеплодів. Викопані і не укриті коренеплоди ушкоджуються заморозками –2 °С і після цього вони не придатні для зимового збереження, а також для переробки.

Картопля (*Solanum tuberosum* L.) багаторічна травяниста рослина родини пасльонових належить до числа найважливіших сільськогосподарських культур різнобічного використання і вирощується майже в усіх районах нашої країни. Але основні площі її зосереджені у Поліссі (близько 60 %) та Лісостепу (близько 30 %). Сучасна світова площа картоплі близько 18...29 млн. га. В Україні площі під картоплею

становлять 1,6...1,6 млн.га. [66].

В Україні зареєстровано понад 70 сортів картоплі. Залежно від напрямку використання їх ділять на 4 групи: *столові, кормові, технічні, універсальні*. Залежно від тривалості вегетаційного періоду сорти діляться на: 1) *ранньостиглі* (70-80 днів) –Божедар, Повінь, Кобза, Пролісок та ін.; 2) *середньоранні* (80-90 днів)- Берегиня, Водограй, Мавка, Малич, Невська, Обрій та ін.; 3) *середньостиглі* (90 – 120 днів) – Горлиця, Луговська, Слава, Явір та ін.; 4) *середньопізні* (120 – 130 днів) – Воловецька, Дезіре, Зарево, Ракурс та ін.; 5) *пізньостиглі* (130 – 150 днів) – Древянка, Ласунак, Темп [66].

Продовольче використання картоплі пов'язане з високим вмістом в бульбах крохмалю (14 - 25%), а також 1,5 - 2 % білків, 0,8 -1% клітковини, наявністю вітамінів А,В₁,В₂,С. З одиниці площі картопля дає значно більше поживних речовин, ніж овочеві культури та перевищує їх за калорійністю.

Проростання бруньок бульб картоплі у ґрунті починається при температурі 4–5 °С, але йде за таких умов украй повільно.

При температурі 10–12 °С сходи картоплі з'являються на 23-й день. Підвищення температури ґрунту до 18–25 °С скорочує тривалість періоду від посадки до сходів до 12–13 днів. Подальше підвищення температури ґрунту затримує появу сходів. Яровизовані бульби можуть дати сходи на 6–8-й день.

Сходи і дорослі рослини ушкоджуються при короткочасних заморозках –2... –3 °С, однак з настанням сприятливих температур пагони утворюються зі сплячих бруньок але урожай при цьому знижується. Бульби картоплі гинуть при –2 °С і втрачають здатність до проростання.

Бадилля картоплі починає рости при температурі повітря вище 7 °С. Підвищення температури до 30 °С викликає ослаблення, а в ранньостиглих сортів майже повне припинення росту бадилля. Найбільш сприятлива температура для росту пагонів, листків і цвітіння картоплі 20–21 °С.

Для бульбоутворення оптимальна температура ґрунту 16–18 °С. В період бульбоутворення температурний оптимум для середньостиглих сортів картоплі більш високий (17–19 °С), ніж для ранньостиглих (15–17 °С) (рис. 6.3). При підвищенні температури до 29 °С або її зниженні до 2 °С ріст бульб припиняється. Високі температури не тільки затримують ріст бульб, але і викликають їхнє екологічне виродження. При середній добовій температурі 24 °С виродження бульб досягає 50 % і більше.

Рослини з таких бульб дають дрібні, хворі бульби, що призводить до різкого зниження урожаю. Тому у південних районах рекомендуються також літні посадки картоплі для того, щоб період бульбоутворення приходився на вересень – жовтень, коли температура знижується.

Потреба у волозі в картоплі до появи сходів і в період після їхньої появи невелика. В міру росту пагонів і листків потреба у волозі зростає і

максимум відзначається в період цвітіння і початку бульбоутворення. Найбільш сприятливі умови для формування високого урожаю картоплі створюються при вологості ґрунту 80 % найменшої волого місткості і хорошій освітленості.

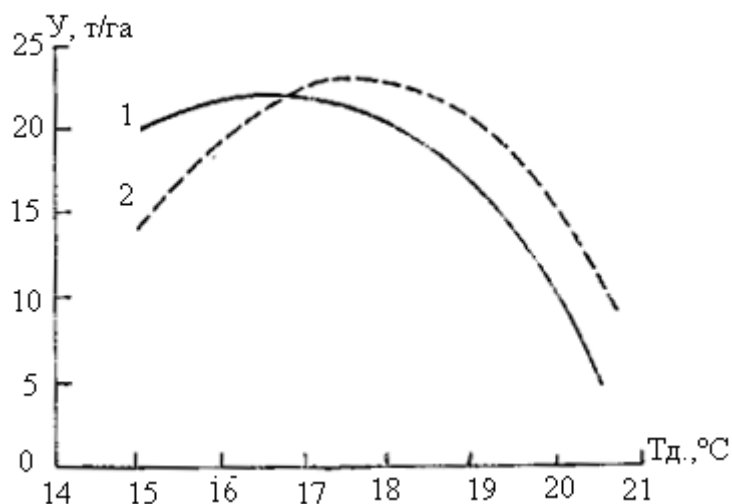


Рис. 6.3 – Вплив денних температур T_d в період бульбоутворення на урожай картоплі (А.М. Польовий, 1970).

1 – ранньостиглі сорти; 2 – середньостиглі сорти.

Приріст бульб картоплі незалежно від температури практично припиняється при запасах продуктивної вологи в ґрунті менше 20 мм у шарі ґрунту 0–50 см, найбільший приріст спостерігається при запасах вологи у півметровому шарі ґрунту 60–70 мм і температурі 16–18 °С. Перезволоження ґрунту призводить до швидкого загнивання бульб.

Картопля порівняно ощадливо витрачає вологу, її транспіраційний коефіцієнт у середньому складає 400–650. Вегетаційний період картоплі в залежності від скоростиглості сорту коливається від 60 до 180 днів.

6.5 Овочеві і баштанні культури

До групи овочевих культур і баштанних культур входять трав'янисті рослини, які належать до різних сімейств.

Овочівництво є однією з важливих галузей сільського господарства України. Доброму його розвитку в країні сприяють теплий клімат, родючі ґрунти та забезпеченість рослин світлом.

Овочеві культури – баклажани, капуста, огірки, морква, солодкий перець та томати цінуються за високі смакові якості та великий вміст в них цінних для харчування людей солей, органічних кислот, вітамінів. Посіви овочевих культур мають розповсюдження по всій території України,

особливо в Південному Степу. Співвідношення розмірів посівних площ овочевих культур в різних областях різне. В областях Південного Степу переважають площі солодкого перцю, баклажанів, томатів. Далі, в центральних областях України і при просуванні в північні області України починають переважати посівні площі огірків, капусти, моркви.

Кожна культура, кожний сорт характеризується визначеним набором вимог до умов освітленості, тривалості світлового дня, температурному режиму, умовам вологості, мінерального і органічного живлення і т.п.

Баклажани. Батьківщиною баклажанів вважається Індія. До XVII – XVIII століть баклажани були відомі як декоративні рослини. Почали вирощуватись як овочева культура близько 100 років тому назад

Баклажани (*Solanum melongena*) відносяться до сімейства пасльонових. В країнах помірного клімату баклажани – однорічна рослина, у тропічних – можуть бути багаторічними. Районовані в Україні, Молдові та Росії сорти відносяться до західно-азіатського підвиду болгарської та європейської різновидностей.

Реакція баклажан на умови освітлення обумовлена природою рослин і знаходиться в прямій залежності від тих екологічних умов, в яких вони формувались. Це рослина короткого дня. Стадійний розвиток відбувається в темряві, тому для оптимального розвитку їм необхідний підвищений температурний режим.

Недостатнє освітлення в період після висаджування розсади у ґрунт спричиняє осипання репродуктивних органів та пожовтіння і підсихання нижніх листків, що зменшує площу листя. Найбільш вимогливі рослини баклажан до освітлення в період масового утворення бруньок. Після настання масового утворення бруньок баклажани перестають реагувати на режим освітлення.

Встановлено, що найкращий приріст урожаю баклажан до 24 % спостерігається при вирощуванні розсади сорту Донський-14 при тривалості дня 12 годин.

Проростання насіння у баклажанів за оптимальних умов починається через 8–10 днів після сівби при температурі не нижче 13 °С. Оптимальна температура для вирощування баклажанів знаходиться в межах 22–28 °С. Під час розвитку вегетативних органів температура повітря не повинна знижуватись до 15 °С і менше.

Цвітіння баклажанів починається через 30–40 днів після висаджування розсади у ґрунт. Встановлено, що від утворення видимої бруньки до розкриття квітки проходить 14–20 днів, від розкриття квітки до утворення плоду овочевої готовності – від 20 до 30 днів.

В період від цвітіння до початку плодоношення відбувається найбільш інтенсивний ріст рослин. Загальна кількість репродуктивних органів, що утворюються на рослині може бути до 100 і більше, але більша їх частина

(60–70 %) осипається. Осипання репродуктивних органів – це біологічна особливість більшості овочевих культур. Але при зниженні температур нижче оптимальних, при порушенні режимів водопостачання та живлення спостерігається посилення осипання репродуктивних органів. Надлишок тепла у сполученні з високою сухістю повітря сприяють осипанню репродуктивних органів.

Високі температури затримують надходження поживних речовин до зав'язі і порушують процес метаболізму, пов'язаного з новоутворенням клітин, що і зумовлює осипання зав'язі. На одній рослині може утворюватись від 3 до 15 плодів.

Баклажани досить чутливі до зниження температури повітря. При зниженні температури до 13–15 °С в період приживання розсади урожай зменшується на 11–22 %. При знижених температурах у рослин слабшають процеси фотосинтезу та дихання, особливо в період переходу до репродуктивного плодоносіння.

Баклажани вирощуються із застосуванням зрошення. В природних умовах розсаду баклажан висаджують при переході температури повітря через 13 °С, а оптимальною температурою для росту баклажан в полі є температура 20–25 °С. Особливо помітним стає розвиток розсади на 4–5 тижні після висаджування її в ґрунт. Розсада перестає рости і розвиватись при зниженні температури до 10 °С. В критичні періоди розвитку рослин верхньою межею температурного режиму для розвитку надземної маси є температура повітря 30–35 °С, для коріння – вище 32 °С.

Молоді рослини зовсім не витримують не тільки заморозків, а і тривалого зниження температури повітря до 5–7 °С.

Потребу баклажан у теплі в природних умовах неможливо розглядати окремо від їхніх потреб у ґрунтовій волозі. Коріння рослин баклажан розташовується переважно у орному шарі ґрунту – від 20 до 40 см. Таке неглибоке розташування коріння, нестача опадів впродовж вегетації в зоні недостатнього зволоження, високі температури влітку зумовлюють необхідність проведення частих поливів невеликими поливними нормами. Найсприятливішим зволоженням для баклажанів є вологість ґрунту у межах 80–85 % НВ.

Надмірне зволоження та застій води також несприятливо впливають на розвиток баклажанів. Надмірне зволоження у холодну погоду спричиняє збільшення осипання репродуктивних органів, захворювання чорною ніжкою та іншими грибовими хворобами. Особливо чутливі баклажани до умов перезволоження в період від початку бутонізації до початку масового плодоносіння.

Капуста. Капуста – одна із провідних та найбільш поширених овочевих культур. Вона вирощується у всіх країнах світу, а на теренах СНД займає 30 % площі овочевих культур. Широкий ареал

розповсюдження капусти обумовлюється дуже цінними господарськими якостями: високою урожайністю, величезною кількістю форм з різною тривалістю вегетаційного періоду, добрим зберіганням взимку, стійкістю до низьких температур, тривалістю зберігання у свіжому вигляді, легкістю транспортування. За харчовими цінностями капуста поступається перцю, баклажанам, томатам, але перевищує огірки та деякі інші овочеві культури. Капуста належить до сімейства хрестоцвітих. Рід капусти – *Brassica* ділиться на окремі види, із яких найбільш поширені: городня капуста, китайська і пекінська капуста. Городня капуста ділиться на різновидності, різновидності – на форми, а форми – на сорти. Культурні види капусти представлені сортами: листовими (столові, декоративні, кормові), качанними (білокачанна, червонокачанна, савойська, брюссельська, китайська), стеблоплідними (столові і кормові сорти кольрабі) та пагоновими (цвітна капуста).

Родоначалником городньої капусти була дика кущова капуста, яка росте в гірських і приморських районах Італії й донині.

Капуста відноситься до групи рослин довгого дня. Безперервне освітлення зумовлює прискорення зацвітання капусти. Вимоги до освітлення залежать від того, до якої групи підвидів відноситься капуста. Найкоротшу світлову стадію мають сорти середземноморського підвиду та деякі сорти, що відносяться до східного підвиду. Ці сорти цвітуть у перший рік розвитку у північних районах з довгим днем. Вирощування качанної капусти та кольрабі при скороченому до 9 годин дні у порівнянні з природним 17–18 годинним днем викликає сильне пригнічення рослин.

Капуста досить вимоглива до інтенсивності освітлення в усі періоди розвитку – від вирощування розсади до збору урожаю.

Капуста – виключно холодостійка рослина. Насіння її починає проростати при температурі 3–5 °С. Найшвидше воно проростає за температури 18–20 °С.

Холодостійкість капусти залежить від її віку. Найчутливіша до холодів розсада капусти. Найбільш стійкі до холодів дорослі рослини перед настанням фази господарської стиглості. Холодостійкість капусти також залежить від виду та сорту. Листова і савойська капуста витримують значно нижчі температури ніж качанна. Скоростиглі сорти менше холодостійкі, ніж середньо та пізньостиглі. Всі пізні сорти витримують зниження температури до – 5...–8 °С. Вирощування розсади капусти впродовж тривалого періоду при температурі 2–8 °С призводить до утворення стрілок у ранньої капусти і затримання формування головок та погіршення її якості у цвітної капусти. Пошкодження рослин спостерігається при температурі повітря –3...–5 °С.

Для капусти шкідливі повторні замерзання та відтавання. Це спричиняє зменшення терміну зберігання капусти та її пошкодження. Промерзлі головки цвітної капусти не можна вживати.

Вегетація капусти може відбуватись при температурах нижче 10 °С, біологічний мінімум становить 5 °С. Оптимальною для розвитку капусти є температура 15 °С.

Підвищена температура (27–30 °С) негативно впливає на ріст та розвиток капусти. Найбільш пристосовані до жаркого клімату сорти європейського підвиду. Високі температури лише незначно знижують процеси асиміляції і росту. Тривала дія високих температур, особливо під час посухи, затримує ріст і розвиток капусти. Рослини дуже зменшують розмір качана та збільшують висоту ніжки. Негативний вплив високих температур позначається не тільки на величині рослин, а і на співвідношенні між окремими їх частинами. В жарку погоду качани розтріскуються.

Капуста – вологолюбна культура. Нестача вологи у ґрунті негативно впливає на ріст рослин. В період посухи рослини капусти починають інтенсивно скидати листя, і тому ніжка над поверхнею ґрунту вдається високою, а качани мілкими. Особливо вимоглива капуста до вологи в період формування насінників капусти. При нестачі вологи насінники ростуть повільно із запізненням розвитку.

Сумарне споживання води капустою залежить від віку капусти, фази розвитку, механічного складу ґрунтів, вмісту вологи в ґрунті, густоти рослин, методів обробки ґрунту і ін. Крім того на величину споживання води впливають погодні умови, терміни та дози внесення добрив, своєчасність поливів та їх норми.

В середньому пізні сорти капусти в умовах зрошення при безрозсадному методі вирощування мають сумарне споживання води до завивання качана 55–65 м³/га, у період завивання качана – 65-75 м³/га, у період технічної стиглості – 35- 40 м³/га.

В степових районах України капуста вирощується при зрошенні. Режим зрошення ранньої, середньої і пізньої капусти різний. Рання капуста в сухий рік поливається 5-6 разів за вегетацію, в середній по зволоженню рік – 3-4 рази поливною нормою 400 м³/га. Середню і пізню капусту поливають 8–10 разів поливною нормою 500 м³/га. Особливо важливі поливи в період завивання качана. При недостатній вологості ґрунту в цей період ріст качанів затримується, вони формуються мілкими і урожай різко зменшується. Важливо підтримувати рівномірне зволоження ґрунту впродовж всього періоду формування качанів. Перебої в поливах спричиняють розтріскування качанів.

Огірки. Огірки поряд з томатами і капустою є однією із провідних овочевих культур. За розмірами посівних площ огірки займають третє місце після капусти та томатів. В Україні посіви огірків зустрічаються по всій території. Головні масиви зосереджені в Південно-Західному та Донецько-Придніпровському регіонах. Особливо велика щільність

посівних площ огірків у Київській, Чернігівській, Харківській, Донецькій, Дніпропетровській та Луганській областях. На півдні України, де більше поширені посіви томатів, посівні площі огірків менші.

Огірки, як і більшість рослин південного походження, рослини короткого дня. Дослідження О.І. Філова показали, що скоростиглі сорти огірків мають більшу вегетативну масу при 15–16 годинному дні, а середньостиглі – при 12 годинному. Чоловічі квітки скоріше зацвітають при короткому (10–12 год) дні. Скорочений день також сприяє утворенню більшої кількості жіночих квіток, а це, в свою чергу, сприяє збільшенню урожаю.

Температура початку росту огірків знаходиться у межах 12–15 °С. Оптимальна температура для розвитку огірків 25–30 °С. Верхня межа життєдіяльності огірків становить 35–40 °С. Особливо несприятливими для огірків є різкі коливання температури повітря.

Огірки відносяться до групи сільськогосподарських культур дуже чутливих до зниження температур. Ушкодження рослин і їх загибель спостерігається при тривалій дії низьких позитивних температур (3–6°C). При переохолодженні спостерігається пошкодження протоплазматичних структур – хлоропластів. Чутливість огірків до знижених температур змінюється з віком рослин. Інколи загибель рослин огірків спостерігається при тривалому зниженні температури повітря до 10 °С.

Якщо знижені позитивні температури несприятливі для огірків лише після тривалої дії, то навіть короточасні слабкі заморозки викликають пошкодження і загибель рослин.

В залежності від мінімальної суми температур вище 10 °С за вимогами до тепла сорти огірків поділяються на 5 груп:

1) невимогливі до тепла сорти, необхідна мінімальна сума температур 1600–1900 °С;

2) порівняно невимогливі до тепла сорти, мінімальна сума температур близько 1900–2200 °С;

3) середні за вимогами до тепла сорти, мінімальна сума температур 2200–2500 °С;

4) вимогливі сорти до тепла, мінімальна сума температур необхідна в межах 2500–2800 ;

5) дуже вимогливі до тепла сорти, мінімальна сума температур не менше 2800 °С.

В залежності від діапазону термічних умов в межах ареалу сорту виділяються також підгрупи сортів.

Огірки в силу свого походження із районів вологих тропіків пред'являють високі вимоги до вологості ґрунту та повітря. Огірки погано переносять ґрунтову та повітряну посуху. Для формування високого урожаю огіркам необхідна велика кількість води. Огірки поливають не тільки в південних районах, а і в середніх районах, і, навіть, на півночі.

Встановлено, що головною причиною підвищеної чутливості огірків до вологості ґрунту, є погано розвинена коренева система. Ріст коріння огірків відбувається дуже повільно і основна маса його розташовується у шарі ґрунту 15–20 см. Особливо це стосується сортів, що вирощуються у північних районах. У південних районах коріння огірків проникає глибше. У зв'язку з цим, при відсутності опадів часто складається ситуація, коли коріння не встигає постачати воду надземній масі рослин.

Крім того, огірки відзначаються високим обводненням клітин, яке пов'язане з крупноклітинною будовою тканин і високими темпами наростання вегетативної маси.

Встановлено, що оптимальною вологістю ґрунту для огірків є вологість 80 % найменшої вологомісткості.

Солодкий перець. Солодкий перець (*Capsicum annuum L.*) виник із гіркого під впливом культури землеробства та в міру просування його з південних районів у північні з більш помірним та прохолодним кліматом. Батьківщиною гіркого перцю вважається Мексика, але ряд його форм походять із Перу, Болівії, Бразилії. В Росію гіркий перець поширився із Азії наприкінці XVI століття.

Солодкий перець у дикому стані не знайдено. Він виник значно пізніше гіркого перцю і попав у Європу пізніше. Вважається, що солодкий перець був завезений в Україну із Болгарії у другій половині XVIII століття. Спочатку його вирощували тільки на Одещині і лише наприкінці XIX століття посіви його поширились у інших південних областях. Найбільш широке розповсюдження солодкий перець отримав у тридцяті роки минулого століття, коли бурхливо стала розвиватись консервна промисловість.

Солодкий перець рослина тропічного походження і тому це рослина короткого дня. Рослини солодкого перцю пристосовані до високої інтенсивності світла з переважно короткохвильовою синьо-фіолетовою радіацією. Досліди показали, що сорти солодкого перцю північного походження при вирощуванні в умовах короткого (12–13 год) дня розвиваються швидше, ніж при 10-ти годинному. Диференціювання бруньок настає раніше також при 12–13-ти годинному дні, ніж при 16-ти годинному. Однак тривалий день не затримує повністю розвиток рослин, тобто вони проявляють фотоперіодичну нейтральність.

Насіння перцю проростає при температурі 20–25 °С. При температурах 14–16 °С проростання насіння проходить дуже повільно і воно в стані проростка може знаходитись до 30 днів. При цьому спостерігається загнивання насіння і втрата його схожості. За нижню межу температури розвитку рослин приймається 13° С. При вирощуванні розсади температура повітря вдень не повинна бути нижче 16 ° С, вночі – не нижче 13 °С. Оптимальна температура для розвитку рослин при

вирощуванні розсади 22–24 °С.

Висаджена в ґрунт розсада перцю приживається впродовж 10 – 12 днів. Зменшення температури повітря в цей період викликає загибель рослин, так як при знижених температурах відбувається порушення процесів обміну, що призводить до розпаду білкових речовин та відмирання клітин. Короточасні зниження температури охолоджують рослини і вони втрачають здібність до фотосинтезу. Після підвищення температури ця здібність повертається дуже повільно.

Відношення перцю до зниження температури залежить від віку рослин. Так, тридцятиденні рослини при температурі 12–13 °С не ростуть, а 70–90 денні – ростуть і дають плоди. Після висаджування розсади перцю в ґрунт оптимальною температурою для розвитку рослин вважається температура повітря 20 – 25 °С.

Перець дуже чутливий до заморозків. Молоді рослини навесні пошкоджуються повністю при температурі –1 °С. Восени дорослі рослини більш стійкі до заморозків і витримують короточасні зниження температури до –2...– 5 °С.

Перець, як і баклажани, дуже вологолюбна культура. За нестачі вологи в ґрунті активність фізіологічних процесів і росту рослин солодкого перцю значно слабшає. Для фізіологічних процесів і зростання рослин необхідна вологість ґрунту в шарі розповсюдження коріння 75 – 80 % найменшої вологомісткості (НВ). Однак, перезволоження ґрунту викликає спочатку пригнічення рослин потім, при подальшому впливі перезволоження, рослини солодкого перцю гинуть. При перезволоженні ґрунту ускладнюється доступ кисню, що викликає пошкодження коріння, затримку росту рослин. Солодкий перець майже в усіх районах вирощується із застосуванням зрошення.

Рослини солодкого перцю краще розвиваються за відносної вологи повітря 50 – 60 %. Висока вологість повітря (вище 70 %) менш сприятлива, особливо при відсутності вітру, тому що відбувається перегрів рослин і пошкодження плодів вершковою гниллю.

Водний режим ґрунтів вважається оптимальним, якщо запаси вологи знаходяться у межах 70 – 80 % НВ. При цих значеннях запасів вологи потреба рослин у воді наближається до значень випаровуваності.

Томати. Томати мають широке розповсюдження в багатьох країнах світу. Серед овочевих культур томати займають провідне місце. Їх вирощують для забезпечення населення продуктами овочівництва та для переробки на консервних заводах. Посівні площі томатів складають 57 % всієї площі овочевих культур.

Культурні томати мають походження із тропічної зони Америки. Від Перу до Мексики томати вирощувались задовго до відкриття Нового Світу європейцями. До Європи томати попали наприкінці шістнадцятого

століття, де спочатку вони вирощувались в Іспанії та Португалії., а потім розповсюдились по всій Європі та Близькому Сході.

На території України томати вирощуються в усіх природно – кліматичних зонах. В степових районах виробничі площі під томатами за розміром займають одне із перших місць серед овочевих культур.

Томати, відносяться до сімейства пасльонових (*Solanaceae Juss*), роду (*Lycopersicon Tourn*), який складається з трьох видів. Із них два дикі, третій вид – звичайний томат включає всі культурні форми.

Томати – рослини дуже вимогливі до умов освітлення. Чим яскравіше світло, том скоріше і краще розвиваються рослини. Нестача освітлення в період вирощування розсади сприяє витягненню сіянців, утворенню тонких стебел мілкого та жовтуватого листя. У таких сіянців затримується репродуктивний розвиток..

Швидкість розвитку розсади томатів у парниках залежить від кількості світла, що отримують рослини. Інтенсивність освітлення дуже впливає і на швидкість зростання. При збільшенні тривалості та інтенсивності освітлення розвиток розсади прискорюється, рослини скоріше починають утворювати бруньки та раніше зацвітати.

Одним із найважливіших факторів зовнішнього середовища, що впливають на ріст та розвиток томатів, є температура повітря і ґрунту. Як культурі тропічного походження, томатам властиві підвищені вимоги до термічного режиму. Вимоги до тепла залежать від фази розвитку рослин.

Дружні сходи насіння спостерігаються при температурі 20–25 °С. При температурі 10–11 °С насіння не проростає. Якісна розсада буває при вирощуванні її при температурі 16–22 °С вдень та 8–10 °С вночі.

Встановлено, що підвищена температура ґрунту до 20–25 °С в парниках під час вирощування розсади сприяє тому, що рослини раніше плодоносять, але на величину всього урожаю це не впливає.

Оптимальна температура ґрунту в парниках під час вирощування розсади становить 16–18 °С.

Вимоги томатів до термічних умов зростають з початком цвітіння та утворення плодів. Як і на інші плодові овочеві, на томати в цей період більше впливають нічні температури повітря. Оптимальна мінімальна температура вночі знаходиться в межах 15 °С. Найбільш інтенсивне зав'язування плодів буває при температурі повітря вночі 17–19 °С. В цей період також підвищені вимоги томатів до температури ґрунту. Кращі умови складаються в цей період при температурі ґрунту біля 25 °С.

Температура повітря в межах 30–33 °С негативно впливає на запліднення. Цвіт опадає, уповільнюється або зовсім припинається ріст рослин, слабшають процеси фотосинтезу.

Теплолюбні рослини томатів погано переносять навіть незначні заморозки. При виникненні заморозків пошкодження томатів залежить не тільки від інтенсивності і тривалості заморозків, а від фізіологічного стану

рослин. Загартовані молоді рослини з добре розвиненим корінням витримують заморозки до $-1,8...-2,0$ °С. При слабо розвиненому корінні, або його пошкодженні стійкість томатів до заморозків значно знижується. Наприкінці вегетації рослини гинуть, а плоди пошкоджуються при температурі $-0,5$ °С.

Томати добре ростуть при порівняно невисокій вологості повітря. Оптимальна відносна вологість повітря для томатів становить від 45 до 55 %. При відносній вологості більше 60 % томатні рослини більше пошкоджуються хворобами. Особливо небезпечна висока вологість повітря в період вирощування розсади. У сполученні з високою вологістю ґрунту та температурою повітря вона обумовлює високе обводнення тканин рослини. Вони швидко витягуються і, разом з тим, затримуються у розвитку. Для зменшення вологості повітря при вирощуванні розсади в парниках необхідно частіше провітрювати приміщення, поливи проводити тільки вранці.

Вимоги томатів до вологості ґрунту, як і інших овочевих культур, дуже високі, не зважаючи на те, що вони значно посухостійкіші ніж баклажани та солодкий перець.

В районах Південного Степу України томати вирощуються переважно із застосуванням зрошення. Режим зрошення томатів значно відрізняється для різних сортів. Ранні томати в сухі роки поливають 7–8 разів, близькі до середніх багаторічних – 5–6 разів. Перші два – три поливи проводять невеликими нормами $250-300$ м³/га. Наприкінці травня – початку червня до кінця періоду плодоносіння на південних важко суглинкових чорноземах рекомендується норма поливу 500 м³/га.

Середньостиглі розсадні та безрозсадні томати в сухі роки поливають 8–9 разів, в роки, близькі до середніх багаторічних – 7–8 разів з нормою поливу 500 м³/га. Тільки перший полив має норму $300-400$ м³/га.

Дині і кавуни. Баштанні культури вирощуються майже у всіх регіонах України. Середні урожаї кавунів на незрошуваних землях складають $20-25$ т/га, на зрошуваних $40-50$ т/га; дині – від 16-18 до 50 т/га.

Дині і кавуни – однолітні теплолюбні рослини. Дослідження показали, що навіть низькі позитивні температури повітря згубні для тканин рослин. Зниження температури ґрунту до 10 °С протягом 24-30 год. викликає ушкодження коренів, а температура повітря 4 °С є порогом, нижче якого ушкоджуються квітки, листки і пагони.

Кавуни і дині – світлолюбні рослини, добре розвиваються на супіщаних чорноземах і суглинних ґрунтах. В вологому ґрунті насіння кавунів проростають при температурі $16-17$ °С. Сходи в кавунів з'являються на 8–10-й день, у динь – на 9–16-й день при запасах вологи в шарі ґрунту $0-20$ см $20-30$ мм і температурі ґрунту $14-16$ °С. Для появи сходів кавунів і динь необхідно, щоб суми ефективних температур (вище

15 °С) складали 30–70 °С в залежності від їхніх сортових особливостей. Оптимальною температурою для росту пагонів і листків є 20–22 °С.

Тривалість періоду від сходів до дозрівання плодів варіює в різних по скоростиглості сортів від 68 до 119 днів. Оптимальною температурою для розвитку плодів вважається 25–30 °С. При температурах вище 35 °С в період плодоутворення опадають зав'язі. Цвітіння в день настає при нагромадженні сум ефективних температур (вище 15 °С) від дати сходів 240–400 °С, у кавунів – 290–490 °С. Великий діапазон у сумах температур зв'язаний із сортовими особливостями цих культур. У період від посіву до дозрівання плодів динь сума ефективних температур повинна складати 770–1170 °С, для плодів кавунів – 870–1240 °С. Дині і кавуни засухоустійкі. При вирощуванні в умовах надлишкового зволоження плоди менш сахаристі і з гіршими смаковими якостями.

6.6 Багаторічні й однолітні сіяні трави

Сіяні трави вирощуються в польових і кормових сівозмінах на звичайних, зрошуваних і осушуваних землях практично у всіх економічних районах країни. Посіви багаторічних і однолітніх трав розміщуються з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов і вимог культур, що висіваються, до цих умов.

Ареали сільськогосподарських посівів багаторічних бобових трав визначаються умовами зволоження: запаси води в ґрунті у вегетаційний період повинні складати 70–80 % найменшої вологості. У посушливих районах багаторічні бобові (люцерна й інші) вирощуються тільки при зрошенні.

Для утворення 1 кг сухої речовини конюшина червона, наприклад, витрачає від 500 до 900 кг води; це значно більше, ніж витрати води в зернових культур, тому що посівам багаторічних бобових трав властива висока густина травостоїв з великою листковою поверхнею. Для вирощування багаторічних трав достатня менша зволоженість ґрунту: 30–40 % найменшої вологості.

Конюшина червона і конюшина рожева. У сільськогосподарському виробництві широке поширення одержали два різновиди конюшини червоної: пізньостиглий або одноукісний (північний), і ранньостиглий або двоукісний (південний). Вирощується також конюшина рожева. Як правило, конюшина червона висівається в суміші зі злаковими травами (тимофіївкою, кострицею луговою). У цих випадках урожаї зеленої маси виявляються більш високими в порівнянні з чистими посівами конюшини.

Насіння конюшини проростає в умовах достатнього зволоження ґрунту (70–80 % НВ) при температурі повітря 1...20 °С, причому чим вище

температура, тим коротше період від посіву до сходів. Сума ефективних температур повітря (вище 5 °С) для цього періоду складає 65...75 °С.

Відновлення вегетації посівів після зимівлі конюшини відбувається, як і в більшості сіяних трав, при стійкому переході середньої добової температури повітря через 5 °С.

На рослинах першого року посіву у фазі кущіння в пазухах листків утворюються бічні укорочені пагони, через 35–40 днів після відновлення вегетації в конюшини одноукісної настає фаза стеблуння, двоукісна конюшина вступає в цю фазу розвитку на 8–12 днів раніше.

Північні форми конюшини червоної дуже чутливі до інтенсивності світла до фази бутонізації: швидкість розвитку рослин збільшується з подовженням світлового дня. При середній добовій температурі повітря 15 °С настає фаза бутонізації.

На другий рік життя конюшини двоукісної період від відновлення вегетації до масового цвітіння охоплює 50–80 днів (суми позитивних температур 650...1000 °С), у конюшини одноукісної цей період на 15 днів більше (сума позитивних температур 1000–1200 °С).

Для різних сортів конюшини одноукісної в ареалі її вирощування суми ефективних температур (вище 5 °С) за період від відновлення вегетації до початку цвітіння повинні складати 430–620 °С, для сортів конюшини двоукісної – 400–470 °С. Ці суми температур отримані для сортів конюшини, що розвиваються в умовах достатнього зволоження – запаси вологи в метровому шарі ґрунту 100 мм і більш. У посушливих умовах (60–70 мм вологи) фаза цвітіння настає раніш, при наборі сум ефективних температур на 50...60 °С менше.

Рясні літні опади затримують цвітіння конюшини і сприяють збільшенню тривалості періоду лінійного росту рослин. В умовах посушливої жаркої погоди формуються низькорослі конюшини. Після першого укусу максимальний лінійний приріст спостерігається в перші дві-три декади. При температурі повітря близько 10 °С середній приріст конюшини у висоту складає 2–4 см за декаду, при високих температурах швидкість росту значно збільшується, досягаючи 10–15 см (можливо до 24 см) за декаду в умовах достатнього зволоження. Однак при середній декадній температурі повітря вище 16...19 °С лінійний приріст пагонів різко знижується (у різних сортів ця межа різна).

Тривалість періоду цвітіння – дозрівання насіння у конюшини складає 28–66 днів у залежності від температури повітря і кількості опадів; сума позитивних температур варіює від 560 до 910 °С. Чим вище температура, менше опадів і сухіше повітря, тим швидше дозрівають насіння. Сприятливою температурою вважається 17 °С і вище.

Для формування урожаю зеленої маси конюшини найбільше значення мають умови вологозабезпеченості. Високі стійкі урожаї конюшини одержують у районах, де за літо випадає 250–300 мм опадів (річна сума

400–500 мм і більше). У той же час конюшина погано переносить затоплення, через 7–10 днів її посіви гинуть.

Найкращі умови для формування високих урожаїв (сіна) конюшини складаються при випаданні 110–125 мм опадів за два перших місяці вегетації: у середньому при збільшенні опадів на кожні 10 мм (у діапазоні 70–110 мм) урожай сіна зростає на 0,9 т/га.

Люцерна. Ареал вирощування різних сортів цієї культури дуже широкий. Це зв'язано з такими якостями люцерни, як висока зимостійкість і посухостійкість, що при правильній агротехніці забезпечують довговічність її посівів без зниження урожайності протягом багатьох років. Проростання насіння люцерни починається при температурі 2...3 °С, сходи з'являються при 6...9 °С. На більшій частині території вирощування сходи люцерни витримують нічні заморозки до –3...–4 °С, у Східному Сибіру до –5...–7°С. Дружні сходи відзначаються при температурі 17...22 °С. Сума ефективних температур за період посів – сходи складає 310...340 °С.

Від сходів до цвітіння люцерні першого року життя необхідно близько 1200 °С при середній температурі повітря вище 14 °С, при більш низькій температурі – до 1500 °С. В умовах прохолодної погоди із середньою температурою нижче 12 °С люцерна не цвіте.

Весняне відновлення вегетації люцерни після перезимівлі на півдні починається в першій декаді березня після стійкого переходу середньої добової температури повітря через 5 °С. Поступово зона весняного відновлення вегетації просувається до півночі. У залежності від погодних умов, що складаються у конкретному році, терміни відновлення вегетації можуть відрізнятися від середніх багаторічних термінів на 10–20 днів.

Від моменту весняного відростання до фази цвітіння необхідна сума позитивних температур 700...900 °С, а до фази дозрівання насіння – 1200...1600 °С.

При середній добовій температурі повітря 16 °С сума позитивних температур за період весняне відростання – цвітіння складає 800 °С, а за період відростання після укосу – цвітіння 700 °С.

Терміни проведення укосів люцерни звичайно зв'язують з настанням фази масової бутонізації і початку цвітіння.

На півдні країни люцерна вирощується на поливі, що дозволяє у виробничих умовах проводити 3–4 і навіть 5 укосів, а в дослідному порядку до 7–8 (9) укосів за вегетаційний період.

Люцерна вирощується в основному на незрошуваних землях. Найкращі умови для розвитку, росту і формування високих урожаїв зеленої маси люцерни створюються при вологості ґрунту 70–80 % найменшої вологоємності, а для люцерни, залишеної після цвітіння на насіння, найкращі умови складаються при вологості 60–65 %. Але

прохолодна і дощова погода сприяє стовбурінню люцерни, поляганню її пагонів, погіршує умови цвітіння і запилення. Надлишкова вологість ґрунту, затоплення посівів більш ніж на 10–15 днів приводить до їх зрідженості і загибелі від вимокання.

Укісна маса люцерни визначається висотою пагонів і густотою пагонів на одиниці площі. На півночі ареалу вирощування у виробничих умовах без поливу урожай зеленої маси люцерни варіює від 15 до 25 т/га, у поливних умовах на Півдні України урожай досягає 30 т/га. На півдні ареалу після кожного укусу проводиться полив в обсязі близько 600 м³ води на 1 га.

Злакові трави. Багаторічні злакові трави звичайно висіваються у вигляді травосумішей з бобовими травами. Особливо добре такі суміші трав розвиваються у вологому кліматі.

Масове відновлення вегетації злакових трав навесні відбувається в терміни, близькі до дати стійкого переходу середньої добової температури повітря через 5 °С.

Хороше кущіння злаків спостерігається при температурі 8...9 °С, у житняка при температурі 10...15 °С і вологості ґрунту 60–80 % найменшої вологоємності (14–15 пагонів); в умовах зниженої вологості (40 % найменшої вологоємності) утвориться лише 3–5 пагонів. Найбільший ріст пагонів відбувається при температурі 16–18 °С, максимальний приріст за добу може бути більш 5 см.

Колосіння злаків починається при середній добовій температурі повітря вище 15 °С. Чим більше тривалість періоду від відновлення вегетації до колосіння, тим більше висота злаків. Цвітіння в злаків триває всього 6–12 днів. Цвітіння трав настає при нагромадженні наступних сум ефективних температур (вище 5 °С) від дати відновлення вегетації: тимофіївки – 470 °С, костриці лугової – 450 °С, тонконогу лугового, ежі збірної – 400 °С, лисохвосту лугового – 350 °С. Терміни збирання трав на сіно можна розрахувати за датами, до яких накопичується сума ефективних температур 470 °С.

Для росту трав, формування їхньої біомаси найважливішими агрометеорологічними умовами є оптимальні значення температури і вологості ґрунту і повітря. Так, наприклад, близьке залягання ґрунтових вод (на глибині 100–120 см) забезпечує вологою пирій кореневищний, висота якого досягає 115–120 см; при глибині залягання ґрунтових вод більш 180 см висота цієї рослини не перевищує 80–85 см.

У тимофіївки високі урожаї сіна (2–3 т/га) формуються в умовах, коли за два перших місяці вегетації випадає 80–120 мм опадів, а суми позитивних температур не перевищують 600...650 °С; при цьому сума опадів за весь період вегетації повинна складати 350–400 мм. При сумі позитивних температур 750...800 °С і більш за цей же період урожай тимофіївки не перевищує 0,5–1,0 т/га. На кожні "зайві" 50 °С урожай сіна

тимофіївки знижується приблизно на 0,7 т/га. Найбільші урожаї зеленої маси тимофіївки (більш 20 т/га) відзначаються при середній температурі повітря 10...11 °С і ГТК = $1,5 \pm 1,7$; в костриці луговій найбільші урожаї (більш 18 т/га) одержують при середній температурі повітря за період відростання – колосіння 9,5–10,5 °С і ГТК = $1,4 \pm 1,7$.

Дати настання першого укусу тимофіївки й костриці лугової відповідають часу нагромадження суми позитивних температур 600 °С.

Посіви конюшини в суміші з тимофіївкою і кострицею луговою дають більш високі і рівномірні щорічні урожаї, які перевищують на 1,0 – 2,0 т/га урожаї посівів чистої конюшини.

Посіви однолітніх трав створюють додатковий зелений корм влітку і восени в період між укусами на посівах багаторічних трав. У посушливих районах, де природний рослинний покрив вигорає, вони створюють додатковий корм у період високих літніх температур. З однолітніх трав одержують високоякісне сіно, силос і трав'яне борошно.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алпатьев А.М. Влагообороты в природе и их преобразования. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 322с.
2. Антоненко В.С. Агрометеорологический мониторинг посевов сельскохозяйственных культур в Украине с применением аэрокосмических методов.- К: АртЭЖ, 2002. – 308 с.
3. Асатуров М.Л. Влияние водного и теплового режима на продуктивность растительного покрова. // Тр. ГГО.- 1970.-Вып.263. – С.107 – 114.
4. Багров Н.А. О метеорологическом индексе урожайности. //Метеорология и гидрология. – 1983. -Т.П. –С. 92 – 99.
5. Бегей С.В. Екологічне землеробство. / С.В. Бегей, 9999.А. Шувар – Львів «Новий світ-2000», 2007. – 409 с.
6. Багато спектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / за ред.. В.І. Лялька і М.О. Попова. – К.: Наук. думка, 2006. – 356 с.
7. Бихеле З.Н., Молдау Х.А., Росс Ю.К. Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке почвенной влаги. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 223с.
8. Бихеле И., Молдау Х., Росс Ю. Субмодель распределения ассимилятов и роста растения при водном дефиците.– Тарту, АН ЭССР, 1980.– 22 с.
9. Бойко А.П. Исследование гидрометеорологического режима среды обитания растений численными методами. – С.-П.: Гидрометеиздат: 1993. – 215 с.
10. Бондаренко Н.Ф., Жуковский Е.Е., Мушкин И.Г., Нерпин С.В., Полуэктов Р.А., Усков И.Б. Моделирование продуктивности агроэкосистем. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 264 с.
11. Будаговский А.И., Росс Ю.К. Основы количественной теории фотосинтетической деятельности посевов.//Фотосинтетические системы высокой продуктивности. –М.: Наука, 1966. –С. 51 – 58.
12. Будыко М.И. Климат и жизнь. –Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 427 с.
13. Бучинский И.Е.Засухи и суховеи.– Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 214 с.
14. Вериго С.А., Разумова Л.А. Почвенная влага и ее значение в сельскохозяйственном производстве. – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 248с.
15. Воронин А.Д. Основы физики почв. – М.: Издательство МГУ, 1986. – 244с.
16. Галямин Е.П. О построении динамической модели формирования урожая агроценозов. //Биологические системы в земледелии в в земледелии и лесоводстве. – М.: Наука, 1974. – С 70 – 83.
17. Гойса Н.И., Олейник Р.Н., Рогаченко А.Д. Гидрометеорологический

- режим и продуктивность орошаемой кукурузы. – Л.: Гидрометеоздат, 1983. – 230с.
18. Грингоф И.Г., Пасечнюк А.Д. Агрометеорология и агрометеорологические наблюдения. – Санкт-Петербург.: Гидрометеоздат., 2007. – 324 с.
 19. Грингоф И.Г., Клещенко А.Д. Основы сельскохозяйственной метеорологии. – Обднинск : ФСГиМОС. 2011. -807 с.
 20. Давитая Ф.Ф. Современное состояние и перспективы развития агрометеорологии // Агрометеорологические аспекты повышения продуктивности земледелия. – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – С.5-20.
 21. Дмитренко В.П. О методике оценки гидрометеорологических условий формирования урожая сельскохозяйственных культур // Тр. УкрНИГМИ, 1973. – Вып.128. С. 3-23.
 22. Дмитренко В.П. Погода, клімат і урожай польових культур. – Київ : Ніка – Центр. 2010. – 619 с.
 23. Дмитренко П.О. Удобрення та густина посіву польових культур./ П.О.Дмитренко, П.І. Витриховський. –К: Урожай,1975. – 248 с.
 24. Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай /Под ред. А.И. Руденко. – Л.: Гидрометеоздат, 1958. – 206с.
 25. Зінченко О.І. Рослинництво:Підручник./О.І.Зінченко, В.Н. Салатенко, М.А. Білоножко.-К.: Аграрна освіта, 2001. -591 с.
 26. Зубенок Л.И. Испарение на континентах. – Л.: Гидрометеоздат, 1976. – 263с.
 27. Иванов Л.А. Фотосинтез и урожай. // Сборник, посвященный памяти К.А. Тимирязева, 1941. – С. 29 – 42.
 28. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. –Л.: Гидрометеоздат, 1979. – 375 с.
 29. Ефимова Н.А. Радиационные факторы продуктивности растительного покрова. – Л.: Гидрометеоздат, 1977. – 215с.
 30. Иовенко Н.Г. Водно-физические свойства и водный режим почв УССР. –Л. : Гидрометеоздат, 1960. – 352 с.
 31. Киндрук И.О. Методические указания по составлению прогноза формирования урожайных качеств семян озимой пшеницы. Изд. СГИ. Одесса, 1989. – 15 с.
 32. Клещенко А.Д. Оценка состояния зерновых культур с применением дистанционных методов. – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 190с.
 33. Колпаков В.В., Сухарев И.П. Сельскохозяйственные мелиорации. – М.: Колос, 1981. – 327с.
 34. Константинов А.Р., Дмитренко В.П. О связях урожая с гидрометеорологическими факторами //Тр. УкрНИГМИ. 1966.-Вып.58. –С.3 – 31.
 35. Константинов А.Р. Погода, почва и урожай озимой пшеницы. –Л.: Гидрометеоздат, 1978. – 264 с.

- 36 Кондратьев К.Я., Федченко П.П. Спектральная отражательная способность некоторых почв.-Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 232 с.
- 37 Кононова М.М. Проблема почвенного гумуса и современные задачи его изучения. – М.: Изд. АН СССР 1951.
38. Коровин А.И. Роль температуры в минеральном питании растений. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 281с.
39. Коровин А.И. Растения и экстремальные температуры. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 271с.
40. Кошкин Е.И., Гатаулина Г.Г., Дьяков А.Б. и др.. Частная физиология полевых культур. –М.: Колос, 2005. – 343 с.
41. Кошкин Е.И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур. – М.: Дрофа, 2010. -639 с.
42. Курсанов А.Л. Транспорт ассимилятов в растениях. – М.: Наука, 1976. – 646с.
43. Куртнер Д.А., Чудновский А.Ф. Агрометеорологические основы тепловой мелиорации почв. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 230с.
44. Куртнер Д.А., Усков И.В. Климатические факторы и тепловой режим в открытом и защищенном грунте. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 230с.
45. Куртнер Д.А., Усков И.Б. Управление микроклиматом сельскохозяйственных полей. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 263с.
- 46 Куперман Ф.М., Чирков Ю.И. Биологический контроль за развитием растений на метеорологических станциях. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 144 с.
47. Кулик М.С. Погода и минеральные удобрения. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 138с.
48. Куперман Ф.М., Ржанова Е.И. Биология развития растений. – М.: Высшая школа, 1963. – 423с.
49. Лайск А., Молдау Х., Нильсон Т., Росс Ю., Тооминг Х. О. моделировании продукционного процесса растительного покрова //Бот. Журнал. – 1971. – Т.56, №6. – С 118 – 123.
50. Левенко И.Т. Схема расчета показателей качества зерна озимой пшеницы. //Тр. УкрНИГМИ, 1970.-Вып.105. С.9 – 17.
51. Личикаки В.М. Перезимовка озимых культур, – М.: Колос,1974. – 205с.
52. Литвинов И.В. Формирование и преобразование атмосферных осадков на подстилающей поверхности. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 231с.
53. Логинов К.Т., Бабиченко В.Н., Кулаковская М.Ю. Опасные явления погоды на Украине. –Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 236 с.
54. Максимов Н.А. Избранные работы по засухоустойчивости и зимостойкости растений. Том 1. – М.: Изд-во Ан СССР, 1952. – 575с.
55. Мичурин Б.Н. Энергетика почвенной влаги. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 139с.
56. Мищенко З.А. Агроклиматология. – Киев.: КНТ, 2010. -512 с.
57. Моделирование роста и продуктивности сельскохозяйственных

- культур / Под ред. Ф.В.Т. Пфенинга де Фриза и Х.Х. Ван Лара./ Перевод с англ. Под ред. О.Д. Сиротенко.Л.: Гидрометеиздат, 1986. -320 с.
58. Мойсейчик В.А. Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 295с.
59. Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. Энерго- и массообмен в системе растение – почва – воздух. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 357с.
60. Ничипорович А.А., Строганова Л.Е., Чмора С.Н., Власова М.П. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 135с.
61. Ничипорович А.А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев //Тимирязевское чтение. –М.: Изд-во АН СССР 1956. –С.1-93.
62. Немчинов В.С. Выборочные измерения урожайности. // Немчинов В.С. Избранные произведения. –М.:Наука, 1967. –Т.1. –С. 128 – 160.
63. Обухов В.И. Урожайность и метеорологические факторы. –М.: Госпланиздат, 1949. -318 с.
64. Одум Ю. Основы экологии. / Пер. с англ. Под ред. Н.П. Наумова. –М.: Мир, 1975. – 740 с.
65. Остаплюк Е.Д. Причины вымокания растений.–К.:Урожай, 1969.–489 с.
66. Паламарчук В.Д., Поліщук І.С., Каленська С.М, Єрмакова Л.М. Біологія та екологія сільськогосподарських рослин.-Вінниця.: 2013. -722 с.
67. Пасечнюк А.Д., Гончарова Л.И., Филенко В.А.Влияние метеорологических условий на устойчивость озимой пшеницы к полеганию.// Тр. ИЭМ. 1979.- Вып.12 (90).
68. Пасов В.М. изменчивость урожаев и оценка ожидаемой продуктивности зерновых культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 152с.
69. Пасечнюк А.Д. Методика прогноза интенсивности полегания посевов ярового ячменя.// Тр. ИЭМ. 1974. – Вып. 5 (49).
70. Пасечнюк А.Д. Погода и полегание зерновых культур. –Л.: Гидрометеиздат, 1990. -212 с.
71. Писарев В.Е. Селекция зерновых культур. Избранные работы. –М.: Колос, 1964. -318 с.
- 72.Платонов В.А., Чудновский А.Ф. Моделирование агрометеорологических условий и оптимизация агротехники. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 279с.
73. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 318с.
74. Польовий А.М. Сільськогосподарська метеорологія. –Одеса : «ТЕС», 2012. – 628 с.
75. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 175 с.
- 76 Полевой А.Н. Агрометеорологические условия и продуктивность картофеля в Нечерноземье. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 117с.

77. Польовий А.М., Божко Л.Ю., Ситов В.М., Ярмольська О.Є. Практикум з сільськогосподарської метеорології. – Одеса: ТЕС, 2002. – 400 с.
78. Полуэктов Р.А., Пых Ю.А., Швытов И.А. Динамические модели экологических систем. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 169с.
79. Разумова Л.О., Мещанинова Н.Б. Составление агрометеорологических расчетов и прогнозов оптимальных сроков и норм полива кукурузы. Методические указания. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 132с.
80. Раунер Ю.Л. Тепловой баланс растительного покрова. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 209с.
81. Рачулик В.И., Ситникова М.В. Отражательные свойства и состояние растительного покрова. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 287с.
82. Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. Т. 1. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 663с.
83. Росс Ю.К. Радиационный режим и архитектура растительного покрова. –Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 341 с.
84. Саноян М.Г. Агрометеорологические и агрофизические принципы и методы управления влагообеспеченностью посева. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 296с.
85. Сапегин А.А. Закон урожая. // Тр. Одеск. С.-х. селекционной станции. - 1922 – вып.7. - С.3 - 14
86. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистемы. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 167с.
87. Свисюк И.В. Погода, интенсивная технология и урожай озимой пшеницы. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 226с.
88. Смаглий О.Ф. Агроекологія./О.Ф.Смаглий, А.Т.Кардашов, П.В. Литвак та ін. - К: «Вища освіта», 2006. – 662.с.
89. Страшная А.И. Агрометеорологические условия перезимовки и формирования урожая семян многолетних сеяных трав на Европейской части СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 156с.
90. Суховети, их происхождение и борьба с ними. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 367с.
91. Страшный В.Н. Методическое указание по прогнозированию качества зерна озимой пшеницы. –М.: Гидрометеиздат, 1987. – 14 с.
92. Тараріко Ю.О. Енергетична оцінка систем землеробства і технологій вирощування сільськогосподарських культур. Методичні рекомендації /Ю.О.Тараріко, О.Є.Несмашна, Л.Д. Грищенко –К.: Нора – прінт, 2001. – 60 с.
93. Тооминг Х. Г. Солнечная радиация и формирование урожая. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 200с.
94. Тооминг Х. Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 264с.
95. Торнли Дж.Г.М. Математические модели в физиологии растений. –

- К.:Наук.думка, 1982. -310 с.
96. Уланова Е.С. Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 302с.
97. Шатилов И.С. Экологические, биологические и агротехнические условия получения запланированных урожаев.// Изв. ТСХА. -1970. – №1. –С.60-66.
98. Шатилов И.С. Принципы программирования урожайности. // Вестник с.-х. науки.- 1973. №3. –С. 23-31.
99. Шульгин И.А. Растение и солнце. –Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 252 с.
100. Устойчивость зерновых культур к факторам среды /Под ред.В.С Шевелухи. – Минск: Уражай, 1978. – 191с.
- 101.Федосеев А.П. Погода и эффективность удобрений. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 144с.
- 102.Федосеев А.П., Шостак З.А. Влияние влажности почвы на эффективность летней подкормки азотом зерновых культур.// Тр. ИЭМ, 1976. – Вып. 9 (68).
- 103.Федосеев А.П. Агротехника и погода.– Л.: Гидрометиздат,1979.–240 с.
104. Физика почвенных вод. – М.: Наука, 1981. – 208с.
105. Франс Дж., Торнли Дж. Х.М. Математические модели в сельском хозяйстве. – М.: Агропромиздат, 1987. – 309с.
106. Физика среды обитания растений /Под ред. А.М. Глобуса. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 303с.
107. Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліть. Т. I. /Гол. ред.. В.В. Моргун. Київ, 2001. – 435 с.
- 108.Хэнкс Р. Дж., Ашкрофт Дж. Л. Прикладная физика почв. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 150с.
109. Цубербиллер Е.А. Суховеи, их агрометеорологическая сущность и пути борьбы с ними. М.: Колос, 1966. – 110с.
110. Цупенко Н.Ф. Справочник агронома по агрометеорологии. – К.: Урожай, 1990. -238 с.
111. Шатилов И.С., Чудновский А.Ф. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 318с.
112. Шикула Н.К. Минимальная обработка черноземов и воспроизводство их плодородия. /Н.К.Шикула, Г.В. Назаренко –М.: Агропромиздат, 1990.- 320 с.
113. Шостак З.А., Федосеев А.П. Влияние влажности почвы на эффективность подкормки азотом зерновых культур. // Тр. ИЭМ, 1986. Вып.8 (67). – С. 14 – 19.
- 114.Шульгин А.М. Климат почвы и его регулирование. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 340с.
- 115.Шульгин И.А. Растение и солнце. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 251с.
- 116.Шкляева Н.М., Русакова Т.И., Лебедева В.М., Грингоф И.Г.

- Современные технологии поэтапного прогнозирования урожайности и валового сбора зерновых культур. // Метеорология и гидрология. – 2006. -№7. – С.101-108.
- 117.Monsi V., Saeki N. Uber den Lichtfaktor in den Planzengesellschaften und seine Bedeutung fur die Stoffproduktion. –Jap. J. Bot., 1953, vol.14. – P.22 – 52.
118. Baldy, C., Stigter C.J. Agrometeorology of multiple cropping in warm climates. Oxford & IBM Publ. Comp., 1997. – 237 pp.
- 119.Benuncasa, F., Moracchi, Rossi, P. Agrometeorologia. Patron (Bologna), 1991. – 246 pp.
- 120.Griffiths, J. F. (ed.) Handbook agricultural meteorology. Oxford University Press, U.K., 1994. – 320 pp.
- 121.Lowry, W.P., Lowry P.P.. Fundaments of biometeorology. Vol.1: The physical environment. Peavine Publ., Oregon, USA, 1989. 310 pp.
- 122.Perarnaud, V., Raynal, N.. Agrometeorologie. Meteor. Nation. Cours et Manuals, 1991. – 183 pp.
- 123.Wieringa, J., Lomas, J. Lecture notes for training agricultural meteorological personnel. (2nd Ed.), WMO-No. 551, Geneva, Switzerland, 2001. – 196 pp.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

- А**
Агрометеорологічний 5, 24,69,130,230
Агроекологічний 23,33,38,175,
Агрофітоценоз 8,10, 210
Агротехніка 175
Асиміляти 21, 204,206
Атмосфера 36 ,99
Азот 133
- Б**
Баланс радіаційний 15, 92,94
тепловий 112,114,118
бал 76
Білок 74
Біосфера 36
Біомаса 207,209
Біоенергетика 181,183
Бор 135
- В**
Випаровування 131
Випрівання 167,169
Властивості біологічні 44,63
і урожаю 63
Волога 121,123
вологообмін 42,44
вологість 125,128
вологозабезпеченість 130,131
Вузол кушіння 165, 167
- Г**
Гармонійні зважування 71,72
Ґрунт – 109,110
Густота стояння 68
- Д**
Дефіцит 138,139
Дифузія 123
Дихання 17,152,157
Добрива 132,138
ефективність добрив 132-143
- Е**
Екосистема 32,34
Екологічна модель 71,74
Екстремум 109,266
Екологічна модель 71,74
Енергія 132,139
- Ж**
Живлення мінеральне 132, 139
Життєдіяльність 78
- З**
Загартування 165
Закон урожаю 12,
Запаси вологи 121
Засуха 150,153
Заморозок 155,157
Зволоження надмірне 160,162
Землеробство 67, 70
Земля 84
Зимостійкість 166,167
- Е**
Екосистема 32,34
Екологічні фактори 14
Екологічна модель 71,74
Екстремум 109,266
Енергія сонячна 82-84
Ефективність добрив 132,139,141,143
- І**
Інформація 29,30
Інтенсивність фотосинтезу 88 ,90,93
- К**
Калій 134
Клімат 142, 171
Компонент 7,11
Концепція первісна 7,8,
Сапегіна 11,
Броунова 12
агроекологічна 23
моніторингова 28
продукційного процесу 25
Коефіцієнт водоспоживання 124,125
енергетичний 181,182
корисної дії 88, 196
морозонебезпечності 168
продуктивності 26,27
- Крива продуктивності 110
світлова 93
фотосинтезу 89,91
- Критичний період 9,12
- Л**
Ландшафт аграрний 39,41
Листковий індекс 91,92
- М**
Марганець 136
Модель математична 35
Молібден 137
Морозонебезпечність 165, 166
Морозостійкість 166

Н

Насінництво 72,74,78
Норма 180,181

О

Обробіток ґрунту 175,176
Онтогенез 55,58,65,67
Органогенез 54,56,59
Опади 121,123,160

П

Період вегетаційний 23,26
 критичний 12
 міжфазний
Поверхня підстильна 93,99,102
Поле радіаційне 159, 185,188
Процес продукційний 16, 159,185,188
 фізіологічний 100
 ростовий 54-56
Продуктивність 7,16

Р

Радіація сонячна 81,93,194
Ріст 46,82
 активатори росту 49
Регулятор росту 48,49
Режим радіаційний 95
Родючість ґрунтова 172,173
Рослинництво 175,17
Ряд часовий 69

С

Система екологічна 32,34
 агроекологічна 36,38
Сівозміна 174,175
Середовище 8,10,33
 абіотичне 33
 антропогенне 33
 зовнішнє 34,35
 мешкання 33
Сонячна стала 82
 енергія 82,84,92
Структура урожаю 67
Сума біологічна 104
 кліматична 104, 105

Т

Температура 19,96,99,108,110, 151,155
Температуропровідність 111,112
Термоізоплети 113
Теплоємність 118,119
Теплообмін 117,118
Тренд 71,72
Теорія урожаю 27,28

У

Умови агрометеорологічні 6, 125
Урожай 5,68,78,148,172,174
 біологічний 13
 властивості урожаю 63
 потенційний 200,201
 дійсно можливий 202
 програмований 15
 кінцевий 85

Ф

Фази розвитку 9,51,60
 Фенологічні 5,53
Фактор антропогенний зз
 біотичний 10,12
 екологічний 14,32,38,78
 мікрометеорологічний 10,11
 урожаю 78,118,130,175

Фітомаса 20,21

Фотоелемент 39,40

Фітоценоз 94,193

Фенологія 53,54

Фонд 147,157

Фотоперіодизм 85

Фотосинтез 7,15,84,92, 195

Фосфор 132,135

Ц

Цикл 51,53

Щ

Шільність ґрунту 174,175

Я

Явища несприятливі 148

Якість зерна 73,74

 врожаю 76

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

- Лібіх Ю. 8
 Блекман Ф.Ф. 8
 Мітчерліх Е.А. 8
 Бауле Л. 8
 Богуславський Б.А. 8
 Фоїзін А 8
 Робертсон Т.Б. 8
 Гекслі І.К. 8
 Шелфорд В. *
 Шульгін А.М. 9
 Тин еман А. 9
 Сапегін А.О. 11
 Любименко В.М. 11
 Машков Ф.Ф. 11
 Броунов П.І. 12
 Обухов В.М. 13
 Ничипорович О.А. 13
 Шатілов І.С. 14
 Іванов Л.А. 17
 Монсі М. 17
 Саєкі І. 17 18
 Торнлі Г.М. 18
 Росс Ю.К. 18
 Сиротинко О.Д. 18
 Польовий А.М. 18
 Галямін Є.П. 18
 Де Фріз 18
 Біхеле З.Н. 18.
 Молдау Х.А. 18
 Дмитренко В.П. 22
 Антоненко В.С. 23
 Ізраїль Ю.А. 30
 Зенова Г.М. 36
 Уразаєв Н.А. 39
 Воейков О.І 52
 Куперман Ф.Ф. 55
 Писарєв В.Є. 68
 Немчинов В.С. 68
 Юрєв В.Я. 68
 Савицький М.С. 68
 Носатовський О.І. 68
 Хельвег З. 72
 Кіндрок О.К. 74
 Будико М.І. 82
 Тоомінг Х.Г. 86
 Гуляєв Б.І. 86
 Фимова Н.А. 86
 Сівков С.І. 86
 Перельот М.А. 91
 Нільсон Т.А. 92
 Берлянд М.Є 93
 Шиголєв О.О. 100
 Чирков Ю.І. 100
 Уланова Є.С. 100.
 Степанов В.М. 102
 Руденко О.І. 103
 Міщенко З.А. 103
 Ситник К.М. 104
 Городецький О.В. 104
 Брайон А.В. 104
 Куртєнер Д.А. 115
 Чудновський А.Ф. 115
 Іконникова Є.О. 115
 Хенкс Р.Дж. 116
 Расмусен Дж. 116
 Ашкрофт Дж.П. 116
 Польовий В.В. 118
 Федоров А.В. 119
 Конторщиків О.С. 119
 Булавко А.Г. 119
 Попов В.П.
 Роде А.А. 121
 Будаговський О.І 121
 Веріго С.О. 121
 Кельчевська В.І. 121
 Конторщикова О.М. 121
 Алпатьєв А.М. 121
 Разумова Л.О. 121
 Смаглій О.Ф. 122
 Будико М.І. 123
 Пенман Х.Л. 123
 Іванов Н.Н. 124
 Сказкін Ф.Д. 126
 Мещанінова Н.Б. 127
 Процєров О.В. 128
 Коровін О.І. 139
 Федосєєв О.П. 142
 Шостак З.Ф. 144
 Страшна Г.І. 152
 Кошкін Є.І. 154
 Куперман І.А. 155
 Хитрово О.В. 155
 Пасєчнюк Л.Є. 156
 Сенніков В.А. 156
 Жуком В.А. 157

Святкіна О.А. 157
Гутман Ф.Ш. 162
Шевелуха В.С. 163
Туманов І.І. 167
Лічикакі В.М.168
Мойсейчмк В.О. 170
Тюрин І.В. 176
Кононова М.М. 176
Короткова А.Я. 177
Вовкодав В.В. 182
Дудченко В.І. 183
Торнлі Дж.Х.М. 189
Гатаулін Г.Г. 191
Самцевич С.А. 195

Устенко Г.П. 200
Паламапчук В.Д.213
Поліщук О.С.223
Каленська С.М.223
Єрмакова Л.М.223
Чирков Ю.І. 225
Танчик С.П. 232
Мумінов Ф.А. 239
Абрамов А.А.252
Філов. О.І. 252
Брежнев Д.Д. 255

ДОДАТКИ

Додаток А

МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ ФОТОСИНТЕЗУ ПОСІВІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

```
common w0(15),ts(15),ss(15),dv(15),inf(50)
common n,t0,n2,n1,fi
Character*4 a1,a2,a3,a4
real inf
integer t0,dv
kb=1
open (unit=5,file='Foto10.dat',status='old',form='formatted')
Open (UNIT=6,FILE='Foto10.res')
read(5,100)kb
do 30 i=1,kb
read(*,116) a1,a2,a3,a4
read(*,100)n,t0,n1,n2,fi
read(*,102)(w0(j),j=1,n)
read(*,102)(ts(j),j=1,n)
read(*,102)(ss(j),j=1,n)
read(*,115)(dv(j),j=1,n)
read(*,101)(inf(j),j=1,9)
write(*,119)
WRITE(6,234)
WRITE(6,236)
234 FORMAT(10X,' МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ ')
236 FORMAT(10X,' ФОТОСИНТЕЗУ ПОСІВІВ С.-Г. КУЛЬТУР')
write(*,119)
write(6,117)
117 format(10x,' В Х І Д Н А І Н Ф О Р М А Ц І Я ')
write(6,118)
write(*,116) a1,a2,a3,a4
write(*,100) n,t0,n1,n2,fi
write(*,102) (w0(j),j=1,n)
write(*,102) (ts(j),j=1,n)
write(*,102) (ss(j),j=1,n)
write(*,115) (dv(j),j=1,n)
118 format(1x,72('-'))
write(*,118)
write(*,101)(inf(j),j=1,9)
write(*,119)
119 format(1x,72('='))
write(*,120)
120 format(1x,' РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ')
write(*,119)
call dmpp
100 format(4i3,f6.2)
101 format(10f8.2)
102 format(10f6.1)
115 format(24i3)
116 format(4a4)
30 continue
stop
end
subroutine dmpp
dimension llm(15),qm(15),ts1m(15),ts2m(15)
common w0(15),ts(15),ss(15),dv(15),inf(50)
```



```

dimension j1m(15),gim(15),flm(15),ksi(15),gamfm(15),blm(15),
1 bsm(15),brm(15),bpm(15),aflm(15),arlm(15),tss(150),
2 ts11(15),f0lm(15),f1lm(15),dmmm(15),j0m(15),tdm(15),
3 d11(15),dmdm(15),dmlm(15),dmsm(15),dmrm(15),dmpm(15),
4 x11(15),x2l(15),dL(15),vLAI(15),xt2(15),xt3(15),
5 taudm(15),d12(15)
real ksi,llm
real*8 ksifl,top,td
integer t0,dv,gi,g2,gim
common n,t0,n1,n2,fi
real m,ml,ms,mr,mp,ll,ls,lp,mu,ksifp,inf,j0,jj,mz
ff0l(bk,b,jj)=bk*b*jj/(bk+b*jj)
j1=1
gi=0
sss=inf(6)
sss1=inf(7)
ts2=0
j2=0
331 format(1x,4f7.3)
write(*,121)
121 format(' ')
120 format(4x,70('-'))
write(*,120)
do 300 j=1,n
nn=dv(j)
do 310 i=1,nn
ts1=ts(j)-inf(1)
if(ts1.lt.0)ts1=0
ts2=ts2+ts1
tss(i+j2)=ts2
310 continue
j2=j2+dv(j)
ts11(j)=ts1
300 continue
do 99 j=1,n
s1=0
s2=0
s3=0
s4=0
s5=0
s6=0
s7=0
ts1=ts11(j)
334 format(1x,f10.2)
nn=dv(j)
do 400 i=1,nn
444 format(1x,i5,2x,f7.3)
ts2=tss(gi+1)
delta=0.017453*(0.473*(t0+gi)-0.196e-2*(t0+gi)**2-0.407e-5*
* (t0+gi)**3-0.616)
a=sin(0.017453*fi)*sin(delta)
b=cos(0.017453*fi)*cos(delta)
tz=12+3.8197*acos(-a/b)
tv=24-tz
s1=s1-delta
s2=s2+a
s3=s3+b
s4=s4+tz
s5=s5+tv
C write(6,335)tv,delta

```

```

335  format(1x,2f8.2)
      a1=-100.*alog(0.5)/(inf(3)**2)
      alf=exp(-a1*((ts2-inf(3))/10)**2)
      a1=-100.*alog(0.5)/(0.25*(inf(2))**2)
      arl=exp(-a1*((ts2-0.25*(inf(2)))/10)**2)

```

Р О З Р А Х У Н О К П Л О Щ І Л И С Т Я

```

x11(j)=ts2/inf(3)
if(ts2.lt.inf(3)) dL(j)=(0.044297+0.026099*x11(j)+0.87814*
4(x11(j))**2+3.146*(x11(j))**3-3.1015*(x11(j))**4)*inf(5)
if(ts2.gt.inf(3).and.ts2.lt.inf(4)) dL(j)=inf(5)
x21(j)=(ts2-inf(4)-10)/(inf(2)-inf(4))
if(ts2.gt.inf(4)) dL(j)=(1.0069-0.35619*x21(j)+0.74286*
4(x21(j))**2-1.3867*(x21(j))**3)*inf(5)
if(dL(j).lt.0.1) dL(j)=0.1
      vLAI(j)=dL(j)
if(vLAI(j).gt.inf(5))vLAI(j)=inf(5)

```

```

c
      goto 63

```

```

63      s6=s6+alf
          s7=s7+arl
          gi=gi+1

```

```

400    continue
      delta=s1/dv(j)

```

```

      a=s2/dv(j)
      b=s3/dv(j)
      tz=s4/dv(j)
      tv=s5/dv(j)
      taud=tz-tv
      afl=s6/dv(j)
      arl=s7/dv(j)

```

```

336  format(1x,5f10.3)

```

```

      goto 9
9      q=12.66*ss(j)**1.31+315.0*(a+b)**2.1
      j0=0.52*q/(taud*60)
      d11(j)=j0
      top=inf(9)
      w1=w0(j)/inf(8)

```

```

c
с Розрахунок функції впливу температури повітря
c

```

```

      R7=TS(J)-(TOP-0.5)
      XT2(j)=(TS(J)-inf(1))/(TOP-inf(1))
      KSIFL=13.7*SIN(0.0774*XT2(j))

```

```

cc
      if(ts(j).gt.(top-0.5).and.ts(j).lt.(top+0.5))ksifl=1.0
      r8=ts(j)-(top+0.5)
      xt3(j)=(ts(j)-(top+0.5))/(30-(top+0.5))
      if(r8.gt.0) ksifl=1.1323*cos(1.5705*xt3(j))-0.1323

```

```

cc
      if(r7.gt.0.and.ts(j).lt.(top+0.5))ksifl=1.0
      if( ksifl.lt.0.3 ) ksifl=0.3
      if(ksifl.gt.1.0) ksifl=1.0

```

```

c
      if(inf(7).le.85)gamf=2.899*exp(-0.9117*w1)-3.64*exp(-2.73*w1)
      if(inf(7).gt.85)gamf=4.200*exp(-0.703*w1)-5.48*exp(-1.648*w1)
      if( gamf.gt.1 ) gamf=1
      if( gamf.lt.0.1 ) gamf=0.1
      jj=j0/(1.+0.5*vLAI(j))

```

```

f0l=ff0l(sss,sss1,jj)
ftl=afl*f0l*ksifl*gamf
fl=0.68*ftl*vLAI(j)*taud*0.1
dmm=fl-arl*(0.25*fl)
337 format(1x,4f10.3)
j1m(j)=j
gim(j)=gi
flm(j)=fl
ksi(j)=ksifl
gamfm(j)=gamf
aflm(j)=afl
arlm(j)=arl
qm(j)=q
ts1m(j)=ts1
ts2m(j)=ts2
f0lm(j)=f0l
ftlm(j)=ftl
dmmm(j)=dmm
j0m(j)=j0
taudm(j)=taud
d12(j)=jj
99 continue
write(*,120)
j1=j-1
write(*,121)
write(*,217)
217 format(10x, ' ТАБЛИЦЯ 1 ')
write(*,170)
170 format(10x, ' ВПЛИВАЮЧІ АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ ')
write(*,140)
write(*,143)
143 format(4x,'i','Дек',1x,'i','Доба',2x,'i',2x,'ts1',3x,'i',3x,'ts2',
1 4x,
1'i',2x,'J0 ',2x,'i',1x,'JL ',4x,'i',2x,'ksifl',1x
1,'i',' gamf ',i')
write(*,140)
do 154 ji=1,j1
write(6,151)j1m(ji),gim(ji),ts1m(ji),ts2m(ji),d11(ji),d12(ji)
1,ksi(ji),gamfm(ji)
154 continue
151 format(4x,'i',i3,1x,'i',1x,i3,1x,'i',f5.1,3x,
1'i',f8.1,2x,'i',f7.2,1x,'i',f6.2,2x,'i',f7.2,1x,'i',1x,
2 f5.2,1x,'i')
write(*,121)
write(*,121)
write(*,140)
print *,ts1-середня за декаду ефективна температура(град.)'
print *,ts2-сума еф. температур наростаючим підсумком(град.)'
print *,'J0-ср.за декаду інтенсивн.ФАР над посівом(кал/см2 хв.)'
print *,'JL-ср.за декаду інтенсивн.ФАР в посіві(кал/см2 хв.)'
print *,'ksifl-температурна крива фотосинтезу, відн.одиниці'
print *,'gamf-функц.впливу вологи ґрунту на фотосинтез,відн.од.'
write(*,120)
write(*,120)

write(*,140)
write(*,317)
317 format(10x, ' ТАБЛИЦЯ 2 ')

write(*,153)

```

```

153 format(15x,ПЛОЩА ЛИСТЯ, ФОТОСИНТЕЗ, ПРИРІСТ МАСИ)
   write(*,140)
   write(*,149)
   write(*,140)
149 format(4x,'i','Дек',1x,'i',1x, 'Доба',1x,'i',
13x,'LAI',3x,'i',3x,'FOL',3x,'i',3x,'FtL',3x,'i',2x,'FL',3x,
1 'i',3x,'DM ',4x,'i')
   do 141 i5=1,j1
   write(6,150)j1m(i5),gim(i5),
1 vLAI(i5),f0lm(i5),ftlm(i5),flm(i5),(dmmm(i5)*dv(i5))
141 continue
   write(*,140)
150 format(4x,'i',i3,1x,'i',1x,i3,1x,
1'i',2x,f5.1,1x,'i',2x,f5.1,2x,'i',2x,f5.1,2x,'i',
11x,f5.1,1x,'i',1x,f5.1,3x,'i')
   write(*,121)
   print *,'LAI-площа листя посіву(м2/м2)'
   print *,'FOL-інтенсивн.фотосинтезу при оптимальних умовах'
   print *,'по темпер.повітря і вологі ґрунту, мгСО2/дм2 годину'
   print *,'FtL-інтен.фотосинт.в польових умовах,мгСО2/дм2 годину'
   print *,'FL-фотосинтез посіву за добу, г/м2 добу'
   print *,'DM-приріст загальної маси посіву за декаду, г/м2 декаду'
   write(*,140)
с   write(6,873)dmdm(n)
с873 format(1x,'M=',f7.3)

140 format(4x,67('-'))
С   CLOZE (UNIT=6)
   return
   end

```

ДОДАТОК Б

ВХІДНА ІНФОРМАЦІЯ

1
 ХЕРСОН 04 20.6
 12 54 13 3 47.40
 110.0 90.0 80.0 70.0 70.0 65.0 60.0 55.0 50.0 45.0
 50.0 47.0
 15.9 17.2 18.3 19.1 20.0 21.2 22.3 22.5 22.2 21.3
 20.5 19.6
 8.8 9.1 9.5 9.9 15.2 15.5 10.8 10.6 10.4 10.2
 10.6 9.3
 8 11 10 10 10 10 10 11 10 10 10 10
 05.00 1800.00 0600.00 0800.00 05.00 030.00 0400.00 0100.00 0020.00

ДОДАТОК В

ВИХІДНА ІНФОРМАЦІЯ

 =====
 МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ
 ФОТОСИНТЕЗУ ПОСІВІВ С.- Г. КУЛЬТУР
 =====

ВХІДНА ІНФОРМАЦІЯ

 ХЕРСОН 04 20.6
 12 54 13 3 47.40
 110.0 90.0 80.0 70.0 70.0 65.0 60.0 55.0 50.0 45.0
 50.0 47.0
 15.9 17.2 18.3 19.1 20.0 21.2 22.3 22.5 22.2 21.3
 20.5 19.6
 8.8 9.1 9.5 9.9 15.2 15.5 10.8 10.6 10.4 10.2
 10.6 9.3
 8 11 10 10 10 10 10 11 10 10 10 10

 5.00 1800.00 600.00 800.00 5.00 30.00 400.00 100.00 20.00
 =====

 РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ
 ТАБЛИЦЯ 1
 ВПЛИВАЮЧІ АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ

іДек	іДоба	і ts1	і ts2	і J0	і JL	і ksifl	і gamf	і
і 1	і 8	і 10.9	і 87.2	і 0.27	і 0.22	і 0.77	і 1.00	і
і 2	і 19	і 12.2	і 221.4	і 0.27	і 0.16	і 0.86	і 0.99	і
і 3	і 29	і 13.3	і 354.4	і 0.28	і 0.11	і 0.94	і 0.93	і
і 4	і 39	і 14.1	і 495.4	і 0.28	і 0.08	і 1.00	і 0.84	і
і 5	і 49	і 15.0	і 645.4	і 0.39	і 0.11	і 1.00	і 0.84	і
і 6	і 59	і 16.2	і 807.4	і 0.40	і 0.11	і 0.99	і 0.78	і
і 7	і 69	і 17.3	і 980.4	і 0.30	і 0.09	і 0.95	і 0.72	і
і 8	і 80	і 17.5	і 1172.9	і 0.30	і 0.09	і 0.94	і 0.64	і
і 9	і 90	і 17.2	і 1344.9	і 0.30	і 0.10	і 0.96	і 0.55	і
і 10	і 100	і 16.3	і 1507.9	і 0.30	і 0.11	і 0.99	і 0.45	і
і 11	і 110	і 15.5	і 1662.9	і 0.30	і 0.16	і 1.00	і 0.55	і
і 12	і 120	і 14.6	і 1808.9	і 0.27	і 0.26	і 1.00	і 0.49	і

ts1-середня за декаду ефективна температура(град.)
 ts2-сума еф.температур наростаючим підсумком(град.)

J0-ср.за декаду інтенсивн.ФАР над посівом(кал/см² хв.)
 JL-ср.за декаду інтенсивн.ФАР в посіві(кал/см² хв.)
 ksifl-температурна крива фотосинтезу, відн.одиниці
 gamf-функц.впливу вологи ґрунту на фотосинтез,відн.од.

 ТАБЛИЦЯ 2
 ПЛОЩА ЛИСТЯ, ФОТОСИНТЕЗ, ПРИРІСТ МАСИ

іДека	іДоба	і LAI	і FOL	і FtL	і FL	і DM	і
і 1	і 8	і 0.4	і 22.5	і 9.7	і 3.7	і 23.1	і
і 2	і 19	і 1.4	і 20.5	і 12.0	і 17.1	і 144.3	і
і 3	і 29	і 3.2	і 17.6	і 12.8	і 43.1	і 325.8	і
і 4	і 39	і 5.0	і 15.6	і 12.3	і 65.3	і 489.9	і
і 5	і 49	і 5.0	і 17.9	і 15.0	і 79.9	і 602.0	і
і 6	і 59	і 5.0	і 18.1	і 13.5	і 71.5	і 548.3	і
і 7	і 69	і 4.8	і 16.3	і 9.3	і 46.4	і 367.1	і
і 8	і 80	і 4.5	і 16.5	і 6.3	і 29.2	і 264.1	і
і 9	і 90	і 4.1	і 17.0	і 3.8	і 15.4	і 131.9	і
і 10	і 100	і 3.2	і 18.0	і 2.1	і 6.5	і 58.0	і
і 11	і 110	і 1.9	і 20.2	і 1.7	і 2.9	і 26.9	і
і 12	і 120	і 0.1	і 23.3	і 0.9	і 0.1	і 0.8	і

 LAI-площа листя посіву(м²/м²)
 FOL-інтенсивн.фотосинтезу при оптимальних умовах
 по темпер.повітря і вологі ґрунту, мгСО₂/дм² годину
 FtL-інтен.фотосинт.в польових умовах,мгСО₂/дм² годину
 FL-фотосинтез посіву за добу, г/м² добу
 DM-приріст загальної маси посіву за декаду,г/м² декаду

Навчальне видання

Польовий Анатолій Миколайович, Божко Людмила Юхимівна

**БІОЛОГІЧНІ Й ЕКОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ
ПРОДУКТИВНОСТІ АГРОЕКОСИСТЕМ**

Підручник

Надруковано в авторській редакції

Підписано до друку
Папір офсетний. Ум. друк. арк.
Наклад прим. Замовлення
Видавництво та друкарня

Формат

Одеський державний екологічний університет
65016, м. Одеса, вул. Львівська 15

Надруковано з готового оригінал-макету