

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра агрометеорології та
агрометеорологічних прогнозів

ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

рівень вищої освіти: «спеціаліст»

на тему : **Вплив агрометеорологічних умов на формування**
врожайності картоплі в Вінницькій області

Виконала студентка I курсу групи МСА-516
спеціальності 103 «Науки про Землю»,
спеціалізації «Агрометеорологія»
Ратнікова Олена Григорівна

Керівник к.геогр.н., доцент
Свидерська Світлана Михайлівна

Рецензент к.геогр.н., доцент
Бояринцев Євген Львович

Одеса 2017

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут Гідрометеорологічний
Кафедра агрометеорології та агрометеорологічних прогнозів
Рівень вищої освіти спеціаліст
Спеціальність 103 «Науки про Землю», спеціалізація «Агрометеорологія»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри агрометеорології та
агрометеорологічних прогнозів

Польовий А.М.

«13» березня 2017 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТЦІ

РАТНИКОВІЙ ОЛЕНІ ГРИГОРІВНІ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Вплив агрометеорологічних умов на формування врожайності картоплі в Вінницькій області»

керівник проекту Свидерська Світлана Михайлівна к.геогр.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «17» грудня 2016 року № 372-«С»

2. Строк подання студентом проекту 1 червня 2017 р.

3. Вихідні дані до проекту Вплив агрометеорологічних умов на формування окремих органів рослини та на формування врожайності картоплі в цілому в Вінницькій області

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Описати динамічну модель продукційного процесу картоплі, провести чисельні експерименти з розробленою моделлю впливу сухих та вологих умов на формування врожайності картоплі в Вінницькій області. Провести аналіз, як здійснюється вплив сухих та вологих умов на врожайність картоплі і як проходить формування врожаю картоплі при середньобагаторічних умовах в Вінницькій області.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Графіки впливу сухих та вологих умов на формування окремих органів рослини та на формування врожайності картоплі в цілому. Графіки впливу середньобагаторічних умов на формування врожайності картоплі в Вінницькій області. Графіки порівняльної характеристики агрометеорологічних умов.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 13 березня 2017 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Отримання завдання, збір даних для виконання проекту	13.03.2017 р.- 26.03.2017 р.	92,0	Відм.
2	Ознайомлення з об'єктом дослідження, методиками проведення розрахунків, написання вступу, глави 1	27.03.2017 р.- 02.04.2017 р.	88,0	Добре
	Атестація I	03.04.2017 р.- 08.04.2017 р.	90,0	Відм.
3	Вивчення динаміко-математичної моделі продукційного процесу картоплі	09.04.2017 р.- 23.04.2017 р.	92,0	Відм.
4	Вивчення впливу сухих та вологих умов на формування врожайності картоплі в Вінницькій області, написання 2 глави проекту та проведення чисельних розрахунків за моделлю	24.04.2017 р.- 02.05.2017 р.	89,0	Добре
	Атестація II	03.05.2017 р.- 06.05.2017 р.	90,0	Відм.
5	Аналіз розрахунків, підготовка 3 і 4 глав проекту	07.05.2017 р.- 28.05.2017 р.	89,0	Добре
6	Виправлення зауважень, остаточне оформлення проекту, написання доповіді, підготовка презентації	29.05.2017 р.- 01.06.2017 р.	92,0	Відм.
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		90,3	

Студентка

_____ (підпис)

Керівник проекту

_____ (підпис)

Ратнікова О.Г.
(прізвище та ініціали)

Свидерська С.М.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА І АГРОКЛІМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	7
1.1 Фізико-географічний опис Вінницької області.....	7
1.2 Агрокліматичні особливості Вінницької області.....	8
2 БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КАРТОПЛІ ПО ВІДНОШЕННЮ ДО ФАКТОРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	12
2.1 Ботанічна характеристика картоплі.....	13
2.2 Відношення картоплі до температури.....	14
2.3 Відношення картоплі до світла та вологи.....	16
2.4 Вимоги картоплі до ґрунту та елементів мінерального живлення.....	19
2.5 Сорти картоплі.....	27
2.6 Шкідники та хвороби картоплі.....	28
3 СУЧАСНИЙ СТАН МОДЕЛЮВАННЯ Й ПРОГНОЗУВАННЯ ВРОЖАЮ КАРТОПЛІ.....	36
3.1 Моделювання процесів формування врожаю картоплі.....	37
3.2 Продукційний процес рослин (ППР).....	50
3.3 Моделювання основних складових продукційного процесу рослин.....	52
4 ВПЛИВ АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ НА ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЮ КАРТОПЛІ В ВІННИЦЬКІЙ ОБЛАСТІ.....	68
4.1 Вплив середньобогаторічних умов на формування врожаю картоплі в Вінницькій області.....	68
4.2 Вплив засушливих умов на формування врожаю картоплі в Вінницькій області.....	73
4.3 Вплив вологих умов на формування врожаю картоплі в Вінницькій області.....	78
4.4 Порівняльна характеристика середньобогаторічних умов з	

засушливими та вологими умовами та їх вплив на формування врожаю картоплі в Вінницькій області.....	82
ВИСНОВКИ.....	88
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	90

ВСТУП

Вирощування картоплі потребує певних знань та вмінь. Значення картоплі у харчуванні людини важко переоцінити, тож не випадково її називають другим хлібом. Бульби картоплі навіть вареними містять у собі вітаміни.

Хоча й картопля потрапила у наші землі відносно недавно (пару століть тому), та вже міцно завоювала позиції “королеви полів”. Це й не дивно. Картопля має високу харчову цінність, легко засвоюється організмом. Не всі знають що у свіжій картоплі дуже багато вітаміну С. Також овоч багатий на вітаміни групи В, вітамін Е та Д, калій та легкозасвоювані вуглеводи. В медицині картоплю рекомендують хворим на серцево-судинної системи.

При великих затратах праці і матеріальних ресурсів її врожайність залежить від ґрунтово-кліматичних умов. Картоплю вирощують в різних зонах України: на піщаних і суглинкових ґрунтах, чорноземах, - від Полісся до Степу. Рослина картоплі характеризується високою пластичністю, проте нормальний ріст і розвиток проходить при забезпеченні у відповідних кількостях світлом, теплом, повітрям, водою і елементами живлення. Всі сорти мають генетичний потенціал якості. Як цей показник буде використовуватись у кожному конкретному випадку у виробничих умовах, залежить не лише від технології вирощування картоплі, але й від погодних умов вегетаційного періоду. Водночас вплив метеорологічних чинників не можна розглядати окремо від ґрунтових умов, внесення добрив, біологічних особливостей сорту. Тому при вирощуванні сортів важливо знати їх реакцію на умови вирощування. Сучасна технологія вирощування спрямована на створення у різних зонах оптимальних умов для росту й розвитку рослин, формування врожаю, а також на забезпечення високої продуктивної роботи сільськогосподарської техніки при садінні, догляді за посівами та збиранні бульб. Все це вимагає диференційованого застосування агротехнічних

прийомів вирощування картоплі, які визначаються зміною умов у часі та просторі.

Картоплярам України добре відомий сорт картоплі Невський. Виведений методом схрещування сортів Веселовська × Кандидат. Сорт Невський займає майже 26 % від вирощуваних площ картоплі. На Півдні України сорт широко використовують завдяки його стійкості до виродження. Сорт є екологічно – пластичним. В Україні сорт Невський був зареєстрований як середньоранній, а при системі крапельного зрошення використовується як ранній сорт.

Значні коливання врожайності картоплі визначаються як впливом погодних умов на фотосинтетичну продуктивність рослин, так і впливом цих же умов на ступінь розвитку популяції шкідників і різних інфекцій.

Актуальність цієї теми визначається практичною необхідністю розробки математичної моделі, котра описує вплив різних агрометеорологічних умов (середньобагаторічних умов, вологих і засушливих умов) на формування урожайності картоплі.

В даному дипломному проекті розглядаються як теоретичні, як і практичні аспекти моделювання впливу середньобагаторічних, засушливих і вологих умов на формування урожайності картоплі в Вінницькій області.

Виходячи з цього, головною метою даної роботи, є моделювання впливу різних агрометеорологічних умов на формування урожайності картоплі в Вінницькій області.

1. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА І АГРОКЛІМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Фізико-географічний опис Вінницької області

Вінницька область — область в центрі України. На півночі регіон межує з Житомирською, на сході - з Київською, Черкаською та Кіровоградською областями України, на заході - з Хмельницькою та Чернівецькою областями, на півдні - Одеською областю, Молдовою і Придністров'ям [1].

Більша частина території області розташована в межах Подільської (до 362 м) і Придніпровської (до 323 м) височин. Поверхня Вінницької області - хвиляста рівнина, що підвищується на північний захід і знижується на південь і південний схід. Особливо сильно розчленована її південно - західна частина вузькими долинами меридіональних лівих приток Дністра.

Під лісами (дуб, граб, ясен, липа, клен, сосна) і чагарниками зайнято 12,6 % території, безлісні простори розорані. Тваринний світ: козуля, вовк, лисиця, лісова куниця, білка, заєць, польові гризуни; по берегах річок та інших водойм - норка, видра, дикі качки, гуси.

Аграрним виробництвом в області займається понад 700 колективних сільськогосподарських і міжгосподарських підприємств, більш 100 радгоспів, 846 сільських (фермерських) і 333 підсобних і заготівельних господарств , 4 дослідних станції , науково - дослідний інститут кормів .

Характерною ознакою промислового комплексу Вінницької області є індустріально - аграрна спрямованість. Всі провідні галузі (за винятком електроенергії) безпосередньо пов'язані з сільськогосподарським циклом, починаючи з виробництва машин і добрив і закінчуючи переробкою сільськогосподарської сировини.

1.2 Агрокліматичні особливості Вінницької області

Як і на більшій частині території Правобережного Лісостепу України, клімат Вінниччини помірно континентальний. Для нього характерні тривале, нежарке літо з достатньою кількістю вологи та порівняно коротка, м'яка зима.

За своїм географічним положенням територія області знаходиться в сфері впливу насичених вологою повітряних мас, які йдуть з Атлантичного океану, і периферичної частини сибірського (азіатського) антициклону, для якого типовими є сухі, холодні континентальні повітряні маси. На клімат області мають вплив також повітряні маси з Арктики і Середземномор'я. Вінниччина, як і вся Україна, розташована в помірному поясі. Обласний центр – м. Вінниця - знаходиться під 49° північної широти, тобто віддалений від екватора на 49° , а від Північного полюса - на 41° [1].

В літню пору на території області, як і всього Поділля, переважають вологі вітри західного і північно - західного румбів. Вони найбільше впливають на кліматичні умови районів, розташованих на північний захід від лінії Могилів - Подільський - Гайсин. В холодну пору року (з жовтня по квітень) на території області, яка пролягає на південний схід від цієї лінії, відчутний вплив сибірського антициклону з вітрами південних і південно - східних румбів.

Найхолоднішим місяцем по всій області є січень, найтеплішим - липень. Середні амплітуди коливань температури протягом року не перевищують 25°C . Під впливом континентальних повітряних мас іноді буває, що взимку температура повітря в окремі дні знижується до -32°C ...- 38°C . Влітку температура підвищується до $+37^\circ\text{C}$. Максимум опадів припадає на травень - липень (130-170 мм). Найменш вологими є зимові місяці. В грудні - лютому випадає від 65 до 80 мм [1].

Середньорічні суми опадів на території області становлять 440 – 590 мм. На холодний період року припадає 20-25 % річної суми опадів.

Найбільше опадів буває на північному заході області. З просуванням на південний схід річна сума опадів поступово зменшується. Уже в Тульчинському і Гайсинському районах їх випадає приблизно 450 мм, а на крайньому півдні області - менше 450 мм, тобто 2/3 суми опадів, які бувають на північному заході.

Вночі та вранці бувають тумани. Найбільш часто вони з'являються в зниженнях рельєфу - в балках, низовинах, долинах річок. Тумани у весняні та осінні місяці внаслідок конденсації дають іноді за добу до 0,5-1 мм опадів.

Влітку досить часті сильні роси. Як і тумани, найбільші роси випадають в долинах річок.

Перехід від однієї пори року до іншого відбувається поступово.

Стійкий перехід середньої добової температури через 0° є початком весни на території області. Це найчастіше буває в другій декаді березня. Весна триває близько двох місяців. Характерними особливостями весни в області є: інтенсивне підвищення днем температури, завдяки чому сходить стійкий сніговий покрив, відтає ґрунт, посилюється випаровування. В квітні середня температура повітря до 13-и годинах досягає +10... +13°C. Перехід середньої добової температури повітря через +5°C відбувається в першій декаді квітня, а через +10°C - в кінці третьої декади [1].

Встановлення теплої погоди і припинення нічних заморозків - такі умови переходу весни до літа. Літо триває з другої половини травня до першої половини вересня. В цей же час випадає найбільше дощів, переважно у вигляді злив. Кількість днів з опадами поступово зменшується з наближенням осені. Температура повітря до 13-ти годин досягає в травні +18...+20°C, в червні - серпні +21...+ 25°C. Літні максимальні температури досягають у липні та серпні +35...+39°C.

Осінь настає з переходом середньодобової температури повітря через +10°C у бік зниження. Перед цим близько місяця стоїть тепла погода. Настання осені (перша декада жовтня) супроводжується заморозками, загальним зниженням температури, зменшенням кількості опадів.

Характерною особливістю осені на Вінниччині є повернення теплих сонячних днів. Осінь закінчується в кінці листопада, коли середні добові температури повітря переходять через 0°C у бік зниження.

Перед настанням зими на території області середні добові температури скрізь нижче 0°C , але вище -5°C . До початку зими варто нестійка погода: морозні дні змінюються відлигою, не раз виходить і сходить сніговий покрив. Відлиги під час зими є характерними для Вінниччини, а температура повітря іноді підвищується до $+10 \dots +13^{\circ}\text{C}$. Найхолодніші місяці в області - січень і лютий. Північно-західні райони характеризуються більш тривалою зимою, менш коротким прохолодним літом, великою кількістю опадів та їх рівномірним розподілом протягом року, порівняно меншими річними амплітудами температур, інтенсивної хмарністю і вітрами північно-західних румбів [1].

Південні райони області випробують значний вплив континентальних повітряних мас. Опади бувають здебільшого на початку літа, переважно у вигляді злив. Вітри південно-східного напрямку приносять в ці райони різке похолодання взимку і засуху влітку.

Найбільш який вирізняється в кліматичному відношенні районом є Придністров'я. Тут зима настає найпізніше в області. Перший сніг вкриває землю днів на 5 пізніше, ніж у центральних районах області. Весна настає на тиждень раніше.

Вінницька область розташована в лісостеповій зоні. В Лісостепу кліматичні ресурси більш сприятливі для вирощування сільськогосподарських культур. Суми температур понад 10°C становлять від 2600°C до 2800°C , що дає можливість вирощувати основні теплолюбні культури ранніх і пізніх строків дозрівання. Кількість опадів коливається від 700 мг на заході до 450 мг на сході. Переважна їх більшість випадає в теплий період року

В Лісостепу України поширені різні типи чорноземних ґрунтів. Крім цих ґрунтів, значні площі лучно-чорноземні та сірі лісові ґрунти. Ґрунти

переважно чорноземні, в центральній частині - сірі і світло-сірі, на південному сході і в придністровських районах - чергування потужних чорноземів з оподзоленними ґрунтами. Тут склалися найкращі умови для вирощування зернових культур, особливо озимої пшениці, цукрових буряків, кукурудзи.

Водні ресурси відіграють важливу роль в розвитку аграрно-промислового комплексу. Основними джерелами забезпечення сучасних і перспективних потреб господарства України в прісній воді є водні ресурси поверхневого стоку (річки, озера і водойми) і підземного стоку.

Україна має досить обмежені ресурси поверхневих вод. Загальне водоспоживання в країні досягло 65 % її середнього багаторічного поверхневого стоку. Забезпеченість водними ресурсами місцевого стоку з розрахунку на одну людину становить 1000 м³ на рік. Найвищим цей показник є в Карпатах, на Поліссі та в західній частині Лісостепу, найменшим - у Степу.

2. БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИСТІ КАРТОПЛІ ПО ВІДНОШЕННЮ ДО ФАКТОРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Картопля має значення і як технічна культура. Вона використовується на виробництво крохмалю, декстрину, патоки, глюкози, спирту.

Батьківщиною картоплі є Південна і Центральна Америка, на території якої ще 14 тис. років тому почали її культивувати. Найбільшого ж поширення на Земній кулі набули два види - андійський (*Solanum andigenum*) і європейський, або чилійський, (*Solanum tuberosum*). До останнього виду картоплі належать всі вітчизняні сорти.

Світові площі цієї культури складають близько 23 млн. га. В Україні основні посіви сконцентровані в Лісостеповій та Поліській зонах. Середня врожайність бульб становить 150-200 ц/га. На Тернопіллі щорічно висаджується 50-70 тис. га картоплі.

Широке поширення картоплі в світі свідчить про його високу екологічну пластичність. Картопля - культура досить широких температур; чим більше температура середовища росту картоплі відрізняється від температури батьківщини картоплі, тим більше знижується його врожайність. За агрометеорологічною класифікацією він відноситься до культур помірного, вологого клімату і пухких ґрунтів [32].

На батьківщині культурної картоплі Чилі, вона обробляється в перебігу багатьох тисячоліть в умовах рясного зволоження (до 3000 мм), при середніх добових температурах до 15-16⁰ С, тривалості дня 12-15 годин, вкрай рідкісних заморозків в період вегетації і відносній вологості повітря більше 75%. Отже, картопля в філогенезі пристосувалася до знижених температур, рясного зволоження і середній довжині дня [31].

2.1 Ботанічна характеристика картоплі

Картопля (*Solanum tuberosum* L.) багаторічна рослина родини пасльонових (*Solanaceae*). В умовах помірного клімату вирощується як однорічна культура.

Коренева система може бути мичкуватою або стрижневою. Під час розмноження картоплі бульбами формується мичкувата коренева система, а насінням - стрижнева. Корені проникають у ґрунт на глибину 1,5 м.

Стебло прямостояче висотою від 0,5 до 1,5 м, галузиться, ребристе. Картопля утворює кущ з 4-8 стебел. З видозмінених підземних пагонів (столонів) утворюються бульби.

Поверхня бульби вкрита вторинною покривною тканиною - корком, на поверхні якого багато невеликих отворів, так званих сочевичок, і вічок. Кожне вічко має три-чотири і більше бруньок.

У бульбі розрізняють верхівку, яка є кінцем, що росте, протилежну частину - пуповинний, або стolonний кінець. Розрізняють також верхній більш опуклий і нижній плоскіший боки бульби.

Форма бульб буває різною - видовженою, овальною, округлою та ін. Забарвлення - біле, жовте, рожеве, червоне, синє. М'якуш - білий, жовтий, червоний, синій. Форма бульби та її забарвлення, поряд з іншими характеристиками, є сортовими ознаками культури.

На використанні бульб та їх частин, як садивного матеріалу, ґрунтується вегетативне розмноження картоплі.

Листки картоплі черешкові переривчасто-пірчасто-розсічені. В їх будові виділяють долі, дольки і долечки. Особливості будови листка є характерною ознакою кожного сорту картоплі.

Квітки картоплі п'ятірного типу самозапильні, зібрані в суцвіття завиток. Забарвлення пелюсток різне - від білого до фіолетового та рожевого.

Плід - м'ясиста багатонасінна ягода. Насіння дрібне, плескате. Маса 1000 насінин близько 0,5 г.

Основними фазами росту картоплі є: садіння, сходи, утворення бокових пагонів, поява суцвіть, цвітіння, кінець цвітіння, в'янення бадилля.

2.2 Відношення картоплі до температури

В умовах достатньої вологості при проростанні бульб коренева система розвивається вже при температурі ґрунту 2 - 4⁰С. Ріст пагонів починається при 6 - 7⁰С. Якщо температура ґрунту на глибині загортання бульб (6-12 см) нижче цієї межі, їх проростання йде повільно, у зв'язку з чим посилюється ураження рослин ризоктоніозом, чорною ніжкою та іншими хворобами, що призводить іноді до загибелі рослин. Від температури ґрунту залежить не тільки початок зростання паростків, а й поява сходів.

Рослина картоплі досить чутлива до дії негативних температур. Сходи пошкоджуються і частково гинуть при температурі -1,5;-2,0⁰С. При поступовому зниженні температури в рослинах збільшується вміст цукру, що підвищує їх стійкість до заморозків до -2,0;-3,0⁰С. Цьому ж сприяє внесення під картоплю підвищених доз калійних добрив, а також і її розвиток в умовах зниженої вологості повітря. Пошкоджені заморозками сходи мають високу регенерацію. Ефективна підгодівля таких посівів азотними добривами (40-60 кг/га діючої речовини).

Бульби картоплі гинуть від заморозків інтенсивністю до -6,0⁰С, але в певних умовах вони здатні переохолоджуватися і переносити без шкоди температури до -7,0⁰С.

До теперішнього часу накопичилася значна кількість даних, що вказують на порівняно високі вимоги бульб до температури в процесі зростання. Встановлено, що бульби, пройшли період спокою і висаджені у ґрунт, починають проростати при температурі не нижче 3,0-5,0⁰С. Але при цих температурах корені утворюються слабо, а бульби легко уражуються грибними хворобами. При збереженні на протязі тривалого часу температури

на такому рівні нерідко замість проростків у материнській бульбі передчасно утворюються столони, з великою кількістю молодих бульб, тобто відбувається виростання бульб.

Нормальне виростання бульб відзначається при збільшенні температури до $7,0-8,0^{\circ}\text{C}$. У міру подальшого підвищення температури активність виростання бульб картоплі, особливо у вологому ґрунті, різко збільшується.

Краща температура для проростання бульб $18-20^{\circ}\text{C}$. Сходи в цьому випадку з'являються на 10-12 день після посадки, в той час як при стійкому падінні температури нижче $7,0^{\circ}\text{C}$ сходи нерідко з'являються через 30-35 днів і навіть через 50 днів [12].

Знижені температури також негативно впливають на ріст рослини картоплі. Так, наростання вегетативної маси майже повністю припиняється при температурі нижче 7°C , а фотосинтез, хоча і триває аж до заморозків, відбувається дуже повільно.

Менш небезпечні знижені температури на початку вегетації, так як у молодому віці рослини картоплі мають гарну регенераційну здатність.

Бадилля картоплі (листя і стебла) при вирощуванні його на помірно вологих ґрунтах краще розвиваються при температурі повітря $18-25^{\circ}\text{C}$. У таких умовах асиміляція двоокису вуглецю і утворення вуглеводів також відбувається найбільш інтенсивно. При температурі повітря $40-41^{\circ}\text{C}$ фотосинтез повністю припиняється [3]. Для ранніх сортів картоплі найбільш сприятливою температурою для утворення бульб є 17°C , для середньостиглих сортів 19°C .

Рівень оптимальних температур для утворення бульб змінюється і ці зміни в певних межах залежать не тільки від скоростиглості сорту, а й від комплексу зовнішніх умов.

Високі температури гнітюче діють на утворення бульб картоплі. Не вельми сприятливо такі температури впливають на ранні сорти. При вирощуванні картоплі на протязі 2-х місяців при різних температурах і

однакових інших умовах відзначено повне припинення утворення бульб у варіантах з температурою ґрунту 29⁰С. У цих дослідах різке гальмування процесу утворення бульб відзначено вже при температурі ґрунту вище 20⁰С.

Як встановлено експериментально [3], рівень температури, крім безпосереднього впливу, має велике значення для ферментативних перетворень вуглеводів, що забезпечують накопичення крохмалю в бульбах.

Недостатня температура повітря і ґрунту також негативно позначається на фотосинтетичної діяльності рослин і засвоєнні ними найважливіших елементів живлення. При зниженні температури ґрунту в орному горизонті з 15-20 до 10 – 14⁰С істотно зменшується поглинання нітратів (на 20-60%) і фосфорної кислоти (на 19-33%), внаслідок чого бадилля розвивається слабо [10].

Високі температури в поєднанні з довгим днем викликають «кліматичне виродження» картоплі [31]. Особливо несприятливо діють підвищені температури в нічний час доби. «Кліматичне виродження» картоплі починається при середній температурі повітря в період утворення бульб, що перевищує 18⁰С. При середній добовій температурі від 19 до 21⁰С число дуже тонких і ниткоподібних паростків на бульбах картоплі збільшується і доходить до 20 %. При температурі 24⁰С виродження бульб досягає 50 % і більше. При температурі вище 25⁰С спостерігається виродження 70 % рослин і більше.

2.3 Відношення картоплі до світла і вологи

Рослина картоплі пред'являє високі вимоги до умов освітленості, вона дуже світлолюбна. Навіть при невеликому ослабленні освітлення спостерігається пожовтіння бадилля, ослаблення або відсутність цвітіння, зниження врожайності [3]. Експериментами з штучним затемненням посадок встановлено, що освітленість вважається недостатньою, якщо вона

знижується у порівнянні з природною на 33%. При освітленості, відповідної приблизно 30% природної, відзначено зменшення сухої маси рослин на 38%. При цьому суха маса стебел збільшувалася на 57%, а суха маса бульб знизилася на 80% у результаті чого співвідношення бульби - бадилля різко зменшилося.

За характером фотоперіодичної реакції, картопля віднесена до нейтральних рослин, тобто до таких, які здатні проходити цикл індивідуального розвитку при будь-якій довжині дня. У зв'язку з тим, що у культурних сортів картоплі при короткому дні утворення бульб прискорюється, а цвітіння при цьому затримується, деякі дослідники відносять її до рослин короткого дня.

В даний час вважається, що всі сорти культурної картоплі здатні зав'язувати бульби і утворювати зачатки квіток при будь-якої тривалості світлового дня, але при короткому дні в температурних умовах середніх широт прискорюється процес утворення бульб і скорочується тривалість вегетаційного періоду. У таких умовах раніше закінчується ріст стебла, раніше утворюються бульби, але рослини також раніше і відмирають [3].

На ранніх етапах утворення бульб, за цими ж даними, маса бульб в умовах короткого дня вище, ніж в умовах довгого. Але у зв'язку з тим, що при довгому дні формується більш потужне бадилля, визначальна кількість продуктів фотосинтезу, що використовуються при зростанні бульб, загальний урожай бульб при довгому дні найчастіше виявляється вище, ніж при короткому.

Основним процесом утворення органічних речовин рослинами картоплі є фотосинтез. На частку органічних речовин, що утворюються в процесі фотосинтезу рослин, припадає більше 90% ваги сухих речовин, синтезованих рослинами. При нестачі світла урожай картоплі знижується.

Підвищена вимогливість картоплі до умов освітленості викликає необхідність суворого дотримання оптимальної густоти посадки. В умовах середніх широт потужність світлового потоку у вегетаційний період

становить: 55-60 тис. лк в період масових сходів і 41-58 тис. лк в період інтенсивного утворення бульб [21], тобто вона майже в 2 рази підвищує рівень, при якому в польових умовах спостерігається світлове насичення фотосинтезу і тому не є лімітуючим фактором. Встановлено, що оптимальна освітленість у посівах, що забезпечує максимальну продуктивність фотосинтезу при оптимальних умовах тепло- і вологозабезпеченості, створюється при площі листкової поверхні 30-40 тис. м²/га. У таких випадках достатня освітленість рослин забезпечує найбільш повне поглинання сонячної радіації.

Світло і тепло мають значення для розвитку і зростання, і створення врожаю при наявності достатнього зволоження ґрунту і повітря в період вегетації. Вода входить до складу органічних речовин і бере участь у всіх фізіологічних і біологічних процесах. Завдяки транспірації забезпечується рух водного розчину поживних речовин з кореня в листя.

На різних етапах життєвого циклу рослина картоплі пред'являє різні вимоги до ґрунтової вологи і опадів. Потреба картоплі у волозі визначається біологічними особливостями культури, хімічним складом і значним обсягом надземної маси, а також врожайністю бульб.

Культура картоплі характеризується і як вельми вимоглива до вологості ґрунту і одночасно як стійка до посухи [20]. Високе споживання картоплею вологи на певних етапах онтогенезу значною мірою визначається тим, що коренева система інших рослин. Розвивається коренева система переважно до глибини 60-70 см.

Експериментально доведено, що на початку і в кінці онтогенезу - періоди сівба - сходів і відмирання бадилля - потреба рослин картоплі у волозі незначна. У період від сходів до бутонізації вона дещо збільшується, але продовжує залишатися на порівняно невисокому рівні. Критичним періодом щодо споживання вологи є період від бутонізації до початку в'янення бадилля, тобто період початку та інтенсивного утворення бульб.

Оптимальні умови для накопичення врожаю бульб створюються при безперебійному постачанні рослин вологою, що можливо в тому випадку, якщо вологість ґрунту в зоні поширення основної маси коренів в цей період підтримується на рівні 70-80% повної вологоємності [21].

Як зазначає А.Г. Лорх [10], урожай бульб картоплі ранніх сортів визначається опадами червня, середньостиглих - опадами липня і серпня, а пізніх - опадами липня, серпня і вересня.

2.4 Вимоги картоплі до ґрунту та елементів мінерального живлення

Картопля - культура інтенсивна й найкраще для картопляних плантацій створювати агроземи, тобто ґрунту з потужним технологічним обрієм, властивості якого наведені до оптимальних параметрів засобами меліорації й агротехніки. Дуже добре озивається на поглиблення технологічного обрію ґрунту до 60-90 см - це істотно спрощує завдання забезпечення особливо високого врожаю належною кількістю елементів мінерального харчування, тому що при недостатньо потужному технологічному обрії концентрація ґрунтового розчину виступає обмежником. Потрібна кількість мінеральних добрив неможливо внести в тонкий технологічний обрій через те, що концентрація іонів навколо усмоктувальних корінь перевищить припустимий рівень. Крім того при підвищених концентраціях добрив у ґрунті збільшує непродуктивні втрати - вимивання, ерозію.

Картопля висуває підвищені вимоги до ґрунту. Ні в однієї іншої культури величина врожаю й особливо збирання не залежать так сильно від водно-фізичних властивостей ґрунту й рівня її родючості.

Найкраще картопля росте на пухких, добре розпушених ґрунтах. Коренева система картоплі інтенсивно дихає, поглинаючи кисню у 5-10 разів більше, порівняно з іншими рослинами.

Картопля - культура пухких, повітряно - і водопроникних, вологоємних, родючих ґрунтів (піщаних, супіщаних, легко - і середньо - суглинних). Чим менше щільність ґрунту в зоні бульбоутворення й краще постачання кореневої системи киснем, тим вище врожай. Для насичення ґрунту достатньою кількістю кисню, його потрібно утримувати в досить розпушеному стані з об'ємною масою не більше 1,0-1,2 г/см³. У перезволожених, ущільнених ґрунтах вміст кисню зменшується до 2%, а вміст вуглекислого газу різко збільшується. За таких умов бульби задихаються і загнивають. На ущільнених ґрунтах погано розвиваються столони, картопля формує дрібні, деформовані бульби [35].

Менш придатні для картоплі - легкі, що швидко втрачають вологу піщані ґрунти, важкі суглинки й перезволожені торфовища.

Краще інших рослин переносить підвищену кислотність ґрунту, але найбільш придатні для нього слабокислі ґрунти.

На більше щільних ґрунтах сходи затримуються й у ряді випадків посадкові бульби загнивають. Тому важливо підтримувати ґрунт у пухкому стані протягом усього вегетаційного періоду. У пухких ґрунтах краще проходить газообмін між ґрунтовим й атмосферним повітрям.

Потреба бульб, що проростають, у кисні в багато разів більше, ніж у насінні інших рослин. Нестача кисню в ґрунті може привести до загибелі бульб, що проростають, а в більше пізній період і дорослі рослини.

Картоплю вирощують на удобрених супіщаних і суглинистих чорноземах, дерново-підзолистих, сірих лісових ґрунтах. Для вирощування насіння добре підходять окультурені торфовища. При внесенні високих норм органіки картопля добре родить на легких піщаних ґрунтах. Добрива не можна вносити в піщані ґрунти великими дозами - вони вимиваються. Внесення дрібними дробовими дозами не завжди є повноцінною заміною, тому що без своєчасного дощу такі дози не спрацюють і таке дроблення ускладнює технологію. Оптимальний компроміс для оброблення картоплі на легких ґрунтах - в орієнтації на порівняно менший урожай, але одержуваний

з мінімальними витратами праці й засобів. Такий принцип реалізований у суспільному виробництві. Самі великі плантації картоплі розміщуються на легких ґрунтах.

Малопридатні для вирощування картоплі важкі глинисті ґрунти, особливо з близьким заляганням ґрунтових вод. Не підходять також засолені ґрунти, оскільки картопля має дуже низьку солестійкість. Найкраще росте на слабокислих і нейтральних ґрунтах. При рН нижче 5,0 і вище 8,0 вона росте погано. Додаткова потреба в кисні корінь становить близько 1 мг/г сухої речовини. Ще більш високу потребу в кисні потребують столони й ростучі бульби.

Вміст повітря в ґрунті залежить від її шпаруватості й пористості. На добре оброблених структурних ґрунтах шпаруватість становить до 65% обсягу ґрунту.

Шпаруватість значною мірою залежить від щільності ґрунту. Чим ґрунт пухкіше, тим більше її шпаруватість і воздухоємність. Для нормального подиху корінь концентрація кисню повинна бути не менш 5%, для формування й росту бульб - не менш 20% обсягу ґрунтового повітря [18].

Для росту й розвитку картоплі необхідно підвищена кількість поживних речовин. У складі сухої речовини картоплі налічується 26 різних хімічних елементів. Найбільше потрібні картоплі азот, фосфор, калій, кальцій й магній. Потреба в елементах харчування зростає в міру росту бадилля й досягає максимуму у фазу цвітіння. Картопля відноситься до калієлюбивої культури, на 1 тону бульб він виносить із ґрунту 5 кг азоту, 2 кг P_2O_5 й 9 кг K_2O . З початком відмирання бадилля потреба в елементах харчування поступово зменшується й після її засихання припиняється.

У середньому для формування 1 т бульб рослини із ґрунту виносять 5-6 кг азоту, 8-10 кг калію, 1,5 - 2 кг фосфори, близько 4 кг кальцію й 2 кг магнію.

При низькій агротехніці й невеликому врожаю картопля споживає живильних речовин на одиницю врожаю відносно більше. З поліпшенням

умов росту й розвитку, а отже зі збільшенням урожаїв бульб картоплі живильні речовини використовуються ощадливіше. Найбільш інтенсивне споживання мінеральних речовин картоплею припадає на період інтенсивного наростання надземної маси й бульбоутворення.

За зовнішніми ознаками рослини можна судити про нестачу того або іншого елемента харчування.

Головними умовами оптимізації кореневого харчування картоплі є достатня насиченість ґрунту фосфатами, максимальна калієм і мінімальна азотом.

Азот для картоплі особливо важливий навесні, у літній період звичайно вистачає азоту, продуційного ґрунтом, тому мінеральні азотні добрива потрібно вносити ранньою весною, до посадки.

При нестачі в ґрунті азоту підземні органи картоплі розвиваються слабо, листя здобувають блідо - зелене забарвлення й стирчить нагору, знижується врожай і крохмальність бульб. При надлишку азоту спостерігається надмірний ріст бадилля, затримується утворення бульб і подовжується період вегетації. Рослині шкідливі як нестача, так і надлишок азоту. При нормальному азотному харчуванні рослина краще засвоює калій і фосфор.

Достатнє харчування фосфором сприяє кращому розвитку кореневої системи, раніше настає період бульбоутворення, збільшується врожай і крохмальність бульб, поліпшуються їхня легкість і насінні якості. При нестачі фосфору затримується розвиток рослин, особливо цвітіння й дозрівання, сповільнюється ріст пагонів і корінь, листи дрібні й вузькі.

Найбільшої уваги вимагає забезпечення картоплі достатнім запасом легкозасвоюваного калію, тому що він не виносить підвищеного вмісту хлору в ґрунті, але з високим урожаєм вимагає так багато калію, що це не можна внести за один раз, обов'язково потрібні підгодівлі. З обліком викладеного під картоплю з осені необхідно вносити 2/3 загальної необхідної дози калію у вигляді хлористого калію, щоб надлишок хлору вийшов з

осінньо-весняними водами, що залишилася калій дають у міжряддя після появи сходів, у безхлорній формі, у вигляді сульфату калію. Калій відіграє важливу роль у процесах фотосинтезу, білковому й вуглеводному обміні, істотно впливає на врожайність й якість картоплі, підвищує стійкість до заморозків і хвороб. При нестачі калію листи здобувають бронзове забарвлення, стають зморшкуватими й передчасно відмирають, коренева система розвивається слабкіше, бульби набувають трохи подовжену форму, бувають дрібними.

Для нормального росту й розвитку картоплі й одержання високих урожаїв бульб, необхідні кальцій, магній, залізо, марганець, сірка, мідь, цинк.

Тільки при наявності всіх цих елементів у ґрунті для розвитку картоплі забезпечується його найвища продуктивність [3].

Оптимальна реакція середовища для картоплі - рН 5,5- 6,0, хоча вона здатна краще інших польових культур переносити слабокислу реакцію. Картопля добре озивається на вапнування сильно- і середньокислих ґрунтів помірними нормами вапна. При вапнуванні ґрунту повною нормою - за гідролітичною кислотністю - картопля може сильно заражатися паршой, що знижує його товарні й продовольчі якості. Однак у сівозмінах нечорноземної зони поряд з картоплею вирощують культури, строго вимогливі до нейтральної реакції середовища. Без вапнування кислих ґрунтів неможливо забезпечити одержання стійких високих урожаїв таких культур, як пшениця, ячмінь, конюшина, кукурудза, коренеплоди й т.д. Тому при наявності навіть двох-трьох полів картоплі краща сумарна продуктивність сівозміни досягається при вапнуванні кислих ґрунтів по 2/3-3/4 повної норми за гідролітичної кислотності.

Картопля споживає значно більше живильних речовин, чим зернові культури, але менше, ніж цукровий буряк і кормові коренеплоди.

При високій агротехніці в основній зоні оброблення із урожаєм картоплі на кожні 100 ц бульб і відповідна кількість бадилля вноситься 40-60 кг N, 15-20 кг P₂O₅ й 70-90 кг K₂O.

Картопля володіє слаборозвиненою кореневою системою й у перший період росту погано засвоює важкорозчинні живильні речовини із ґрунту. Це обумовлює підвищену чутливість картоплі на внесення добрив. Поглинання елементів харчування картоплею відбувається протягом усього вегетаційного періоду, більше швидкими темпами споживання живильних речовин мають ранні сорти. Найбільша кількість живильних речовин поглинається скоростиглими сортами картоплі під час бутонізації й цвітіння, а середньо- і пізньостиглими - у період інтенсивного зростання бадилля й початку бульбоутворення. Достатнє постачання рослин всіма основними елементами харчування в цей період має виняткове значення для формування врожаю. надлишкове, особливо однобічне, харчування азотом викликає стовбуріння в бадиллі й затримує бульбоутворення. Для утворення бульб використовуються живильні речовини, які надходять у цей період із ґрунту й добрива, так і раніше накопичені в бадиллі. Внаслідок реутилізації живильних речовин до моменту збирання картоплі в бульбах утримується близько 80 % азоту, 90 % фосфору й практично весь калій.

Ефективність добрив залежить від ґрунтово-кліматичних умов, рівня агротехніки й сорту картоплі.

Перше місце по ефективності на дерено-підзолистих ґрунтах, опідзолених і вилужених чорноземах займають азотні добрива. Фосфор на цих ґрунтах нерідко діє сильніше, ніж калій.

На звичайних і потужних чорноземах часто на першому місці по ефективності стоїть фосфор, па другому - азот. Незважаючи на велике споживання картоплею калію, ефективність калійних добрив на більшості ґрунтів слабкіше, ніж азотних, а часто й фосфорних добрив. Потреба в калії збільшується при внесенні високих норм азоту й фосфору. У той же час на заплачних і торф'яних ґрунтах калійні добрива по ефективності займають перше, на піщаних й супіщаних дерено-підзолистих ґрунт-друге місце після азотних. На цих ґрунтах необхідно вносити більш високі норми калійних добрив навіть при застосуванні гною.

Картопля добре відзивається на внесення гною на всіх ґрунтах, але найбільш високого збільшення врожаю від гною одержують на дерено-підзолистих ґрунтах, особливо піщаних і супіщаних. На потужних чорноземах південних і південно-східних.

Середня норма гною під картоплю на дерено-підзолистих ґрунтах - 30-40 т на 1 га, на чорноземах - 15-20 т на 1 га. Поряд із гноєм під картоплю можна вносити торф'янонавозні, торфожіжевіє, торфофекальні й інші компости.

Найбільш високі збільшення врожаю картоплі одержують при спільному внесенні гною або компостів з мінералами, насамперед з азотними й азотно-фосфорними добривами.

На тлі високих норм гною (30-40 т і більше на 1 га) на добре окультурених ґрунтах можна обмежитися внесенням тільки азотних або азотно-фосфорних добрив. Якщо гній під картоплю не вносять, то необхідно застосовувати повне мінеральне добриво в підвищених кількостях .

Ранні сорти картоплі характеризуються більше інтенсивним споживанням живильних речовин і сильніше реагують на добриво. Тому норми мінеральних добрив на тлі гною повинні бути вище під ранні, чим під пізні, сорти картоплі. При цьому особливо важливо вибрати правильне співвідношення між окремими видами добрив. Для одержання ранньої товарної продукції необхідний більше високий рівень фосфорного харчування рослин.

Гній й інші органічні добрива, фосфорні й калійні мінеральні добрива найкраще вносити з осені під зяблеву оранку. Тільки на легких ґрунтах у районах достатнього зволоження весняне внесення добрив дає кращі результати, чим осіннє, що порозумівається вимиванням калію із ґрунту.

Азотні добрива доцільно вносити навесні під переорювання зябу або передпосівну культивуацію. Амонійні й аміачні форми добрив можна застосовувати також з осені.

Велике значення для забезпечення більш сприятливих умов харчування в початковий період росту має локальне внесення добрив у лунки при посадці картоплі. При посадці в гнізда вносять гранульований суперфосфат й аміачну селітру, а також складного й комплексного добрива з розрахунку 20-30 кг буд. в. NPK на 1 га.

На піщаних і супіщаних ґрунтах частина азоту й калію (1/4- 1/3 загальної норми) доцільно перенести в підгодівлю. На інших ґрунтах перенесення частини добрив з основного в підгодівлю, як показують досвіди, викликає зниження ефективності. Тому вносити добрива в підгодівлю картоплі треба тільки, якщо вони не застосовувалися в достатній кількості до посіву. Для підгодівлі картоплі можна використати місцеві добрива - гнойову рідоту (5-10 т на 1 га), пташиний послід (5-8 ц на 1 га), які вносять із негайним закладенням у ґрунт при розпушуванні міжрядь.

Під картоплю рівною мірою застосовують всі форми промислових азотних добрив. На кислих ґрунтах поряд із суперфосфатом як основне добриво можна застосовувати фосфоритне борошно (у полуторних або подвоєних дозах у порівнянні із суперфосфатом), а також інші фосфорні добрива. По своїй дії на врожай картоплі сульфатні й хлористі форми калійних добрив, як при разовому, так і тривалому застосуванні в сівозміні практично рівноцінні. Однак хлористі форми калійних добрив можуть знижувати відносний зміст крохмалю в бульбах картоплі. Внесення хлорвмісних калійних добрив з осені значною мірою усуває шкідливу дію хлору на картоплю (у результаті вимивання хлору із ґрунту з опадами).

Під впливом фосфорних добрив відносний вміст крохмалю в бульбах може підвищуватися, а під впливом азотних - трохи знижуватися. Однак внаслідок збільшення врожаю картоплі при застосуванні добрив валовий збір крохмалю з одиниці площі завжди зростає [2].

2.5 Сорти картоплі

Сорти картоплі підрозділяються по напрямку використання:

- 1) їдальні, або продовольчі;
- 2) промислові, або заводські;
- 3) кормові, або фуражні;
- 4) універсальні й по строках дозрівання (ранні, або ранньоспілі; середньоранні; середні; середньопізні й пізні).

Сорти столового напрямку (продовольчі) найрізноманітніші по строках дозрівання, від дуже ранніх до пізніх. Така різноманітність обумовлена повсюдною потребою в продовольчій картоплі, бажанням мати свіжа картопля якомога раніше влітку й необхідністю закладати на зимове зберігання, для чого краще годиться пізня картопля. На вибір сорту по скоростиглості впливає клімат, - у районах з коротким без морозним періодом вимушено обробляються тільки ранні, скоростиглі сорти. Головні вимоги до столових сортів стосуються їхньої форми, стану поверхні (потрібні рівні гладкі бульби із дрібними вічками, зручні для чищення), смакових якостей, відповідності технології готування різних блюд. Селекціонери активно працюють над підвищенням змісту білка в картоплі, але про успіхи поки не повідомляється. Проблема в тім, що при підвищенні змісту білка генетичними засобами в картоплі різко погіршуються смакові якості, по консистенції м'якоть стає схожою на мило.

Промислові (заводські) сорти виводяться для одержання найбільшого виходу крохмалю. Крохмаль широко застосовується сам і служить сировиною для спирту і синтетичного каучуку. Смакові якості й скоростиглість для столових сортів вважаються другорядними.

Кормові сорти повинні давати найбільшу кількість кормових одиниць, містити більше білка, давати високий урожай у будь-яких погодних умовах. Це істотна відмінність від заводських сортів - кормова картопля не можна сконцентрувати в районах з підходящим для нього кліматом, де й

побудувати завод або фабрику. Худоби треба годувати скрізь, де живуть люди й у будь-яку погоду. Смакові якості й скоростиглість також вважаються другорядними, тому що картопля коштовна у вигляді свіжого корму взимку (улітку свіжих кормів вистачає), а смаки тварин не збігаються з людськими. Одержувати ранню картоплю на корм не вигідно економічно, - трава виросте раніше.

Універсальні сорти поєднують якості різних напрямків. Звичайно це досить смачні столові сорти з гарною врожайністю. Застосовуються там, де потреба в кормах невелика. Нераціонально вирощувати спеціалізовані кормові сорти.

2.6 Шкідники та хвороби картоплі

Хвороби та шкідники вражають і ушкоджують досить значну частину врожаю картоплі - близько 50 %. Особливу небезпеку для рослин представляють фітофторозом, колорадський жук, картопляна нематода, рак картоплі, картопляна міль, вірусні та інші хвороби та шкідники.

Чималу шкоду картоплі завдає колорадський жук (*Leptinotarsa decemlineata* Say). Відомо, що при знищенні личинками та жуками 50 % листя картоплі (до цвітіння рослин) урожай бульб зменшується в 2-3 рази, а при 100%-м об'їданні листя - в 6-8 раз. Жук колорадський - небезпечний шкідник картоплі, томата, баклажана та інших пасльонових рослин. Шкідником в різного ступеня заселена майже вся територія Європи, в тому числі Україна.

Жуки (основна їх маса) зимують в ґрунті на глибині 20-30 см. Навесні, коли ґрунт прогріється до +12 ... +20 ° С, а температура повітря - до +22 ... +25 ° С, починається масовий вихід жуків. Дружному виходу сприяє гарне зволоження ґрунту, особливо теплі дощі. У південних районах жуки з'являються у квітні-першій половині травня, у середній смузі - у другій половині травня - початку червня. Вихід їх розтягнутий і може тривати

більше місяця. Це викликає необхідність багаторазових ручних зборів шкідника.

Для успішної боротьби важливо вчасно виявити шкідника: не дати йому розмножитися, завдати шкоди рослинам і сховатися в ґрунті. Як тільки почнуть з'являтися сходи картоплі та інших пасльонових рослин, регулярно і ретельно оглядають не тільки рослини, але й поверхню ґрунту, виявлених жуків, личинок, яйцекладки збирають в посуд з насиченим розчином солі або гасом.

Основний захисний захід у господарствах – обробка картоплі інсектицидами. Доведена доцільність застосування пестицидів на основі фактичної заселеності ділянок картоплі колорадським жуком та граничної чисельності, при якій є небезпека втрати частини врожаю, що перевищує по витратах заходи на її попередження. В більшості випадків рекомендується проводити хімічну обробку при заселенні більше 5% кущів 20 і більше особами.

Дію інсектицидів найбільш ефективно з личинками другого і третього віку, коли вони й найбільш ненажерливий, і мають м'який покрив, легко пропускає потрапляють на них препарати. Проводять обприскування в ранкові або вечірні години, коли менше сонячна інсоляція, і при відсутності або невеликому вітрі.

Міль картопляна (*Phthorimala operculella* Zeller) - небезпечний карантинний шкідник пасльонових рослин. Невеликий метелик з розмахом крил 12-16 мм, сірого кольору, в стані спокою крила складені на спині. Самка молі відкладає 100-300 яєць на зелені рослини пасльонових рослин або на бульбі, плоди картоплі. Гусениці, які виводяться з них, виростають до розмірів 10-13 мм. Вони білого кольору з жовто-рожевим або сіро-зеленим малюнком, голова - чорна. Лялькування гусениці під ушкодженою рослиною у ґрунті у сірувато-сріблястому кокони довжиною 10 мм. Сама куколка коричнева. За вегетаційний період шкідник дає 4-5 поколінь.

Шкоду рослинам приносять гусені. Вони поїдають листя, пагони, бульби і навіть плоди, які утворюються з квіток картоплі. При цьому пошкоджені місця куща покриваються павутиною. Часто ненажерливий гусениці молі вгризаються всередину стебел, після чого вони вище цього місця відмирають і виглядають як обпалені. Це дрібне комаха може розмножуватися взимку - в льохах і підвалах і сильно пошкоджувати зберігаються бульби.

При виявленні моли картопляний у вегетаційний період застосовують один з інсектицидів: амбуш, 25%-й к. е.. (норма витрати 2 мл на 10 м²), деціс, 25%-й к. е.. (3 мл), цімбуш, 25%-й к. е.. (1,5 мл на 10 м²) та інші чергування інсектицидів, що належать до різних класів хімічних сполук, що запобігає появі стійких популяцій шкідливих комах.

Багато шкоди завдають личинки жуків - щелкунів, так звані проволочниками. Вони продірявлюють бульби, гризуть стебла, столони. В результаті урожай знижується, а бульби погано зберігаються. Сприяють поширенню сухої і мокрої гнилі в картоплі, який зберігається в насипу. Для проволочників розкладають до висадки приманки у вигляді шматочків бульб, прикопують їх на глибину 5-15 см так, щоб можна було потім вийняти. Приманки перевіряють через 4-5 доби. Бульби з личинками знищують. Глибока обробка ґрунту та збір залишених бульб, знищення бур'янів, особливо пирію, помітно знижують заселені ділянки проволочниками.

Дуже заселені проволочником ділянки обробляють інсектицидами. Личинки щелкунів знищують розчином перманганату калію (2-5 г на 10 л води), поливаючи рослини під корінь (0,5 л). Проволочник не любить затінення і розпушування ґрунту. Тому на ділянках з сильним його заселення картоплю садять з широкими міжряддями, більше метра. Кущі високо підгортають.

Хрущ (майський жук). Великий жук довжиною 19-31 мм з овальним тілом чорного або червоно-бурого кольору. Личинки хрущів пошкоджують багато овочеві рослини. Їхнє тіло вигнуте у вигляді літери С, м'ясистої,

голова руда, блискуча, на грудях три пари ніг. Живе в ґрунті на глибині 10-12 см, потребує вологи, багаті органічними речовинами землі. Личинки підгризають коріння овочевих рослин і в тому числі картоплі. Розвиваються вони протягом 3-4 років, після чого лялькуються в ґрунті на глибині 30-50 см. В кінці літа з'являються молоді жуки, які залишаються зимувати, а навесні з початком розпускання листя берези вилітають у сутінках. Яйця відкладають в ґрунт купками на глибині 10-15 см через два тижні після вильоту. Через 1 - 1,5 місяці з яєць відроджуються личинки.

Хімічні засоби захисту від хрущів відсутні. Застосовують механічний вилов їх, струшування з рослин і знищення. Личинки не переносять зниження температури ґрунту нижче -3°C . У сильні морози очищають сніг у місцях передбачуваного скупчення хрущів.

З метою захисту від капустянка перед весняним боронування до висадження картоплі розкидають по поверхні зернові отруєні приманки. На відро вареної пшениці витрачають по 200 г олії соняшnikової, цукор і інсектицид (наприклад, фастак з розрахунку 5 г на 10 м²). Боронами злегка закопують приманки в ґрунт, і вже на наступний день Капустянка вилазить на поверхню і гине. Таку роботу здійснюють до початку яйцекладки шкідника, пізніше вивести його буде значно важче.

Надземну частину картоплі пошкоджують гусениці совки. У стеблах розвиваються два види совок: картопляна, вона ж болотна, або лілова ярова, і звичайна серцевидна. Ці комахи суттєвої шкоди завдають в окремі роки, в основному на знижених, зволжених ділянках. Шкідливість совок висока, пошкоджені стебла можуть становити 20-30 % загальної кількості. Стебла в'януть і засихають або переламуються у місцях пошкоджених гусеницями. Для захисту картоплі від всередині стеблових совок застосовують комплекс профілактичних і винищувальних заходів.

На бульбах, стеблах і листках картоплі часто зустрічається нематода стеблова (*Ditylenchus destructor* Thome). Вона викликає куцистість і потовщення стебел, укорочення міжвузля. Листя набувають бліднуватого

збарвлення, дрібнішають, краї їх стає хвилястим. Рослини, пошкоджені нематодами стебловими, відстають у рості. Бульби заражаються від стolonів. У місці виникнення нематод утворюються свинцево-сірі плями, які збільшуються в розмірах, бульби розтріскуються, в них потрапляє грибна або бактеріальна інфекція. Такі бульби загнивають. М'якоть бульби представляє собою трухляву світло-коричневу або буру масу (суха гниль) з характерним металевим блиском. Нематода зберігається в бульбах, тому, щоб не занести інфекцію в ґрунт, їх прогрівають перед висадженням при температурі +18 ... +20 ° С протягом 20-25 діб.

Важливе значення у захисті від нематод має дотримання сівозміни, в якому передбачається повернення картоплі на колишнє місце не раніше ніж через 3-4 роки. З посадкового матеріалу видаляють бульби, пошкоджені нематодами стебловими та іншими хворобами.

До числа особливо небезпечних шкідників, пошкоджують картопля, відноситься глободеріз, що викликається нематодами картопляно цистоутворюючою золотавою - *Clobodera rostochiensis* (WoU). Цей шкідник - об'єкт зовнішнього та внутрішнього карантину. Нематода картопляна - мікроскопічний організм з класу круглих черв'яків. Паразитує на коренях картоплі (рідше на бульбах), на всіх культивуємих і сорних, рослинах сімейства пасльонових. Рослини, пошкоджені нею, відстають у рості та розвитку, листя жовтіють з нижнього ярусу і зморщуються, бульби стають дрібними або не утворюються зовсім. Коренева система пошкоджених рослин слабо розвинена, розташована у верхньому шарі ґрунту. В вогнищах сильного зараження до кінця вегетаційного періоду зрідженість посадок досягає до 25 % [5].

Технологічні прийоми захисту включають використання в сівообороті непошкоджених немолодою рослин (жито, пшениця, овес, кукурудза, бобові, капуста, буряк, редис, огірок), заміну сприйнятливих сортів картоплі стійкішими, внесення добрив, а також знищення бур'янів.

Фітофтороз, чи піздня гниль (*Phytophthora infestans* D. B.), одна із-з самих шкідливих, яка швидко розповсюджується грибна хвороба, яка різко знижує врожайність картоплі і вражає бульби під час збереження. З'являється частіше всього в кінці липня – серпня і особливо швидко поширюється в допливі роки, а також при різкій зміні денної і нічної температури, що супроводжується значними росами і туманами.

Для захисту від фітофторози необхідні попереджувальні заходи, починаючи з осені під урожай майбутнього року. Основним джерелом зараження є заражені хворобою бульби. Щоб підняти стійкість картоплі до фітофторозу, бульби в період прогрівання обприскують 1 – 2 рази сумішшю мідного купоросу (2 г) і борної кислоти (до 10 г на 10 л води).

Серед підступних грибних карантинних хвороб найбільше небезпечний рак картоплі (*Synchytrium endobioticum* Pers.). Втрати врожаю бульби можуть дуже відчутними, якщо вчасно не прийняти захисні заходи. Хвороба проявляється в вигляді м'ясистих пухлин (наростів) на бульбах, кореневої шийки і столонах. Рідше уражаються стебла, листя і квіти. Спочатку з'являються невеликі, з булавовидною головкою нарости, котрі потім збільшуються в розмірах, іноді досягають 15 – 20 см в діаметрі.

На надземних частинах рослини нарости бувають спочатку зеленого кольору, на підземних білого. Потім буріють, а згодом чорніють, перетворюються при вологих умовах в слизову гниючу масу. Ріст підземних наростів не помітний за вегетаційною масою, і виявити захворювання можна лише викопавши рослину.

Ракові нарости легко загнивають і, коли розпадаються, залишаються в ґрунті велику кількість фітопатогенного гриба, здатні переносити захворювання на другі ділянки і зберігають життєздатність протягом багатьох (30 – 37) років. Розвиток хвороби сприяє підвищенню вологості ґрунту (більше 80 % НВ) і температури +17...+19 °С. Поширення хвороби зооспорангії, які переносяться с частинками зараженого ґрунту на поверхні

бульби, стебла, коренеплодів, сільськогосподарськими інвентарем, транспортними засобами, тарою з навозом.

Комплекс прийомі запобігання раку картоплі включає карантині, технологічні і хімічні міри захисту от інфекції в вогнищах. Заражені бульби, стебла, столони збирають під час уборки врожаю і знижує на території зараженої поверхні.

Знезаражують ґрунт від інфекції за допомогою сівообороту, коли включають в нього пропашні види рослин, що дозволяє за 5 – 6 років очистити ділянку від інфекції. Швидке очищення ґрунту від інфекції при включені в сівооборот кукурудзи, кореневі відселення якої провокують проростання зооспорангій грибів. Потім їх знищують.

Хороші результати поти захворювання дає внесення сульфату амонію (2 – 3 кг на 10 м²) чи карбаміду (1 – 2 кг на 10м²), які стимулюють проростання зооспорангій.

В роки прохолодної і тривалої весни ризоктоніоз (парша чорна) (*Rhizoctonia solani* Kuhn) наносить не меншої шкоди, чим фітофтороз. Хвороба переноситься з посадковим матеріалом (бульбами). Спори можуть зберігатися в ґрунті 2 – 3 роки. На бульбах ризоктоніоз з'являється у вигляді випуклих чорних горбків-склероциев (гриби в стадії спокою). При проростанні бульби в ґрунті вони розвиваються і вражають проростки, після чого ті часто відмирають і не дають сходів. Прорідженість посадок досягає 20 %.

Бульбову гниль ділять на дві основні групи: бактеріальні (мокра, кільцева, водяниста, тверда чорна) і грибні (фузіоріозная, фомозная). Збудники першої групи захворювань; бактерії розвиваються на рослинах картоплі в вегетаційний період, збудники другої групи гриби розвиваються як на бульбах, так і на рослині картоплі.

Основними факторами, які визначають розвиток бактеріозу є температура і вологість, а також кількість опадів за вегетаційний період. Ріст і життєдіяльність збудників бактеріозу можливі при температурі +2...+32 °С,

оптимальна температура +21...26 °С. Висока відносна вологість повітря (90 – 100 %) і наявності краплинної на бульбах сприяє розвитку бактеріозів, особливо на важких суглинкових ґрунтах. На легких супіщаних ґрунтах хвороба проявляється менше в роки з нестачею вологи в фазі бульбоутворення. Але в вологі роки чорні і мокрі гнилі сильно розвиваються і на супіщаних ґрунтах.

В розвитку всіх бульбових гнилей багато спільних рис. Заражаються бульби до зберігання. Інфекції в більшості випадків (за виключенням фузаріозної) зимують в бульбах, потрапляє на поле, з хворої посадкової бульби переміщається по рослині, потім в столони і бульби нового врожаю. Пере зараження бульб під час збирання, зберігання і висадження пов'язано в більшості випадків з механічними пошкодженнями.

Захист від гнилей картоплі повинна бути комплексною, яка охоплює всі етапи вирощування картоплі: підготовка сім'яного матеріалу, догляд за рослиною, збирання і обробку після збирання, зберігання. Вона включає в себе і захисні заходи проти хвороби і шкідників, які розвиваються на картоплі в вегетаційний період, так як заражені бульби будуть джерелом гнилі в період зберігання. Так як основним джерелом інфекції є посадкові бульби, всі захисні заходи проводять в першу чергу під час вирощування сім'яного матеріалу.

Наносять збиток картоплі також вірусні, віроїдні і мікроплазменні хвороби. Найбільш розповсюджені: мозаїка звичайна, зморшкувата, полосата, скручування листя, готика (веретеновидність бульби), відьмина мітла. Характерна особливість цих хвороб їх висока інфекційність, здатність зберігатися і передається з бульбами [8].

3. СУЧАСНИЙ СТАН МОДЕЛЮВАННЯ Й ПРОГНОЗУВАННЯ ВРОЖАЮ КАРТОПЛІ

Фактори зовнішнього середовища діють на інтенсивність фізіологічних процесів, що протікають у рослині. Моделюється ефект цього впливу, взаємозв'язок між окремими процесами на стан рослинного покриву. Моделювання формування врожаю картоплі містить кількісний опис процесів фотосинтезу, перетікання запасних живильних речовин з материнської бульби, дихання, росту й розвитку. Розглядається, що рослина складається з п'яти узагальнених органів - листа, стебла, кореня, бульби, що росте й материнської бульби [31].

Інтенсивність фотосинтезу кожного з фотосинтезуючих органів (листіків і стебел) описується з урахуванням впливу на фотосинтез фази розвитку рослини, інтенсивності ФАР, концентрації CO_2 , температурного режиму у світлий час доби й вологозабезпеченості посадок, а також забезпеченості рослин елементами мінерального харчування. Перетікання запасних речовин з материнської бульби в молоду рослину розглядається пропорційним запасам речовини в материнській бульбі. Поряд з перетоком вуглеводів з материнської бульби, особливістю рослини картоплі є також темнова фіксація CO_2 , що грає досить істотну роль у вуглеводному балансі. Інтенсивність темної фіксації змінюється в онтогенезі. На ранніх фазах розвитку нічна фіксація CO_2 може становити 15-20% фотосинтезу о півдні.

Динаміка біомаси описується ростовими рівняннями. Дихання ураховується через витрати на дихання росту й дихання підтримки.

При формуванні врожаю картоплі його зниження найбільше часто відбувається під впливом погодних умов, а також через вплив хвороб і шкідників.

3.1 Моделювання процесів формування врожаю картоплі

Розробка динамічних моделей продуктивності сільськогосподарських культур дозволяє досліджувати вплив агрометеорологічних умов на найважливіші процеси життєдіяльності рослин, пояснити цілий ряд особливостей впливу цих умов на продуктивність рослин, вивчити адаптивні реакції на зміну умов зовнішньої. Ці моделі можуть розглядатися як основу для розробки методів агрометеорологічних розрахунків і прогнозів.

Відомо багато динамічних моделей продуктивності різних сільськогосподарських культур, які дозволяють оцінити ріст рослини протягом вегетаційного періоду як результуючу основних фізіологічних процесів. Розроблено динамічні моделі продукційного процесу картоплі. Важливі роботи з динаміки формування врожаю картоплі залежно від агрометеорологічних умов, що не втратили свого значення дотепер, виконані П. А. Лорхом [17,18].

У роботі А. М. Польового запропонована динамічна модель продукційного процесу картоплі для оцінки агрометеорологічних умов формування врожаю картоплі. Модель дозволяє розрахувати динаміку формування врожаю, впливу на цей процес основних факторів зовнішнього середовища. Для розрахунку біомаси картоплі запропонована система рівнянь, що описує динаміку біомаси всіх органів рослини, площі листової поверхні. Видимий фотосинтез розраховується залежно від ФАР. У цій моделі враховується також роль материнської бульби. Органічна речовина бульби є не тільки будівельним матеріалом для створення молодих органів рослини - коріння, стебла і листків, але й джерелом енергії, необхідної для перетворення речовин і процесів росту. Особливістю цієї моделі є облік середньодобових значень основних екофакторів, з яких враховуються водний режим ґрунту, радіаційний і тепловий режими, а також ушкодження рослин інфекцією. Рівень мінерального харчування в розрахунках приймається оптимальним [24].

Більшу динамічну модель продукційного процесу картоплі (РОТАТО) імітаційного типу розробили Нджи й Луміс. У модель включені всі основні відомості по фізіології картоплі, у результаті чого вона вийшла досить громіздкої. Власне розробка моделі РОТАТО велася з наступними цілями: 1) вивчення закономірностей фізіології рослин; 2) аналіз впливу клімату на врожай; 3) оцінка впливу генотипу на продукційний процес; 4) розробка стратегії керування врожаєм. Автори справедливо вважають важким і навіть неможливим досягти цих цілей тільки шляхом експериментальних досліджень, і моделювання із цього погляду є пізнавальним інструментом.

Модель РОТАТО має ієрархічну структуру. Процеси і їхні параметри включаються в модель на рівні ценозу, рослини й окремого органа. Ураховуються зворотні зв'язки між окремими організаційними рівнями. Зроблено ряд допущень, які зменшують можливості моделі. Вологість ґрунту й мінеральне харчування вважаються не лімітуючими. Досить приблизно враховується сонячна радіація при розрахунку фотосинтезу. При розрахунку фотосинтезу враховується концентрація фонду асимілятів, причому вважається, що інтенсивність фотосинтезу підвищується після початку формування бульб. На цьому рівні використовується світлова крива фотосинтезу з більше високим плато.

Розрахунок росту моделлю РОТАТО починається з появи паростків із ґрунту. У цей час рослини використовують резерви з материнської бульби. Надалі залежно від віку використовуються експериментальні криві росту головного стебла й стеблових вузлів, листків і бульб.

Модель ураховує вплив температури на ріст. Для стеблових вузлів і листків використовуються однакові криві, згідно з якими ріст цих органів починається з температури 4°C , має максимум при температурі між $20\text{-}28^{\circ}\text{C}$ и починаючи з температури 28°C різко сповільнюється.

У модель включена також залежність росту окремих органів від фонду асимілятів. Літературні дані показують, що пріоритет використання асимілятів відбиває близькість того або іншого органа до джерела асимілятів

- листкам. Ріст органів виражається у формі лінійних залежностей від стану фонду асимілятів. Ефект впливу фонду асимілятів починає проявлятися тоді, коли на запас залишається 3% загальної сухої біомаси рослин і досягає максимуму при фонді 6%. Вплив на ріст бульб починається й набуває максимум при фонді у два рази більшому. Вплив вмісту води в рослинах на ріст ураховується лінійною емпіричною залежністю.

Вміст вуглеводів у фонді асимілятів розраховується як різниця між фотосинтезом і диханням шляхом включення притоку речовин із старіючих органів. За аналогією із загальноприйнятою схемою дихання визначається як сума дихання росту й підтримки. При цьому коефіцієнт витрат на дихання росту для листків дорівнює 0,4 г/г, для стебел, коріння, бульб -0,3 г/г. Для дорослих листків коефіцієнт витрат на дихання підтримки при 25⁰С становить 0,0017 г/(г-ч).

Проведено аналіз чутливості моделі, що дозволяє виявити її недоліки й знайти шляхи вдосконалювання. У ході досліджень мінялися вхідні параметри 6 груп: 1) потенційних швидкостей появи органів; 2) метеорологічних факторів; 3) коефіцієнт витрат на дихання росту; 4) коефіцієнт витрат на дихання підтримки; 5) питомої площі листків; 6) густоти посіву й пов'язаних з нею показників. Результати виконаних чисельних експериментів показують, що модель найбільш чутлива до параметрів першої, шостий, а також п'ятої груп факторів. Проміжною чутливістю володіє модель щодо групи метеорологічних факторів, невеликою чутливістю - щодо коефіцієнтів дихання. Звертає на себе увагу порівняно висока чутливість моделі щодо питомої площі листків.

Основним призначенням розглянутої моделі вважається розвиток фізіології рослин.

Використання моделі РОТАТО в агрометеорології й агрономії, особливо в наших умовах, пов'язане з труднощами й вимагає адаптації, у першу чергу тому, що параметри моделі ставляться до південних сортів, а

сама модель орієнтована на використання при зрошенні, коли запаси вологи в ґрунті не лімітують фізіологічні процеси.

За основу моделі Рийтема-Ендроті прийнята модель де Віта яка адаптована для розрахунку приросту бульб картоплі в умовах, коли запаси води в ґрунті лімітовані. У цій моделі приріст біомаси визначається по наступній формулі:

$$\Delta m = \frac{0.5 + 4.4}{r_a + r_s + 4.4} S_c \Delta M_{\text{пот}}, \quad (3.1.1)$$

де $\Delta M_{\text{пот}}$ - потенційний приріст сухої біомаси, г/см²;

0,5 й 4,4 с/см – значення дифузійного опору прикордонного шару r_a й опір мезофіла листків r_m в оптимальних умовах;

r_a й r_s – фактичні значення опору дифузії CO₂ прикордонних шарів й поверхні посіву в умовах водного дефіциту, с/см;

S_c – ступінь покриття поверхні ґрунту рослинами;

C – коефіцієнт, що редукує біомасу, , що враховує дихання, вважається рівним 0,68.

Розрахунок урожаю картоплі добре узгоджується з фактичним приростами й кінцевим урожаєм.

Модель А. М. Польового [24], як й інші, є динамічною. Інтенсивність фотосинтезу розглядається по формулі:

$$\Phi = \frac{a\Pi}{1 + B\Pi}, \quad (3.1.2)$$

де a , b - параметри, що характеризують вид світлової кривої фотосинтезу;

Π - поглинена листками ФАР.

Інтенсивність дихання розраховується по формулі:

$$K = c_1 M + c_2 \Phi, \quad (3.1.3)$$

де c_1 – коефіцієнт витрат на дихання підтримки;

c_2 – коефіцієнт витрат на дихання росту.

У моделі враховується онтогенетична крива зміни фотосинтезу й дихання. При розрахунках інтенсивність фотосинтезу й дихання множиться на коефіцієнти, що відображають вплив температури повітря й вологості ґрунту, що змінюються в межах від 0 до 1.

При розрахунку перетоку запасних речовин з материнського в органи молоді рослини визначається по формулі:

$$P = \chi \cdot M_c, \quad (3.1.4)$$

де P – швидкість перетоку вуглеводів з материнської бульби, г/(м²сут);

χ - коефіцієнт, що характеризує швидкість перетока, сут⁻¹;

M_c – запаси живильних речовин материнської бульби, г/м².

У моделі також враховується темнова фіксація CO₂, що може становити 15-20% фотосинтезу о півдні. Інтенсивність гетеротрофної фіксації приймається пропорційної фотосинтезу з урахуванням впливу температури повітря в темний час доби, тобто:

$$D = \varepsilon \omega \Phi \tau \psi_0, \quad (3.1.5)$$

де D – інтенсивність гетеротрофної фіксації CO₂, г/(дм²ч);

ω - безрозмірний коефіцієнт, співвідношення фотосинтетичної й темної фіксації в онтогенезі;

ψ_0 - безрозмірна температурна крива нічної фіксації CO₂.

Модель розроблена з метою прогнозу врожайності картоплі й забезпечена програмою для ЕОМ.

Модель Фішмана одна з моделей продукційного процесу картоплі, запропонована для арідних зон. Модель створена на рівні окремої рослини, складається із системи диференціальних рівнянь росту й заснована на концепції фонду асимілятів. Уважається, що фонд пропорційний сухій біомасі, створеної в результаті фотосинтезу. Ураховується також будова рослин.

Параметри моделі автори визначають загальноприйнятим шляхом калібрування або ідентифікації за експериментальним даними. Отримані розрахункові криві біомаси окремих органів добре узгоджується з дослідними даними.

Автори не обмежилися створенням моделі на рівні окремої рослини. Вони будують модель із прикладною метою, щоб мати можливість прогнозувати ріст і врожайність у різних агрометеорологічних умовах при різній агротехніці. Варто погодитися з позицією авторів, що модель прикладного характеру повинна враховувати функціональні процеси в рослинах й умови зовнішнього середовища, але вона повинна бути не занадто складної для використання.

У моделі Інграма й Мак Клоуда урожай бульб визначається наступним вираженням:

$$Y = \int_{\tau_0}^{\tau_K} a_K F_{II} dt, \quad (3.1.6)$$

де Y – урожай сухої маси бульб, г/м²;

τ_K - день припинення росту бульб;

τ_0 - початок бульбоутворення;

a_K – частка F_{II} вхідна в бульби;

F_{II} – швидкість нетто-асиміляції, г/(м²сут).

Вхідними факторами моделі є середні денні температури повітря, температури ґрунту на глибині 10 см, щільність потоку сонячної радіації.

При розрахунку інтенсивності фотосинтезу $F_{\text{П}}$ вважається, що крім інтенсивності ФАР і температури повітря, вона також у значній мірі залежить від швидкості росту бульб як основних споживачів асимілятів. Так, у фазі росту бульб фотосинтез на основі експериментальних даних вважається в 2 рази вище, ніж у період до появи бульб.

Приріст бульб у фазі їхньої появи розраховується по формулі:

$$\Delta m_4 = m_4 R, \quad (3.1.7)$$

де Δm_4 - швидкість росту бульб, г/(м²сут);

m_4 - суха маса бульб, г/м²;

R – відносна швидкість росту бульб, г/(г·сут), причому R залежить від температури.

Крім описаних основних, відомий також ряд більше простих моделей, які мають великий крок розрахунку (місяць або більше) і побудовані для рішення конкретних прикладних завдань рослинництва або меліорації.

Зокрема, становить інтерес модель для оцінки необхідності осушення або зрошення полів, у тому числі під картоплею, запропонована В.В. Шабановим. Модель приростів просапних сільськогосподарських культур була розроблена П. І. Закржевским у Білорусії. Модель була використана для з'ясування впливу водного режиму (рівнів ґрунтових вод, вологості ґрунту) на врожай цукрового буряка й картоплі вирощуваних на торф'яних ґрунтах осушених боліт.

У роботі Х.Г. Тоомінга й П.Х. Кийва на основі польових експериментальних даних запропонована проста модель для розрахунку врожаю картоплі залежно від сум евапотранспірації. Уперше в цій роботі дається крива забезпеченості врожайності картоплі в різних погодних умовах.

Голландськими дослідниками створена модель SWACRO, призначена для розрахунку водного балансу ґрунту й продукції бульб картоплі. Модель

дозволяє розраховувати фактичний приріст через максимально можливий приріст і значення метеорологічних елементів. Максимальний приріст бульб у ґрунті, добре забезпечений добривами й водою, розраховується як різниця фотосинтезу й дихання. Ураховується фотосинтез стандартного посіву, тобто посіву з листовим індексом, рівним $L=5 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Розрахунок дійсного приросту проводиться через максимально можливий з урахуванням транспірації, дефіциту парціального тиску водяної пари в повітрі й максимальній ефективності використання води. З метеорологічних даних у модель входять денні суми опадів і радіації (або тривалість сонячного сяйва), а також температура повітря, відносна вологість і швидкість вітру. Модель SWACRO дозволяє визначати оптимальну дату посадки, строки й норми зрошення посівів картоплі. За допомогою цієї ж моделі докладно досліджений вплив на врожайність типу ґрунту, її ущільнення й осушення.

Хотілося б підкреслити, що при оцінці моделей головним фактором є не ступінь складності й кількість параметрів, включених у розгляд, а ступінь адекватності моделі для рішення поставленого завдання в конкретних умовах зовнішнього середовища. Адекватність нескладних моделей багато в чому залежить від знання автором досліджуваного об'єкта в контексті свого конкретного завдання.

Посів у моделі розглядається як функціонально диференційоване ціле, у якому виділене п'ять ємностей: листки, стебла, корінь, материнська бульба, бульба нового врожаю (l, s, r, c, R). Крок розрахунків за часом – доба. Добовий приріст біомаси кожного органа рослини визначається процесами росту G_p , дихання D_p , розпаду q_p й відпаду відмерлих тканин P_p :

$$dm_p / dt = G_p - D_p - q_p - P_p, \quad (3.1.8)$$

де m_p – маса p -го органа, мг/див²; $p \in l, s, r, c, R$.

Під ростом у моделі розуміється новоутворення структурної маси й передбачається, що весь фонд, що сформувався за добу, вуглеводів перетвориться в структурну масу в процесі росту.

Для опису дихання використана двокомпонентна схема. Прийнято, що дихання складається з дихання росту, прямо пропорційного швидкості росту й дихання підтримки, обумовленого величиною вже сформованої маси органа, вологістю й температурою середовища:

$$D_p = R_g G_p + D_1 (-\psi_Q) + D_2 \theta \varphi_Q, \quad (3.1.9)$$

де D_p – дихання p -го органа, мг/(мг·сут);

R_g – коефіцієнт дихання росту;

D_1, D_2 – коефіцієнти дихання підтримки, мг/(мг·сут);

$\psi_Q \varphi_Q$ - волога й температурна функції дихання.

Вплив режиму зволоження на утворення нових тканин рослини здійснюється через два канали: при недоліку вологи в ґрунті – через вустично-катикулярний опір потоку CO_2 , при надлишку – через коефіцієнт перезволоження.

Азотний режим впливає на фотосинтез і ріст у моделі через величину фотохімічного опору фотосинтезу.

У моделі А. Л. М. Ван Віка й Р.А. Федеса моделюється виростання бульб і поява сходів залежно від середньої температури ґрунту й мінімальної температури початку проростання бульб. Добова величина приросту сухої маси при оптимальному азотному харчуванні розраховується по вираженню:

$$\left(1 - \frac{q}{A \frac{T}{\Delta e}}\right) \left(1 - \frac{q}{q_{pot}}\right) = \xi, \quad (3.1.10)$$

де A – показник максимального споживання води, що визначається польовими експериментами;

T – дійсний рівень транспірації, що дозволяє визначити модель SWATRA;

Δe - дефіцит тиску водяної пари в повітрі;

q_{pot} – потенційний рівень росту, обчислений як показник радіації й площі листка;

ξ - математичний параметр, ($\xi = 0,01$).

У роботі [24] запропонована динамічна модель «погода-урожай», що знаходить все більше застосування для агрометеорологічних завдань. Передбачається, що не міняючи принципову схему моделі, її можна використати для оцінки агрометумов виростання різних сільськогосподарських культур, попередньо визначивши деякі невідомі параметри. У роботі визначалися параметри моделі «погода-урожай» для розрахунків урожаю картоплі. Треба відзначити, що модель для розрахунку врожаю картоплі на цій основі вже створена [24] для умов Нечорноземної зони Росії.

Необхідні для розрахунку врожаю параметри моделі одержують різними способами.

Частина вхідних у модель параметрів визначається безпосередньо для конкретного досвіду або виробничого посіву. До таких відносяться параметри, що характеризують час і місце розрахунку врожаю (широта місця, число днів від 21 березня до початку рахунку, агрогідрологічні константи й т.д.).

Але цілий ряд параметрів моделі може бути отриманий у цей час тільки на підставі експериментального матеріалу по конкретній культурі шляхом рішення або приватних завдань оптимізації, або завдань стохастичної ідентифікації параметрів із залученням всієї моделі.

У дослідженнях визначаються параметри (ростові функції органів рослин картоплі, перетоки асимілятів з різних органів у бульби, частка зеленої площі органів від загальної).

Робота В.В. Набоки ставить за мету визначити параметри динамічної моделі «погода-урожай» і пристосувати її для розрахунку кількісної оцінки агрометеорологічних умов формування врожаю картоплі в умовах Західного Сибіру.

Значення деяких параметрів узяті з літературних джерел або визначаються для конкретного розрахунку. Однак цілий ряд параметрів моделі може бути оцінений тільки на підставі експериментальних даних шляхом рішення завдань оптимізації.

Остання група параметрів включає: 1) параметри біологічних функцій (ростові функції органів рослин, функції втрат, функції пожовтіння листків, функції розподілу коріння, функції потоку «материнський бульба-наземна частина рослини»); 2) параметри блоку розрахунку вологості ґрунту (константи z_r й q_r для розрахунку функції розподілу коріння по шарах ґрунту, кардинальне значення гідравлічної провідності насиченого ґрунту K_0 , коефіцієнт, що визначає ефективну зволоженість ґрунту при рясних опадах AW); 3) параметри, відповідальні за розрахунок фотосинтезу (кут нахилу світлової кривої фотосинтезу α , константа для розрахунку вустичного опору потоку CO_2).

За допомогою моделі BACROS можна визначити рівень росту й розвитку сухих речовин у врожаї при оптимальних запасах води й живильних речовин без обліку бур'янів, а також шкідників і хвороб.

Було проведено детальне вивчення процесів фотосинтетичної продуктивності, які в наслідку були представлені схематично.

Розрахунок показників фотосинтетичної продуктивності був досягнутий за допомогою показників сонячної радіації, площі листків й їхніх оптичних властивостей.

Для розрахунку дихання були використані наступні показники: біомаса, фенологія й хімічний склад, поточна швидкість росту й температура рослин.

Транспірація визначається за допомогою методу теплового балансу рослин. Розглядається, що ріст залежить від поточної забезпеченості асимілянтами їхніх резервів і температури.

Модель РОТАТО має аналоги в природі й характеризується високим рівнем фізіологічної й морфологічної деталізації.

У моделі враховується ріст і розвиток всіх головних органів рослини при оптимальному запасі води й живильних речовин без обліку бур'янів, шкідників і хвороб.

Часовий крок моделі - година.

Клімат ґрунту й рослини описуються вхідною інформацією. Транспірація й вологість ґрунту визначаються через зміни вмісту води в рослині.

Швидкість зміни асимілянтів у рослині розраховується через фотосинтез, дихання і швидкість росту органів і швидкість мобілізації з відповідних органів: приріст сухої речовини розподілений між коріннями, листками й іншими органами як функція фенологічного розвитку рослин.

Структура моделі визначається виходячи з закономірностей формування гідрометеорологічного режиму у системі ґрунт – рослина – атмосфера і біологічних уявлень про ріст і розвиток сільськогосподарських культур під впливом чинників зовнішнього середовища. У основі моделі лежить система рівнянь радіаційного, теплового і водного балансів, балансу біомаси (вуглеводів та азоту) у рослинному покриві.

Основні концептуальні положення такі:

- ріст і розвиток рослин визначається генотипом і чинниками зовнішнього середовища;

- моделюється ріст рослин (накопичення сухої біомаси) шляхом розподілу продуктів фотосинтезу і поглинених елементів мінерального

живлення з урахуванням потреб для росту в асимілятах надземної і підземної частин рослин;

– моделюються радіаційний, тепловий і водний режими системи ґрунт – рослина – атмосфера;

– моделюється трансформація форм азоту в ґрунті та азотне живлення рослин;

– моделюється гідроліз рослинної тканини при старінні рослин і в стресових умовах, а також перетік продуктів гідролізу з листя, стебел, коренів у репродуктивні органи;

– моделюється вплив агрометеорологічних умов в основні міжфазні періоди сільськогосподарських культур на формування урожаю, втрати урожаю за рахунок посухи, а для зернових колосових культур – полягання посівів і "стікання" зерна.

Модель складається із 8 блоків:

1. Блок вхідної інформації.
2. Блок радіаційно-теплогового режиму рослинного покриву.
3. Блок водного режиму рослинного покриву.
4. Блок фотосинтезу.
5. Блок дихання і старіння рослин.
6. Блок мінерального живлення.
7. Блок росту (розподіл структуроутворюючих компонентів – вуглеводів і азоту).
8. Блок формування площі листя.

Розглядається, що рослина складається з двох функціонально пов'язаних частин: надземної (shoot) і підземної (root), які у свою чергу поділяються на окремі органи або їх складові частини. Виділяються: функціонуючі листки (l_{func}), пожовклі листки (l_{yel}), відмерлі листки (l_{mor}), зелені стебла (s_{gr}), пожовклі стебла (s_{yel}), функціонуючі корені (r_{func}), відмерлі корені (r_{mor}), функціонуючі репродуктивні органи (p_{func}), дозріваючі репродуктивні органи (p_{rip}).

Маса m окремих органів та їх окремих частин складається з двох компонентів – маси вуглеводів C і маси азоту N . Моделюється, що під впливом екзогенних і ендогенних чинників у рослині відбувається формування єдиного фонду вільних вуглеводів C_{lab} та єдиного фонду вільного азоту N_{lab} .

У моделі розглядається, що ґрунт має 12 шарів: 0-2см, 2-5 см, 5-10 см, 10-20 см і так далі через 10 см до глибини 100 см.

Моделюються потоки води і азоту у ґрунті, який розглядається одночасно як насичене та ненасичене вологою середовище.

Моделювання реалізовано в двох варіантах – з добовим кроком в часі та з декадним кроком.

3.2 Продуційний процес рослин (ППР)

Продуційний процес рослин (ППР) - це сукупність окремих взаємопов'язаних процесів, з яких фундаментальними є фотосинтез, дихання і ріст, у ході яких відбувається формування врожаю. ППР залежить від умов зовнішнього середовища й сам перетворює середовище, в основному через архітектоніку, газообмін і транспірацію фітоценозу.

Рослини, поглинаючи листками з атмосфери CO_2 і кореневою системою воду із ґрунту, створюють у процесі фотосинтезу під впливом енергії сонячної радіації органічна речовина у вигляді асимілятів. Одночасно відбувається транспірація, що відповідає за постачання рослин водою й елементами мінерального харчування й за регуляцію теплового режиму рослин. Залежно від інтенсивності ФАР, водного й температурного режиму, швидкості вітру, концентрації CO_2 у повітрі, родючості ґрунту й видових особливостей рослин процес фотосинтезу може йти 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 із транспортом речовин, а також підтримка живих структур органів рослин. При цьому затрачається органічна речовина, накопичена в органах рослин.

Третій фундаментальний процес – ріст. Фотосинтез і ріст розглядається як сполучені процеси. Енергетичне забезпечення ростових функцій з боку фотосинтезу є неодмінною умовою росту. Система донорно-акцепторних відносин є основним проявом інтеграції фотосинтезу й росту на рівні цілого організму. Між донором й акцептором формуються тимчасові проміжні фонди асимілятів. Фонди можуть перебувати в кожному органі, але більше мобільні з них, імовірно, перебувають у листках і стеблах. Асиміляти, запасені на більш тривалий період, здебільшого накопичуються в коріннях. В умовах екологічного стресу, коли придушується фотосинтез, величина фондів стає істотним фактором формування врожаю.

Фонди забезпечують часткову автономність функції фотосинтезу й росту. Можливий обмежений ріст без фотосинтезу за умови, що енергетичне постачання відбувається за рахунок запасних субстратів попереднього фотосинтезу. Таким шляхом ростуть проростки, пагони й листки із бруньок дерев. Так відбувається ріст у нічні години й т.д. Налив зерна в зернових культурах і формування бульб у картоплі здійснюється також не тільки за рахунок «свіжих» асимілятів, що утворюються в листках, але й шляхом використання фондів асимілятів. Сучасні експериментальні й теоретичні дослідження Х.А. Молдау (1985), Х.М. Торнли (1982) і ін. дозволили розширити наші знання про добову й онтогенетичної динаміки фондів [30].

Ріст - це складова частина продукційного процесу, що супроводжується збільшенням маси й розмірів органів, органел і живого організму в цілому.

Найбільш елементарний показник росту фітомаси - це приріст, тобто різниця між сухою фітомасою за певний проміжок часу:

$$\Delta M = M_2 - M_1$$

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:

$$\Delta M / \Delta t = (M_2 - M_1) / (t_2 - t_1) \quad (3.2.1)$$

і відносного приросту:

$$R_r = (M_2 - M_1) / \bar{M} (t_2 - t_1) \quad (3.2.2)$$

де \bar{M} - середня суха маса рослини за період $t_2 - t_1$.

3.3 Моделювання основних складових продукційного процесу рослин

Інтенсивність фотосинтезу кожного з фотосинтезуючих органів (листіків і стебел) описується за допомогою формули з урахуванням впливу на фотосинтез фази розвитку рослин, температурного режиму й вологозабезпеченості посіву, а також забезпеченості рослин елементами мінерального харчування [24]:

$$\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{1}{\frac{1}{\Phi_{pot}^i K_{NPK}} + \frac{1}{a_c c_0} + \frac{1}{a_\phi^i n^i}} \min \left\{ a_\phi^i, \psi_\phi^i, \frac{E^j}{E_0^j} \right\}, \quad (3.3.1)$$

де $\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ - інтенсивність фотосинтезу;

Φ_{pot} - інтенсивність потенційного фотосинтезу;

c_0 - концентрація CO₂ у повітрі;

a_ϕ - нахил світлової кривої фотосинтезу;

Π - поглинена і-м органом фотосинтетично активна радіація;

α_ϕ - онтогенетична крива фотосинтезу;

ψ_ϕ - температурна крива фотосинтезу;

E - сумарне випаровування;

E_0 - випаровуваність;

J - часовий крок моделі;

K_{NPK} - коефіцієнт забезпеченості рослин елементами мінерального харчування, що розраховується за допомогою принципу Лібіха з розрахунком функцій забезпеченості азотом (N), фосфором (P) і калієм (K):

$$K_{NPK} = \min \{ K_N, K_P, K_K \}, \quad (3.3.2)$$

Температурна крива фотосинтезу апроксимована, згідно [2], вираженням:

$$T_d^j = 0.2 \frac{T_d^j - T_{d_0}}{T_{d_{opt}} - T_{d_0}} \left[6 - \left(\frac{T_d^j - T_{d_0}}{T_{d_{opt}} - T_{d_0}} \right) \right], \quad (3.3.3)$$

де T_d - середньоденна температура повітря, °C;

T_{d_0} і T_{opt} – відповідно гранична й оптимальна температура повітря для фотосинтезу, $^{\circ}\text{C}$.

У динамічних моделях продукційного процесу рослин зміни інтенсивності фотосинтезу в онтогенезі не враховувалися або враховувалися через емпіричні коефіцієнти. Фотосинтетична активність листків різна на різних етапах онтогенезу окремого листка й рослини в цілому.

Фотосинтетичний апарат у молодих листків, що формуються, будь-якого ярусу сформований ще не повністю й не забезпечує високої інтенсивності фотосинтезу. Цією здатністю він володіє тільки в зрілих функціонуючих листків. В онтогенезі цілої рослини найменшою інтенсивністю фотосинтезу володіють листки у фазі сходів, коли анатомічна структура не забезпечує оптимуму фотосинтетичної активності. Листки, які є фотосинтетично активними в більше пізні фази онтогенезу, відрізняються структурними й фізіологічними характеристиками, оптимальними для їхньої фотосинтетичної активності. Це листки середнього ярусу. Така різноякісність листків по ярусах визначається неодноразовістю їхньої появи й тим, що їхній розвиток пов'язаний з розвитком рослини в цілому.

Зміна фотосинтезу в онтогенезі враховано через функцію, що описує інтенсивність фотосинтезу i -го органа залежно від фізіологічного віку рослини. Ця функція названа «онтогенетичної кривої фотосинтезу».

$$a_{\phi i}^j = \exp \left[-0.01 q_i \left(\sum T^j - \sum T_{1i} \right) \right], \quad (3.3.4)$$

у якому параметр q_i розраховується за формулою:

$$q_i = \frac{-100 \ln a_{\phi i}^0}{\sum T_{1i}}, \quad (3.3.5)$$

де $\alpha_{\phi i}^o$ - характеризує початкову інтенсивність фотосинтезу стосовно максимального;

$\sum T_{1i}$ - сума ефективних температур, що накопичилася від сходів до настання фази розвитку рослин, у яку спостерігається максимальна інтенсивність фотосинтезу і-го органа, $^{\circ}\text{C}$.

Характерна особливість картоплі полягає в тому, що основна маса запасних речовин материнської бульби використовується рослиною в процесі вегетації й значно менша частка розходиться в період проростання. Таким чином, материнська бульба є додатковим джерелом вуглеводів для росту рослини, крім асиміляції CO_2 при фотосинтезі.

Перетікання запасних речовин в органи молодій рослини в першому наближенні можна записати пропорційним запасам живильних речовин материнської бульби:

$$\Delta P^j / \Delta t = \chi^j m_q^j, \quad (3.3.6)$$

де $\Delta P^j / \Delta t$ - швидкість перетоку вуглеводів з материнської бульби;

χ - коефіцієнт, що характеризує швидкість перетоку;

m_q - запаси живильних речовин материнської бульби.

Розрахунок перетоку живильних речовин з материнської бульби в органи молодій рослини ведеться по формулі (3.3.6). У цій формулі параметр χ характеризує швидкість перетоку. Апроксимуюче вираження для оцінки цього параметра як функції часу отримано за експериментальними даними:

$$\chi^j = \frac{0.035}{9 \cdot 10^{-3} \sum T^j + 1}, \quad (3.3.7)$$

Другою особливістю рослини картоплі є те, що темнова фіксація CO₂ грає досить істотну роль у вуглеводному балансі. Нефотосинтетична фіксація CO₂ властива не тільки картоплі, а практично всім рослинам, і питання про долю її участі в підтримці вуглецевого й енергетичного балансу рослини є спірним. На ранніх фазах розвитку нічна фіксація CO₂ може становити 15-20% фотосинтезу о півдні.

Інтенсивність гетеротрофної фіксації приймається пропорційною фотосинтезу з урахуванням впливу температури повітря в темний час доби:

$$\frac{\Delta S^j}{\Delta t} = \varepsilon \omega^j \frac{\Delta \phi^j}{\Delta t} \psi_s^j, \quad (3.3.8)$$

де $\Delta S / \Delta t$ - інтенсивність гетеротрофної фіксації CO₂;

ω - коефіцієнт, що характеризує співвідношення фотосинтетичної й темної фіксації в онтогенезі;

ψ_s - температурна крива нічної фіксації CO₂.

Дихання росту розглядається пропорційним фотосинтезу посіву:

$$R_G^j = C_G \phi^j, \quad (3.3.9)$$

де R_G – інтенсивність дихання росту, м·м⁻²·сут⁻¹;

C_G – коефіцієнт, який характеризує витрати, пов'язані з ростом, безрозмірний.

Дихання підтримки структур пропорційно сухій біомасі посіву й залежить від температури й віку рослини:

$$R_m^j = C_m M^j a_R^j \phi_R^j, \quad (3.3.10)$$

де R_m – інтенсивність дихання підтримки;

M – суха біомаса посіву, $\text{м} \cdot \text{м}^{-2}$;

C_m – коефіцієнт дихання підтримки, $\text{г}_{\text{св}} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$;

a_R – параметр, що характеризує вплив фази онтогенезу на швидкість дихання, безрозмірний;

φ_R – функція впливу температури повітря на дихання, безрозмірний.

Облік зміни інтенсивності дихання в онтогенезі досить істотний, оскільки рівень дихання газообміну відображає, поряд з біохімічними особливостями протопласта, і ряд анатомо-морфологічних властивостей органа або тканини [14]. Біохімічна активність і структура тканин піддається досить сильним змінам, пов'язаним з віком і розвитком рослини, внаслідок чого значно міняється в онтогенезі й дихання. Найбільше інтенсивно дихають молоді тканини, що ростуть, при старінні рівень дихального метаболізму падає [16].

В прийнятій структурі моделі дихання оцінюється в цілому органі (наприклад, по всіх листках) і в цьому випадку функція має вигляд одновершинної кривої. Ця функція названа онтогенетичною кривою дихання [14].

Характер залежності дихання від температури виражається звичайно за допомогою коефіцієнта Q_{10} .

Інший вид запису температурної функції наведений у роботах і використаний у вигляді:

$$\varphi_R = Q_{10}^{0.1(A-T_{AO})}, \quad (3.3.11)$$

де Q_{10} – температурний коефіцієнт дихання, безрозмірний;

T_A – температура повітря, $^{\circ}\text{C}$;

T_{AO} – температура, при якій береться початкове (для розрахунку) значення дихання, $^{\circ}\text{C}$.

У випадку якщо ставитися завдання оцінки загального приросту біомаси в динаміці, це можна зробити по різниці між фотосинтезом і диханням. Однак вирішальне значення при моделюванні процесу формування врожаю належить оцінці приросту біомаси окремих органів, у тому числі й репродуктивних, тобто розподіл асимілятів між органами.

При описі швидкості змін сухої біомаси окремих органів на підставі [25] прийнята наступна система рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta m_i^j}{\Delta t} &= \frac{\beta_i^j (\psi^j + P^j + S^j)}{1 + C_{Gp}} - \frac{(\alpha_{Ri}^j C_{mi} \varphi_R^j + \nu_i^j \tilde{m}_i^j)}{1 + C_{Gi}} \\ \frac{\Delta m_p^j}{\Delta t} &= \frac{\beta_p^j (\psi^j + P^j + S^j)}{1 + C_{Gp}} - \frac{(\alpha_{Ri}^j C_{mi} \varphi_R^j + \sum_i^{l,s,r} \nu_i^j \tilde{m}_i^j)}{1 + C_{Gi}} \end{aligned} \right\} \quad (3.3.12)$$

де $\Delta m_i / \Delta t$ - швидкість росту і-го окремого органа;

$\Delta m_p / \Delta t$ - швидкість росту бульб;

β_i - ростова функція вегетативного періоду;

C_G – коефіцієнт дихання росту;

α_R - онтогенетична крива дихання;

C_m – коефіцієнт дихання підтримки;

φ_R - температурна крива дихання;

ν - ростова функція репродуктивного періоду;

m_i – функціонуюча біомаса і-го вегетативного органа.

У цьому рівнянні дихання росту й дихання підтримки структур окремо не обчислюється, а визначається за допомогою коефіцієнтів C_G , C_m , φ_R , α_R .

У період активного росту вся біомаса є функціонуючою, отже, приріст загальної й функціонуючої біомаси однаковий:

$$\frac{\Delta \tilde{m}_i^j}{\Delta t} = \frac{\Delta m_i^j}{\Delta t} \geq 0, \quad (3.3.13)$$

При стресових умовах або природному старінні рослини, коли кількість загальної біомаси знижується, (цей момент визначається на підставі моделі) внаслідок переваги процесів розпаду над процесами синтезу, кількість функціонуючої біомаси визначається як частка загальної біомаси:

$$-\frac{\Delta \tilde{m}_i^j}{\Delta t} = -\frac{\Delta m_i^j}{\Delta t} \cdot \frac{1}{R_{Si}}, \quad (3.3.14)$$

де R_{Si} – параметр, що характеризує частку життєдіяльних структур і рухливих вуглеводів у загальній біомасі органа, безрозмірний.

Розпаду піддаються життєдіяльні структури, які в рослині представлені практично тільки білками. Продукти розпаду білків, а також рухливі вуглеводи пересуваються в репродуктивні органи. Оскільки вміст білка й вуглеводів в органах рослин відомо досить добре, тому й визначення чисельного значення R_{Si} не представляє проблем.

Швидкість зміни площі асимілюючої поверхні і-го органа, як при сприятливих умовах росту й розвитку, і при виникненні стресових умов, а також у період старіння рослин опишемо рівнянням:

$$\frac{\Delta L_i^j}{\Delta t} = \left(\frac{\Delta \tilde{m}_i^j}{\Delta t} \right) \left(\frac{1}{\sigma_i} \right), \quad (3.3.15)$$

де σ_i - питома поверхнева щільність і-го асимілюючого органа.

Розрахунок зміни оптимальних значень температури в часі розраховується за формулою:

$$T_{opt} = 9.085 + 19.572 \cdot \tau^j - 10.689 \tau^{\sum j}$$

(3.3.16)

$$\tau = \sum t / \sum t_{n.B.}$$

де T_{opt} – оптимальна температура повітря для фотосинтезу, $^{\circ}\text{C}$;

τ - відносний час, відн. од.;

$\sum t$ - сума ефективних температур вище 10°C з наростаючим підсумком від дати сходів, $^{\circ}\text{C}$;

$\sum t_{n.B.}$ - сума ефективних температур вище 10°C за повний період вегетації картоплі, $^{\circ}\text{C}$.

Опис структури моделі.

Блок фотосинтезу. Фотосинтез листя може бути представлений формулою:

$$\phi_O^i = kbI^i / k + bI^i, \quad (3.3.17)$$

де ϕ_O^i – інтенсивність фотосинтезу при оптимальних умовах тепла і вологозабезпеченості в реальних умовах освітленості $\text{мг CO}_2/(\text{дм} \cdot \text{годину})$,

k – інтенсивність фотосинтезу при світловому насиченні і нормальній концентрації CO_2 , $\text{мг} \cdot \text{CO}_2/(\text{дм} \cdot \text{годину})$;

b – початковий нахил світлової кривої фотосинтезу, $\text{мг CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{годину}^{-1})/(\text{кал} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{хв}^{-1})$;

I – інтенсивність фотосинтетично активної радіації (ФАР) в середині посіву, $\text{кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{хв})$;

i – номер кроку розрахункового періоду.

В онтогенезі фотосинтетична активність листя визначається його віком і напруженістю водно-теплого режиму.

Для розрахунку фотосинтезу в онтогенезі в реальних умовах середовища, відмінних від біологічних оптимальних, використовуємо вираз:

$$\phi_{\tau}^i = \phi_0^i \alpha_{\phi}^i \psi_{\phi}^i \gamma_{\phi}^i, \quad (3.3.18)$$

де ϕ_{τ} – інтенсивність фотосинтезу в реальних умовах середовища, мг $\text{CO}_2/(\text{дм}\cdot\text{годину})$;

α_{ϕ} – онтогенетична крива фотосинтезу;

$\psi_{\phi}, \gamma_{\phi}$ – функції впливу факторів зовнішнього середовища (середньої за світлий період доби температури повітря і вологості ґрунту), які представляють собою одновершинні криві.

Функції $\alpha_{\phi}, \psi_{\phi}, \gamma_{\phi}$, які входять в співвідношення (3.3.18), нормовані і змінюються від 0 до 1.

Сумарний фотосинтез посіву за світлий період доби можна розрахувати за формулою:

$$\phi^i = \varepsilon \phi_{\tau}^i L^i \tau_{\text{Д}}^i, \quad (3.3.19)$$

де ϕ – денний фотосинтез посіву на одиницю площі, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{добу})$;

$\varepsilon = 0,68$ – коефіцієнт ефективності фотосинтезу;

L – площа листової поверхні, $\text{м}^2/\text{м}^2$;

$\tau_{\text{Д}}$ – тривалість дня.

Блок дихання. На відміну від процесу фотосинтезу здатність до дихального газообміну мають всі органи рослини.

Витрати на дихання підрозділяють на дихання, пов'язане з підтриманням структурною організацією тканин, і на дихання, пов'язане з

переміщенням речовин, фотосинтезом і створенням нових структурних одиниць:

$$R^j = \alpha_R^j (C_1 M^i + C_2 \phi^i), \quad (3.3.20)$$

де R – витрати на дихання, г/м²;

α_R – онтогенетична крива дихання;

C_1 – коефіцієнт, котрий характеризує витрати, пов'язані з переміщенням речовин, фотосинтезом і створенням нових структурних одиниць.

Блок росту. Приріст біомаси посіву визначається різницею між сумарним фотосинтезом посіву і витратами на дихання:

$$\Delta M^j = \phi^j - R^j, \quad (3.3.21)$$

Для опису росту окремих органів рослини скористаємося запропонованою в роботі (3.3.21) ростовим рівнянням в модифікованому вигляді

$$\begin{aligned} m_i^{j+i} &= m_i^j (\beta_i^j \Delta M^j - v_i^j m_i^j), \\ m_p^{j+1} &= m_p^j + (\beta_p^j \Delta M^j + \sum_l^{l,s,r} v_i^j m_i^j), \end{aligned} \quad (3.3.22)$$

де m_i – загальна суха біомаса окремих $i \in l, s, r$ (i – листя, s – стебла, r – коріння, p – репродуктивні органи) органів, г/м²;

β_i – функція перерозподілу «свіжих» асимілятів;

v_i – функція перерозподілу «старих» асимілятів.

Ріст площі листя визначається при позитивному прирості біомаси листя за формулою (3.3.23):

$$L^{j+i} = L^j + \Delta m_I \frac{1}{z}, \quad (3.3.23)$$

де z – питома поверхнева площа листя, г/м².

При негативному прирості біомаси листя для описання росту їх асимілюючої поверхні використаємо відношення виду (3.3.19):

$$L^{j+i} = L^j - \Delta m_I \frac{1}{z k_C}, \quad (3.3.24)$$

де $k_C = 0,3$ – параметр, який характеризує критичну величину зменшення живої біомаси листя, за якої починається її відмирання.

Агрометеорологічний блок. Поглинена посівом ФАР розраховується за формулою (3.3.25):

$$I^i = \frac{I_0^j}{1 + cL}, \quad (3.3.25)$$

де I_0 – інтенсивність ФАР на верхній межі посіву, кал/(см²·хв);

$c = 0,5$ – емпірична постійна.

Потік ФАР на верхню межу посіву визначається за формулою:

$$I_0^j = \frac{0,5Q^j}{60\tau_D}, \quad (3.3.26)$$

де Q – сумарна сонячна радіація, кал/(см²·хв).

Сумарна сонячна радіація розраховується за формулою:

$$Q^i = 12,66(S^i)^{1,31} + 315(\sinh_n^j)^{2,1}, \quad (3.3.27)$$

де S – тривалість сонячного саява, год;

\sinh_n – полуденна висота Сонця.

Середня за світлий період доби температури повітря розраховується за формулою виду:

$$T_{Д} = a_1 T_{МАХ} + a_0, \quad (3.3.28)$$

де $T_{Д}$ і $T_{МАХ}$ – відповідна середня денна і максимальна температура повітря;

a_0, a_1 – емпіричні коефіцієнти.

Динаміка біомаси надземної і підземної частин рослин та окремих органів визначається з врахуванням потреб цих частин рослин в асимілятах.

Приріст маси вуглеводів та азоту розподіляється між надземною і підземною частинами рослин за допомогою таких рівнянь:

$$\frac{dmC(N)_{shoot}}{dt} = \left(-\beta_{root}^{mC(N)} \frac{dC(N)_{lab}}{dt} \right), \quad (3.3.29)$$

$$\frac{dmC(N)_{root}}{dt} = \beta_{root}^{mC(N)} \frac{dC(N)_{lab}}{dt}, \quad (3.3.30)$$

де $mC(N)_{shoot}$ і $mC(N)_{root}$ – кількість відповідно вуглеводів і азоту у надземній і підземній частинах рослин;

$\beta_{root}^{mC(N)}$ – функції розподілу вуглеводів і азоту у підземну частину рослин.

Розподіл структурообразуючих компонентів між надземними органами рослин та їх окремими частинами виконується за допомогою наступної системи рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{dmC(N)_{l_{func}}}{dt} &= \beta_l^{mC(N)} \frac{dmC(N)_{shoot}}{dt} - v^{C(N)} mC(N)_{l_{func}}; \\ \frac{dmC(N)_{l_{yel}}}{dt} &= \frac{dmC(N)_{l_{func}}}{dt} \frac{1}{K_{st}^{C(N)}} \text{ при } \frac{dmC(N)_{l_{func}}}{dt} < 0; \\ \frac{dmC(N)_{s_{gr}}}{dt} &= \beta_{s_{gr}}^{mC(N)} \frac{dmC(N)_{shoot}}{dt} - v_s^{C(N)} mC(N)_{s_{gr}}; \\ \frac{dmC(N)_{s_{yel}}}{dt} &= \frac{dmC(N)_{s_{gr}}}{dt} \frac{1}{K_{st}^{C(N)}} \text{ при } \frac{dmC(N)_{s_{gr}}}{dt} < 0; \end{aligned} \quad (3.3.31)$$

$$\frac{dmC(N)_{pfunc}}{dt} = \beta_{pfunc}^{mC(N)} \frac{dmC(N)_{shoot}}{dt} + v_l^{C(N)} mC(N)_{lfunc} + ;$$

$$+ v_s^{C(N)} mC(N)_{sgr} + v_r^{C(N)} mC(N)_{rfunc}$$

$$mC(N)_{prip} = mC(N)_{pfunc} k_{prip},$$

де

$mC(N)_{lfunc}, mC(N)_{lyel}, mC(N)_{sgr}, mC(N)_{sgr}, mC(N)_{syel}, mC(N)_{pfunc}, mC(N)_{prip}$ – кількість вуглеводів і азоту відповідно у функціонуючих та поживклих листях, зелених та поживклих стеблах, функціонуючих та дозріваючих репродуктивних органах;

$\beta_l^{mC(N)}, \beta_{sgr}^{mC(N)}, \beta_{pfunc}^{mC(N)}$ – функції розподілу вуглеводів та азоту в ростучі листя, зелені стебла, функціонуючі репродуктивні органи;

$v^{C(N)}$ – функції перетоку вуглеводів та азоту із листя, стебел та коріння при їх старінні.

Приріст маси окремого i -го органа або окремої його частини знаходиться як сума вуглеводів та азоту, що надійшли в цей орган:

$$\frac{dm_i}{dt} = \frac{dC_i}{dt} + \frac{dN_i}{dt}. \quad (3.3.32)$$

Приріст стебел у висоту визначається як

$$\frac{dh_s}{dt} = \frac{dm_s}{dt} \frac{1}{\rho_s \pi r_s^2} \frac{1}{N_s}, \quad (3.3.33)$$

де dh_s/dt – швидкість росту стебел у висоту;

dm_s/dt – приріст маси стебел;

ρ_s – питома щільність стебел;

r_s – радіус стебел;

N_s – кількість стебел на одну рослину.

При моделюванні старіння листя зроблено припущення, що поживкли листя відпадають всі відразу при закінченні вегетаційного періоду:

$$m_{l\,fal} = m_{l\,yel} \quad \text{при} \quad t = t_{end}^{gr.s.}, \quad (3.3.34)$$

де $m_{l\ fal}$ – маса опалого листя;

$t_{end}^{gr.s.}$ – термін закінчення періоду вегетації рослин.

При моделюванні кореневої системи приймається, що всі вуглеводи та азот, що надійшли у підземну частину рослин направляються у функціонуючі корені

$$\frac{dmC(N)_{r\ func}}{dt} = \frac{dmC(N)_{root}}{dt}, \quad (3.3.35)$$

де $mC(N)_{r\ func}$ – кількість вуглеводів та азоту у функціонуючих коренях.

Маса відмерлих коренів знаходиться за співвідношенням

$$m_{r\ mor} = \beta_{r\ mor} m_{r\ func}, \quad (3.3.36)$$

де $\beta_{r\ mor}$ – функція відмирання функціонуючих коренів рослин.

Ріст коренів у глибину і їхня щільність у ґрунті визначається рівняннями виду:

$$z_r = \frac{d_r m_r}{\rho_r} f_r, \quad (3.3.37)$$

$$\rho_r = \rho_r^{\max} \left(- e^{-d_r z} \right) \quad (3.3.38)$$

де z_r – нижня межа кореневої системи;

m_r – маса коренів;

ρ_r – щільність коренів у ґрунті;

ρ_r^{\max} – максимальна щільність коренів у ґрунті;

f_r – функція впливу фізико-механічних властивостей ґрунту на ріст коренів;

d_r, d_ρ – емпіричні параметри.

Динаміка площі асимілюючої поверхні листя описується системою рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dL}{dt} = \frac{dm_{l_func}}{dt} \frac{1}{\sigma_L} \\ \frac{dL}{dt} = \frac{dm_{l_func}}{dt} \frac{1}{\sigma_L k_s^l} \end{array} \right. \quad n_{pu} \quad \begin{array}{l} \frac{dm_{l_func}}{dt} \geq 0 \\ \frac{dm_{l_func}}{dt} < 0 \end{array}, \quad (3.3.39)$$

де $\frac{dL}{dt}$ – швидкість росту відносної площі поверхні листя;

σ_L – питома поверхнева щільність листя;

k_s^l – параметр, що характеризує частку життєдіяльних структур у загальній біомасі листя.

Приведена вище система рівнянь описує формування гідрометеорологічного режиму в системі ґрунт – рослина – атмосфера, основні процеси життєдіяльності рослин, їхній ріст та формування урожаю.

4. ВПЛИВ АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ НА ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЮ КАРТОПЛІ В ВІННИЦЬКІЙ ОБЛАСТІ

4.1 Вплив середньобагаторічних умов на формування врожаю картоплі в Вінницькій області

В даній главі, був проведений чисельний експеримент, по оцінці впливу середньобагаторічних умов на формування окремих органів рослини картоплі і формування урожайності картоплі в цілому стосовно до умов Вінницької області.

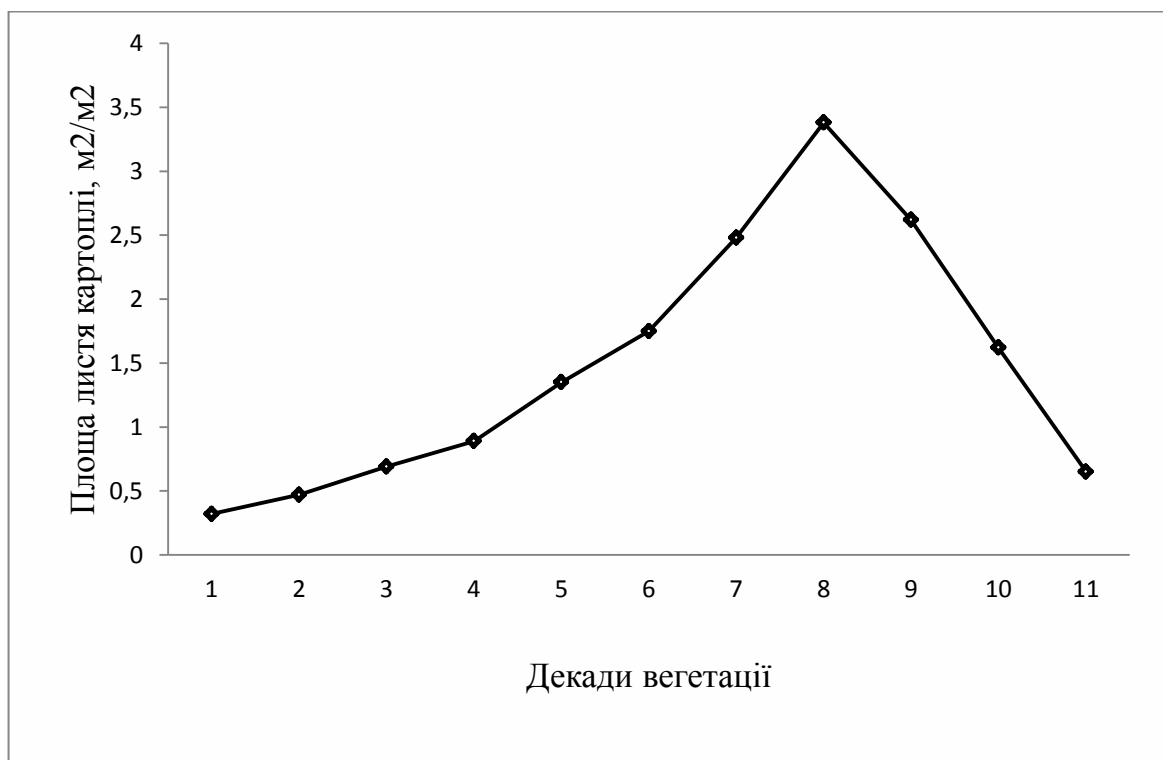


Рис 4.1.1 - Динаміка площі листя картоплі при середньобагаторічних умовах в Вінницькій області

На рис 4.1.1 зображена динаміка площі листя картоплі при середньобагаторічних умовах в Вінницькій області. З першої декади вегетації починається повільне збільшення площі листя картоплі аж до сьомої декади

вегетації, на яку припадає перший максимум, що становить $2,48 \text{ м}^2/\text{м}^2$. З сьомої до восьмої декади вегетації зміни площі листя картоплі майже не спостерігаються. А на восьму декаду вегетації припадає другий максимум, який дорівнює $3,38 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Перший мінімум припадає на першу декаду вегетації й дорівнює $0,32 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а другий припадає на одинадцяту декаду вегетації і становить $0,65 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

На рис 4.1.2 зображена динаміка сухої біомаси бульб картоплі при середньобагаторічних умовах в Вінницькій області.

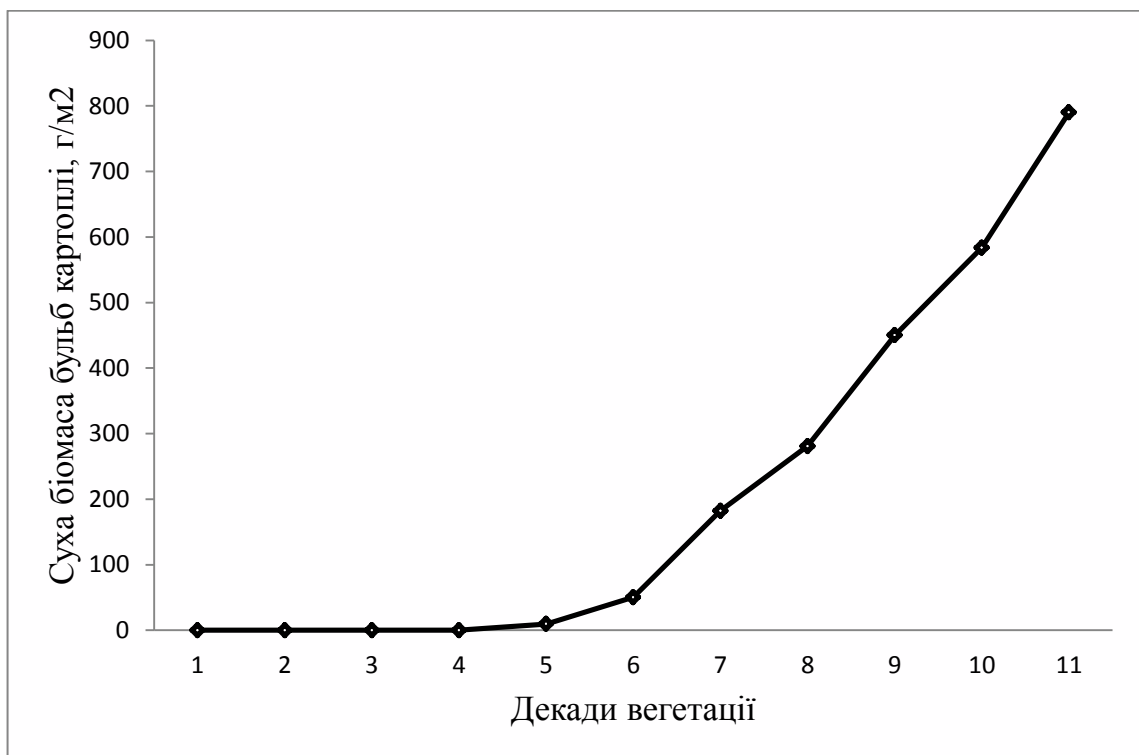


Рис 4.1.2 – Суха біомаса бульб картоплі при середньобагаторічних умовах в Вінницькій області

З рис 4.1.2 видно, що з першої по четверту декаду вегетації приріст сухої біомаси бульб картоплі не відбувається. З початком п'ятої декади вегетації відбувається повільний ріст біомаси бульб картоплі до шостої декади вегетації. А з початку шостої декади вегетації ріст біомаси бульб картоплі прискорюється. Тобто з шостої декади вегетації і до кінця одинадцятої декади вегетації спостерігаємо ріст бульб картоплі. І на кінець

одинадцятій декаді вегетації припадає максимум. Максимальне значення сухої біомаси бульб картолі дорівнює $789,9 \text{ г/м}^2$.

На рис 4.1.3 представлена інтенсивність фотосинтезу при середньобагаторічних умовах в Вінницькій області.

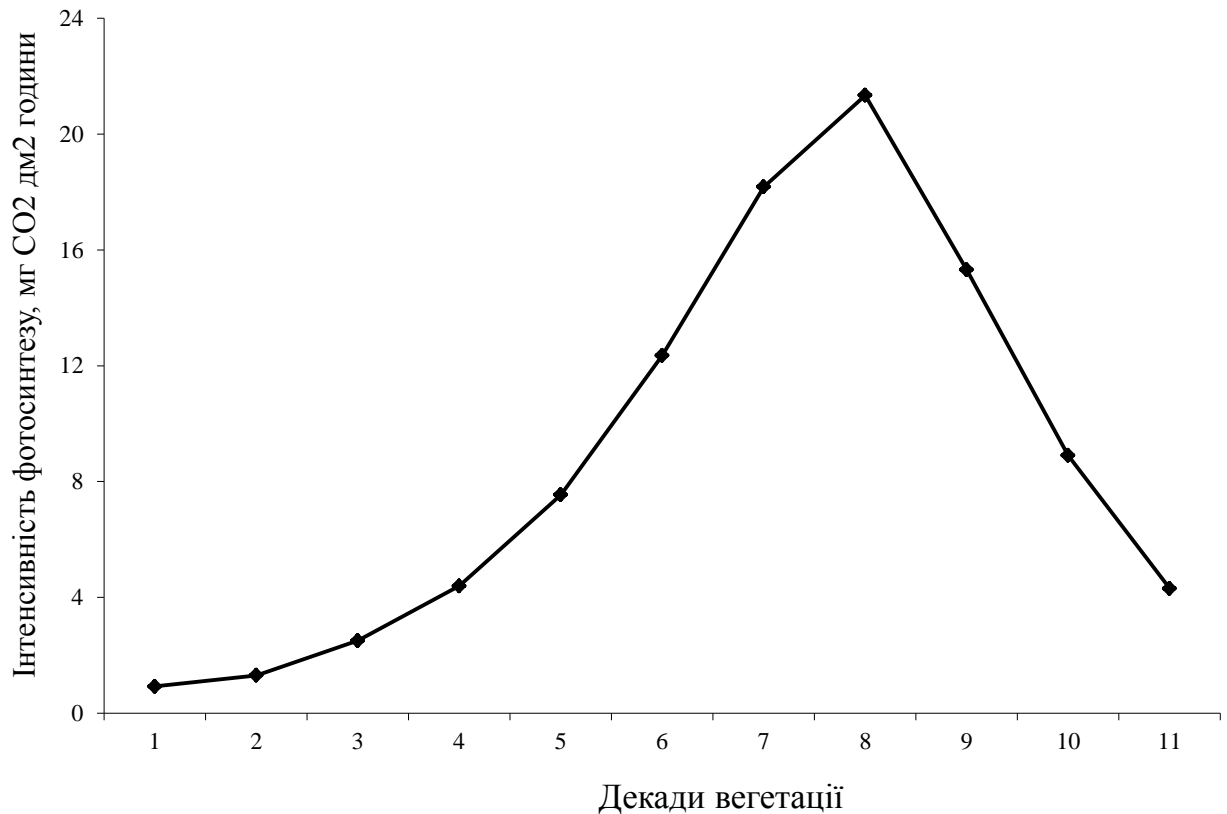


Рис 4.1.3 - Інтенсивність фотосинтезу при середньобагаторічних умовах в Вінницькій області

З рис 4.1.3 видно, що починаючи з першої декади вегетації спостерігається ріст інтенсивності фотосинтезу. Ріст відбувається до шостої декади вегетації. На цю ж декаду вегетації припадає максимальне значення інтенсивності фотосинтезу і дорівнює $21,3 \text{ мгСО}_2 / \text{дм}^2 \text{ година}$. А після шостої декади спостерігається повільний спад інтенсивності фотосинтезу аж до кінця одинадцятій декаді вегетації. Перший мінімум припадає на першу декаду вегетації й дорівнює $1 \text{ мгСО}_2 / \text{дм}^2 \text{ година}$, а другий мінімум припадає на кінець одинадцятій декаді вегетації і становить $4,1 \text{ мгСО}_2 / \text{дм}^2 \text{ година}$.

На рис 4.1.4 представлена динаміка сухої біомаси цілої рослини картоплі при середньобагаторічних умовах в Вінницькій області.

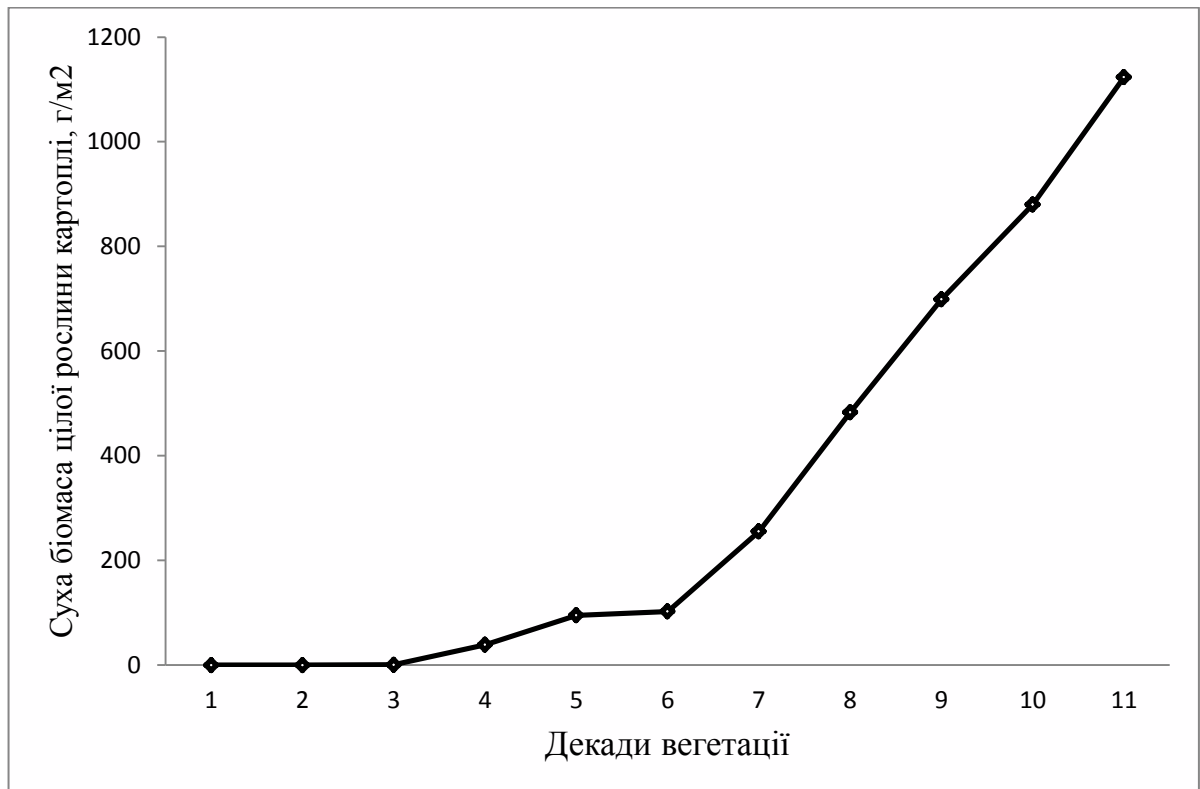


Рис 4.1.4 – Суха біомаса цілої рослини картоплі при середньобагаторічних умовах в Вінницькій області

Збільшення сухої біомаси цілої рослини картоплі відбувається з третьої декади вегетації і продовжується до одинадцятої декади вегетації. Суха біомаса цілої рослини картоплі збільшується поступово і до одинадцятої декади вегетації суша біомаса цілої рослини картоплі при середньобагаторічних умовах збільшується. Максимальне значення сухої біомаси цілої рослини картоплі спостерігається в одинадцяту декаду вегетації і складає 1123,8 г/м².

В таблиці 4.1.1 представлена суша біомаса листя, стебла та коріння при середньобагаторічних умовах в Вінницькій області. В першу декаду вегетації суша біомаса листя дорівнює 1,2 г/м², суша біомаса стебла складає 1,0 г/м², а суша біомаса коріння становить 0,8 г/м². В четверту декаду вегетації суша біомаса листя становить 25,5 г/м², суша біомаса стебла

дорівнює $24,7 \text{ г/м}^2$, а суха біомаса коріння дорівнює $14,7 \text{ г/м}^2$. В шосту декаду вегетації суха біомаса листя становить $84,3 \text{ г/м}^2$, суха біомаса стебла дорівнює $80,1 \text{ г/м}^2$, а суха біомаса коріння дорівнює $51,5 \text{ г/м}^2$. В сьому декаду вегетації суха біомаса листя становить $123,6 \text{ г/м}^2$, суха біомаса стебла дорівнює $123,2 \text{ г/м}^2$, а суха біомаса коріння дорівнює $78,9 \text{ г/м}^2$.

Таблиця 4.1.1 – Суха біомаса листя, стебла і коріння при середньобагаторічних умовах в Вінницькій області

Декади вегетації	Суха біомаса листя, г/м^2	Суха біомаса стебла, г/м^2	Суха біомаса коріння, г/м^2
1	1,2	1,0	0,8
2	6,5	5,5	4,4
3	11,8	13,3	8,2
4	25,5	24,7	14,7
5	46,7	45,3	27,8
6	84,3	80,1	51,5
7	123,6	123,2	78,9
8	127,3	125,3	81,2
9	118,8	114,5	72,9
10	107,5	103,5	68,1
11	98,8	93,1	59,8

Максимальні значення припадають на восьму декаду вегетації. Максимальна суха біомаса листя дорівнює $127,3 \text{ г/м}^2$, а суха біомаса стебла складає $125,3 \text{ г/м}^2$, і суха біомаса коріння становить $81,2 \text{ г/м}^2$. Після восьмої декади вегетації спостерігається зменшення сухої біомаси листя, стебел і коріння до кінця вегетації в Вінницькій області і в одинадцяту декаду вегетації суха біомаса листя дорівнює $98,8 \text{ г/м}^2$, а суха біомаса стебла складає $93,1 \text{ г/м}^2$, і суха біомаса коріння становить $59,8 \text{ г/м}^2$.

4.2 Вплив засушливих умов на формування врожаю картоплі в Вінницькій області

В даній главі, розглядається вплив засушливих умов на формування врожайності картоплі стосовно до умов Вінницької області. Був проведений чисельний експеримент з моделлю по оцінці впливу засушливих умов на формування окремих органів рослини картоплі і формування урожайності картоплі в цілому в Вінницькій області.

На рис. 4.2.1 представлена динаміка площі листя картоплі при впливі засушливих умов в Вінницькій області.



Рис 4.2.1 - Динаміка площі листя картоплі при впливі засушливих умов в Вінницькій області

Рис. 4.2.1 відображає динаміку площі листя при впливі засушливих умов в Вінницькій області. Максимум припадає на восьму декаду вегетації й дорівнює $1,59 \text{ м}^2/\text{м}^2$. З початком першої декади вегетації спостерігається ріст площі листя картоплі до восьмої декади вегетації, на восьму декаду вегетації декаду припадає максимум після чого йде повільний спад, тобто усихання

листя. Перший мінімум припадає на першу декаду вегетації й дорівнює $0,16 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а другий мінімум припадає на одинадцяту декаду вегетації й дорівнює $0,13 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

На рис. 4.2.2 зображена суха біомаса бульб картоплі при впливі засушливих умов в Вінницькій області.

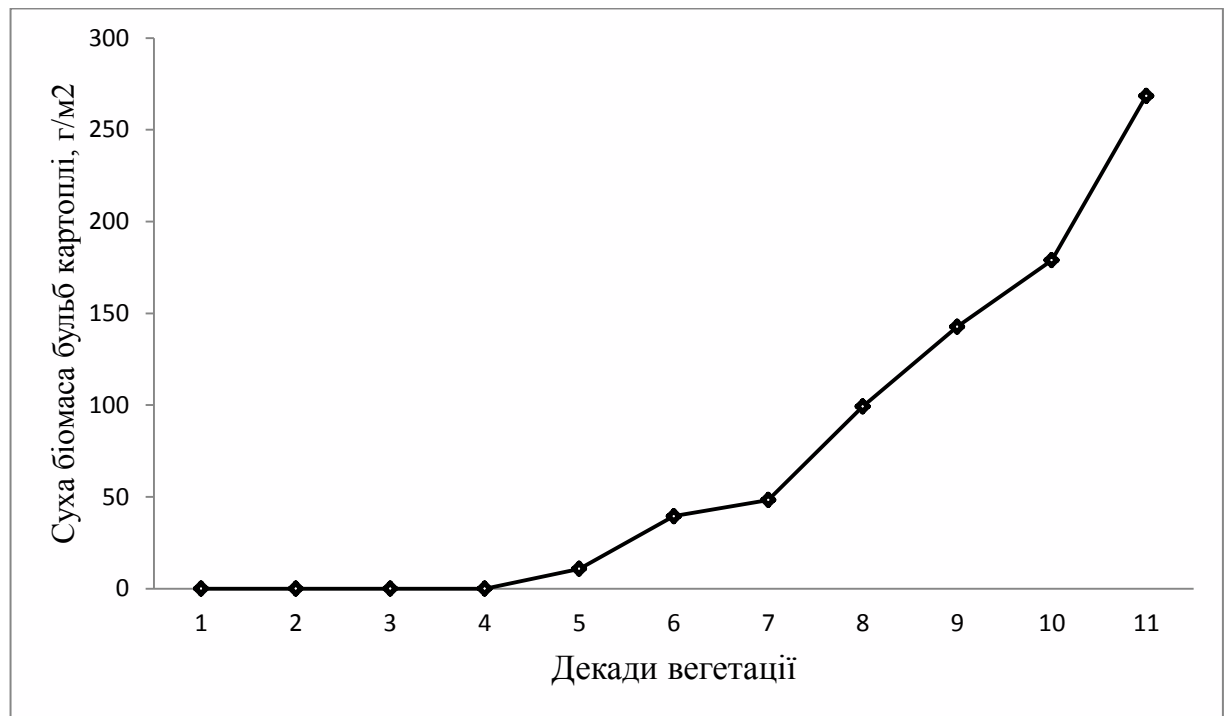


Рис 4.2.2 – Суха біомаса бульб картоплі при впливі засушливих умов в Вінницькій області

З рис. 4.2.2 видно, що біомаса бульб картоплі при впливі засушливих умов в Вінницькій області починає рости з п'ятої декади вегетації і набирає масу до одинадцятої декади вегетації. Максимальне значення сухої біомаси бульб картоплі спостерігається в одинадцяту декаду вегетації і максимум дорівнює $268,5 \text{ г}/\text{м}^2$.

На рис 4.2.3 представлена інтенсивність фотосинтезу при впливі засушливих умов в Вінницькій області.

З першої декади вегетації до кінця четвертої декади вегетації відбувається повільний ріст інтенсивності фотосинтезу, починаючи з п'ятої декади спостерігається пришвидшений ріст інтенсивності фотосинтезу до

сьомої декади вегетації, де спостерігається перший максимум, який дорівнює $18 \text{ мгСО}_2 / \text{дм}^2 \text{ година}$.

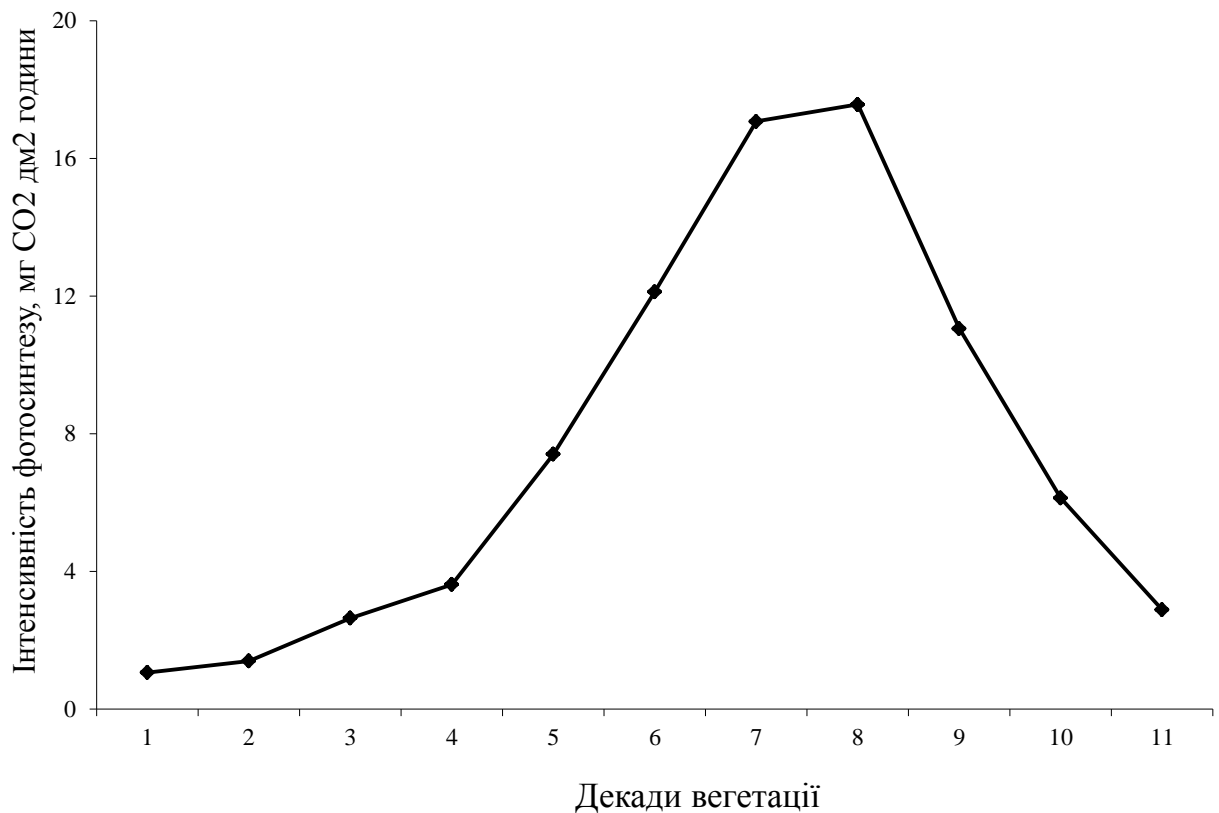


Рис 4.2.3 - Інтенсивність фотосинтезу при впливі засушливих умов в Вінницькій області

На восьму декаду вегетації припадає другий максимум інтенсивності фотосинтезу в Вінницькій області, що становить $18,8 \text{ мгСО}_2 / \text{дм}^2 \text{ година}$. Після другого максимуму відбувається різкий спад інтенсивності фотосинтезу. На першу і одинадцяту декади вегетації припадають мінімуми. В першій декаді вегетації він становить $1,05 \text{ мгСО}_2 / \text{дм}^2 \text{ година}$, а в одинадцяту декаду вегетації дорівнює $3 \text{ мгСО}_2 / \text{дм}^2 \text{ години}$.

На рис 4.2.4 представлена суха біомаса цілої рослини картоплі при впливі засушливих умов в Вінницькій області. Суха біомаса цілої рослини картоплі збільшується з третьої декади вегетації і збільшення сухої біомаси цілої рослини картоплі відбувається до одинадцятої декади вегетації.

З початком третьої декади вегетації спостерігається повільний ріст біомаси цілої рослини картоплі до шостої декади вегетації. А з шостої декади

вегетації ріст стає інтенсивнішим і до кінця одинадцятої декади спостерігається ріст біомаси цілої рослини картоплі. На одинадцяту декаду вегетації припадає максимальне значення. Максимальне значення сухої біомаси цілої рослини картоплі становить $547,8 \text{ г/м}^2$.

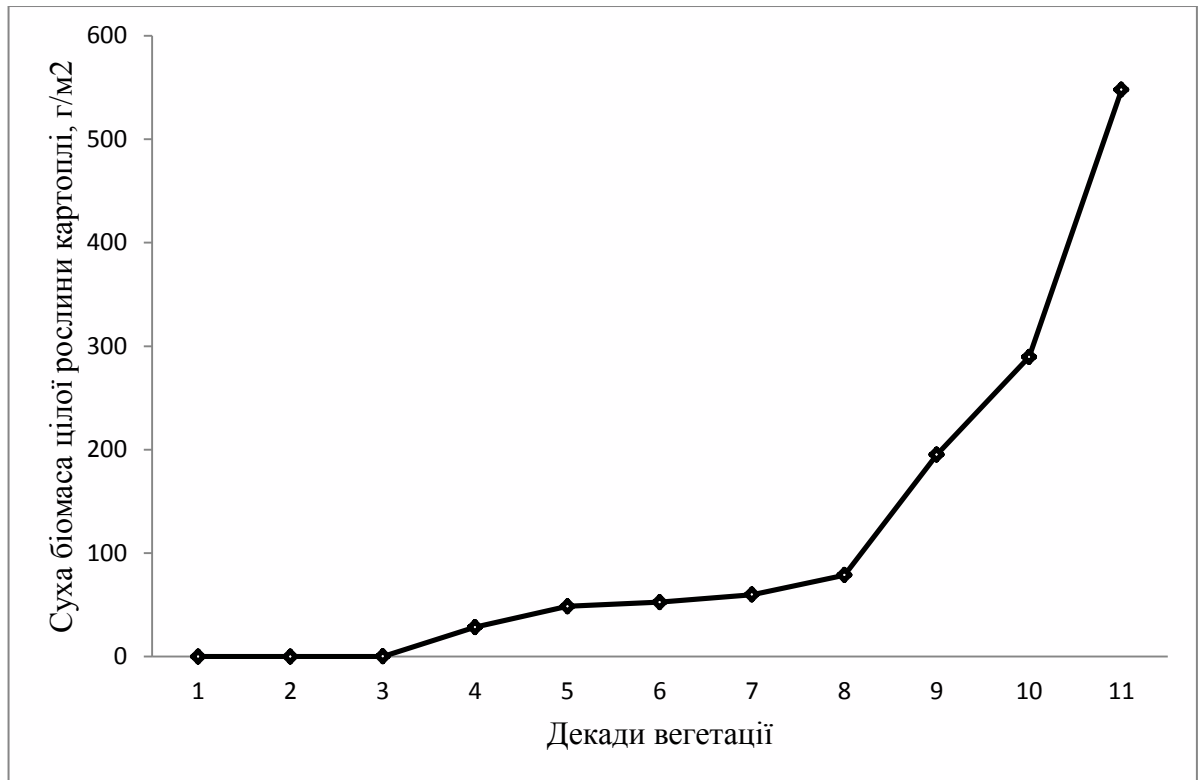


Рис 4.2.4 – Суха біомаса цілої рослини картоплі при впливі засушливих умов в Вінницькій області

В таблиці 4.2.1 представлена суха біомаса листя, стебла і коріння при впливі засушливих умов в Вінницькій області.

В першу декаду вегетації спостерігаються мінімальні значення сухої біомаси. Суха біомаса листя дорівнює $1,3 \text{ г/м}^2$, суха біомаса стебла становить $1,4 \text{ г/м}^2$, а суха біомаса коріння складає $0,8 \text{ г/м}^2$. В третій декаді вегетації суха біомаса листя становить $12,9 \text{ г/м}^2$, суха біомаса стебла $13,3 \text{ г/м}^2$ і суха біомаса коріння складає $9,3 \text{ г/м}^2$. В п'ятій декаді вегетації суха біомаса листя становить $46,0 \text{ г/м}^2$, суха біомаса стебла $44,2 \text{ г/м}^2$ і суха біомаса коріння складає $27,8 \text{ г/м}^2$. А максимальні значення сухої біомаси листя, стебел і

коріння припадають на сьому декаду вегетації. Максимальне значення сухої біомаси листя дорівнює $106,9 \text{ г/м}^2$, сухої біомаси стебел $104,1 \text{ г/м}^2$ і сухої біомаси коріння $68,3 \text{ г/м}^2$. Після сьомої декади вегетації суха біомаса листя, стебел та коріння зменшується і зменшення відбувається до одинадцятої декади вегетації. В дев'яту декаду вегетації суха біомаса листя становить $94,7 \text{ г/м}^2$, суха біомаса стебла $93,1 \text{ г/м}^2$ і суха біомаса коріння складає $60,7 \text{ г/м}^2$. В десяту декаду вегетації суха біомаса листя становить $87,5 \text{ г/м}^2$, суха біомаса стебла $85,2 \text{ г/м}^2$ і суха біомаса коріння складає $56,2 \text{ г/м}^2$. В одинадцяту декаду вегетації суха біомаса листя становить $80,9 \text{ г/м}^2$, суха біомаса стебел становить $77,4 \text{ г/м}^2$ і суха біомаса коріння становить $51,9 \text{ г/м}^2$.

Таблиця 4.2.1 – Суха біомаса листя, стебла і коріння при впливі засушливих умов в Вінницькій області

Декади вегетації	Суха біомаса листя, г/м^2	Суха біомаса стебла, г/м^2	Суха біомаса коріння, г/м^2
1	1,3	1,4	0,8
2	7,2	4,9	4,1
3	12,9	13,3	9,3
4	23,4	21,9	13,9
5	46,0	44,2	27,8
6	82,3	77,9	52,5
7	106,9	104,1	68,3
8	102,8	98,9	64,6
9	94,7	93,1	60,7
10	87,5	85,2	56,2
11	80,9	77,4	51,9

З даних таблиці 4.2.1 можна зробити висновок, що суха біомаса листя, стебла та коріння збільшуються до сьомої декади вегетації, а потім суха біомаса листя, стебла та коріння зменшується, максимальні значення сухої біомаси листя, стебла та коріння припадають на сьому декаду вегетації.

4.3 Вплив вологих умов на формування врожаю картоплі в Вінницькій області

В данній главі розглядається вплив вологих умов на формування врожайності картоплі стосовно до умов Вінницької області. Був проведений чисельний експеримент з моделлю по оцінці впливу вологих умов на формування окремих органів рослини картоплі і формування урожайності картоплі в цілому.

На рис 4.3.1, представлена динаміка площі листя картоплі при впливі вологих умов в Вінницькій області.



Рис 4.3.1 - Динаміка площі листя картоплі при впливі вологих умов в Вінницькій області

З рис. 4.3.1 видно, що площа листя картоплі збільшується починаючи з першої декади вегетації і по восьму декаду вегетації. Максимальне значення площі листя картоплі спостерігається в восьму декаду вегетації і максимум площі листя картоплі в восьму декаду вегетації становить

2,42 м²/м². Потім площа листя картоплі зменшується до одинадцятої декади вегетації і в одинадцяту декаду вегетації становить 0,32 м²/м².

На рис. 4.3.2 представлена суха біомаса бульб картоплі при впливі вологих умов в Вінницькій області.

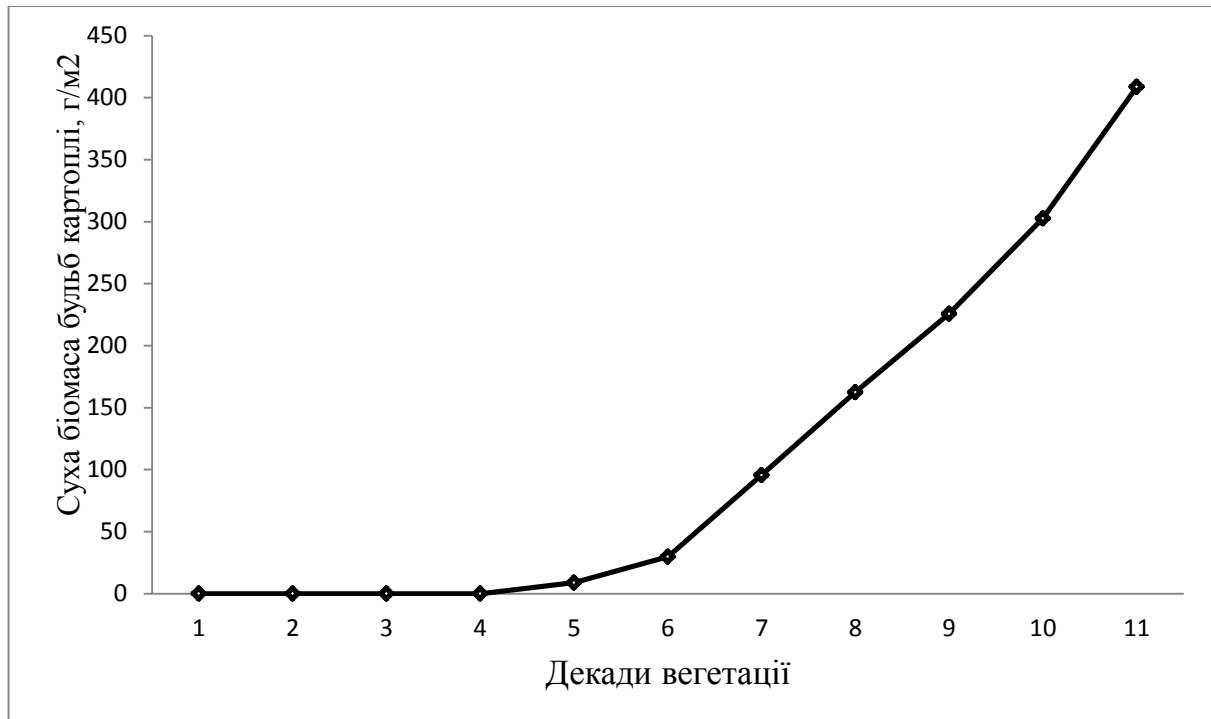


Рис 4.3.2 – Суха біомаса бульб картоплі при впливі вологих умов в Вінницькій області

З рис. 4.3.2 видно, що суха біомаса бульб картоплі при впливі вологих умов в Вінницькій області починає збільшуватися з п'ятої декади вегетації.

Суха біомаса бульб картоплі збільшується до одинадцятої декади вегетації, максимум сухої біомаси бульб картоплі при впливі вологих умов спостерігається в одинадцяту декаду вегетації і становить 408,7 г/м².

На рис. 4.3.3 представлена інтенсивність фотосинтезу при впливі вологих умов в Вінницькій області.

З першої по шосту декаду вегетації спостерігається повільний ріст інтенсивності фотосинтезу. А починаючи з сьомої декади вегетації

інтенсивність фотосинтезу збільшується до дев'ятої декади вегетації на яку припадає максимальне значення, яке дорівнює $15,9 \text{ мгСО}_2 / \text{дм}^2 \text{ година}$.

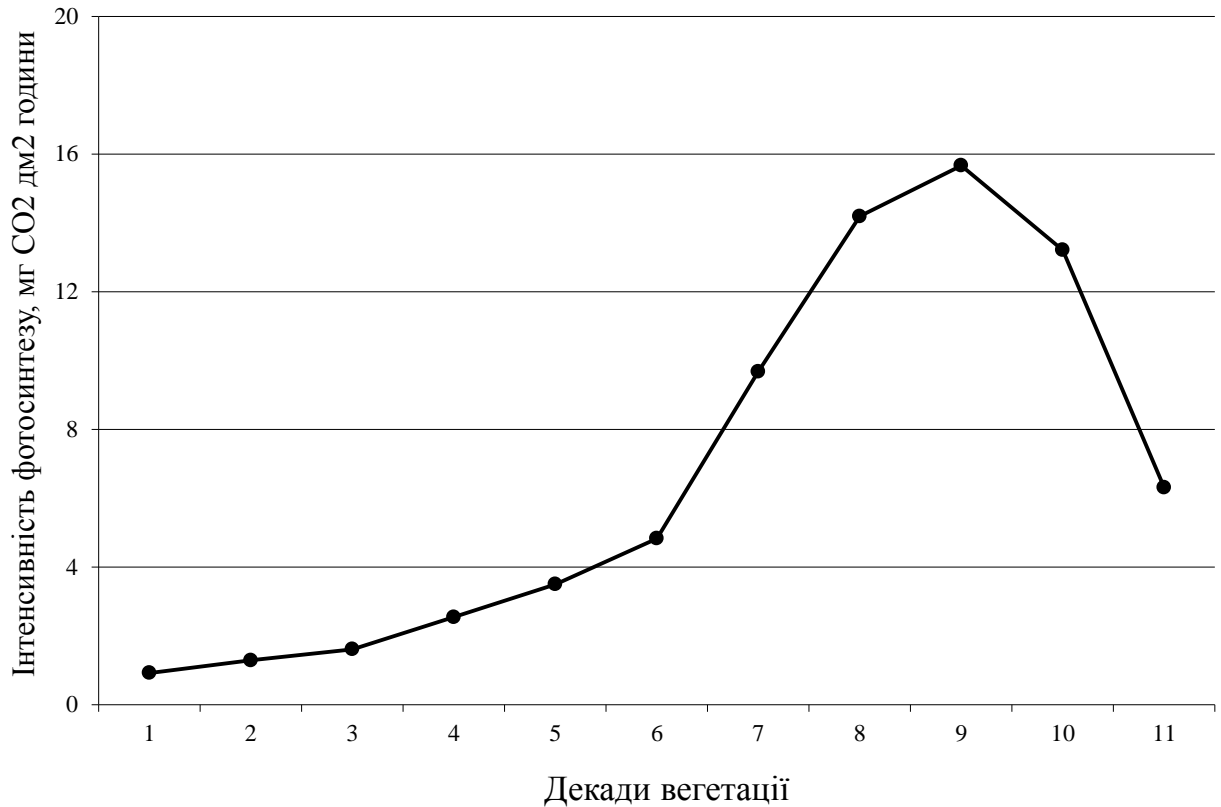


Рис 4.3.3 - Інтенсивність фотосинтезу при впливі вологих умов в Вінницькій області

Після дев'ятої декади вегетації інтенсивність фотосинтезу зменшується. З десятої декади вегетації спостерігається різкий спад до кінця одинадцятої декади вегетації. На цю ж декаду припадає мінімум, який становить $6,7 \text{ мгСО}_2 / \text{дм}^2 \text{ година}$. Також мінімальне значення припадає на першу декаду вегетації і дорівнює $1 \text{ мг СО}_2 / \text{дм}^2 \text{ година}$.

На рис. 4.3.4 представлена суха біомаса цілої рослини картоплі при впливі вологих умов в Вінницькій області.

З рис. 4.3.4 видно, що суха біомаса цілої рослини картоплі збільшується з третьої декади вегетації і до одинадцятої декади вегетації в Вінницькій області. Максимальне значення сухої біомаси цілої рослини картоплі спостерігається в одинадцяту декаду вегетації і становить $710,4 \text{ г/м}^2$.

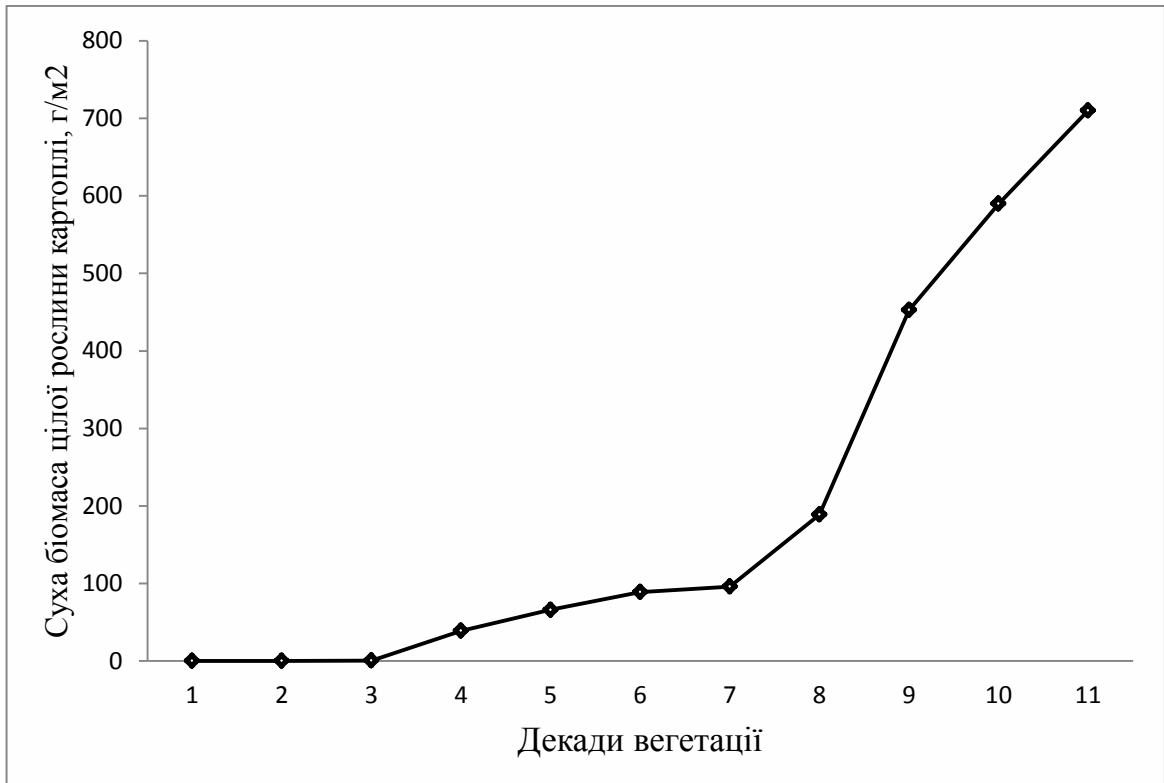


Рис 4.3.4 – Суша біомаса цілої рослини картоплі при впливі вологих умов в Вінницькій області

В таблиці 4.3.1 представлена суша біомаса листя, стебла і коріння при впливі вологих умов в Вінницькій області.

Таблиця 4.3.1 – Суша біомаса листя, стебла і коріння при впливі вологих умов в Вінницькій області

Декади вегетації	Суша біомаса листя, г/м ²	Суша біомаса стебла, г/м ²	Суша біомаса коріння, г/м ²
1	1,09	1,02	0,87
2	6,67	6,32	4,89
3	9,99	8,98	5,98
4	15,97	16,42	11,65
5	23,89	24,34	16,32
6	36,98	36,12	22,78
7	65,15	64,45	42,31
8	106,13	102,16	67,12
9	117,04	110,71	74,23
10	101,97	97,37	62,12
11	88,03	82,56	52,89

З таблиці 4.3.1 видно, що в першу декаду вегетації спостерігаються мінімальні значення сухої біомаси листя, стебла і коріння при впливі вологих умов в Вінницькій області. Суха біомаса листя в першу декаду вегетації дорівнює $1,09 \text{ г/м}^2$, суха біомаса стебла в першу декаду вегетації становить $1,02 \text{ г/м}^2$, а суха біомаса коріння в першу декаду вегетації складає $0,87 \text{ г/м}^2$. В п'ятій декаді вегетації суха біомаса листя, стебла і коріння збільшується і становить суха біомаса листя $23,89 \text{ г/м}^2$, суха біомаса стебла $24,34 \text{ г/м}^2$, суха біомаса коріння $16,32 \text{ г/м}^2$. А максимальні значення сухої біомаси листя, стебла і коріння припадають на дев'яту декаду вегетації. Максимальне значення сухої біомаси листя дорівнює $117,04 \text{ г/м}^2$, сухої біомаси стебла дорівнює $110,71 \text{ г/м}^2$ і сухої біомаси коріння дорівнює $74,23 \text{ г/м}^2$.

4.4 Порівняльна характеристика середньобогаторічних умов з засушливими та вологими умовами та їх вплив на формування врожаю картоплі в Вінницькій області

В даній главі був проведений чисельний експеримент, в якому оцінюється вплив засушливих і вологих умов на формування врожайності картоплі. В чисельному експерименті проведена порівняльна характеристика середньобогаторічних умов з засушливими і вологими умовами та представлений їх вплив на формування окремих органів рослини картоплі і формування урожайності картоплі в цілому стосовно до умов Вінницької області.

На рис 4.4.1 представлена, порівняльна характеристика динаміки площі листя картоплі при середньобогаторічних, засушливих та вологих умовах в Вінницькій області.

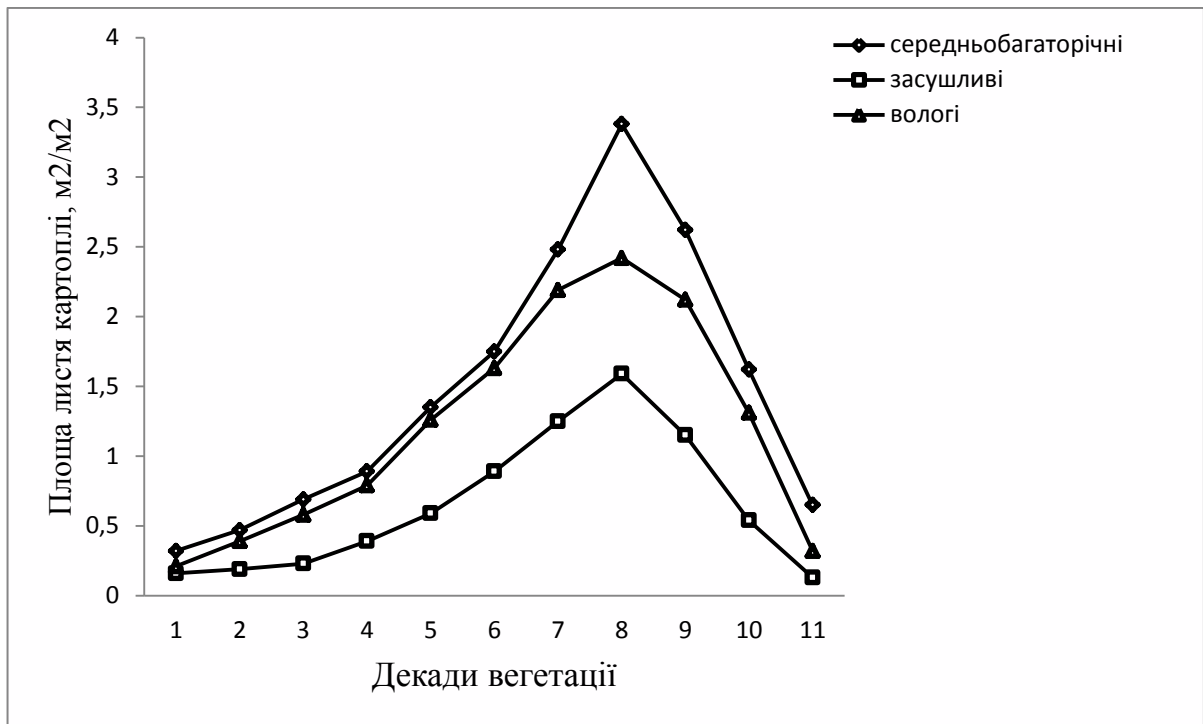


Рис 4.4.1 - Динаміка площі листя картоплі при середньобагаторічних, вологих та засушливих умовах в Вінницькій області

З рис. 4.4.1 видно, що при середньобагаторічних агрометеорологічних умовах площа листя картоплі значно вище, чим при впливі засушливих та вологих умов в Вінницькій області. Максимум площі листя картоплі при середньобагаторічних умовах складає $3,38 \text{ м}^2/\text{м}^2$, максимум площі листя картоплі при впливі засушливих умов складає $1,59 \text{ м}^2/\text{м}^2$, максимум площі листя картоплі при впливі вологих умов складає $2,42 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

З рис. 4.4.1, можна зробити висновок, площа листя картоплі значно менше при впливі засушливих і вологих умов, ніж при середньобагаторічних агрометеорологічних умовах в Вінницькій області.

На рис 4.4.2 представлена порівняльна характеристика сухої біомаси бульб картоплі при середньобагаторічних, вологих і засушливих умовах в Вінницькій області.

З рис. 4.4.2 видно, що при впливі вологих та засушливих умов, суха біомаса бульб картоплі була значно менше, ніж при середньобагаторічних агрометеорологічних умовах в Вінницькій області.

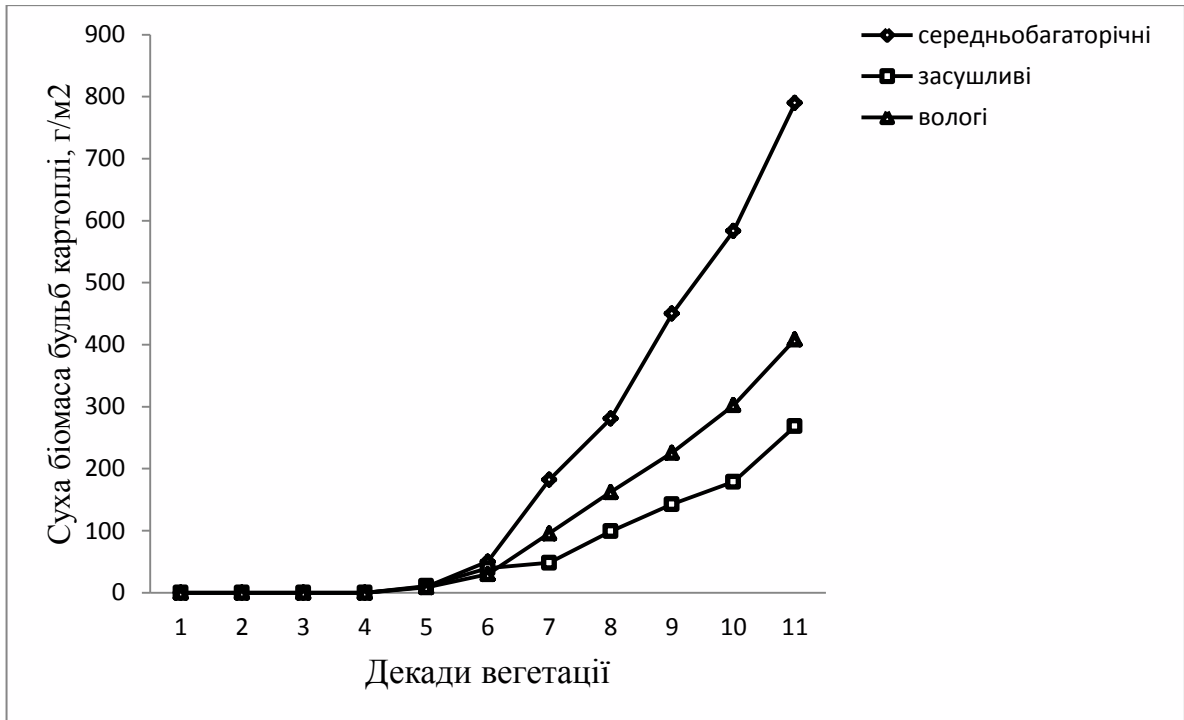


Рис 4.4.2 – Суха біомаса бульб картоплі при середньобагаторічних, вологих та засушливих умовах в Вінницькій області

Максимальне значення сухої біомаси бульб картоплі при впливі вологих умов дорівнює $408,7 \text{ г/м}^2$, а максимальне значення сухої біомаси бульб картоплі при впливі засушливих умов становить $268,5 \text{ г/м}^2$. При середньобагаторічних агрометеорологічних умовах максимальне значення сухої біомаси бульб картоплі складає $789,9 \text{ г/м}^2$.

З рис. 4.4.2 можна зробити висновок, що найбільша суха біомаса бульб картоплі спостерігається при середньобагаторічних агрометеорологічних умовах в Вінницькій області, при впливі засушливих і вологих умов суха біомаса бульб картоплі має значно менші значення.

На рис 4.4.3 представлена порівняльна характеристика сухої біомаси цілої рослини картоплі при середньобагаторічних, вологих та засушливих умовах в Вінницькій області.

З рис. 4.4.3 видно, що при вологих та засушливих умовах максимальні значення значно нижчі, ніж при середньобагаторічних агрометеорологічних умовах.

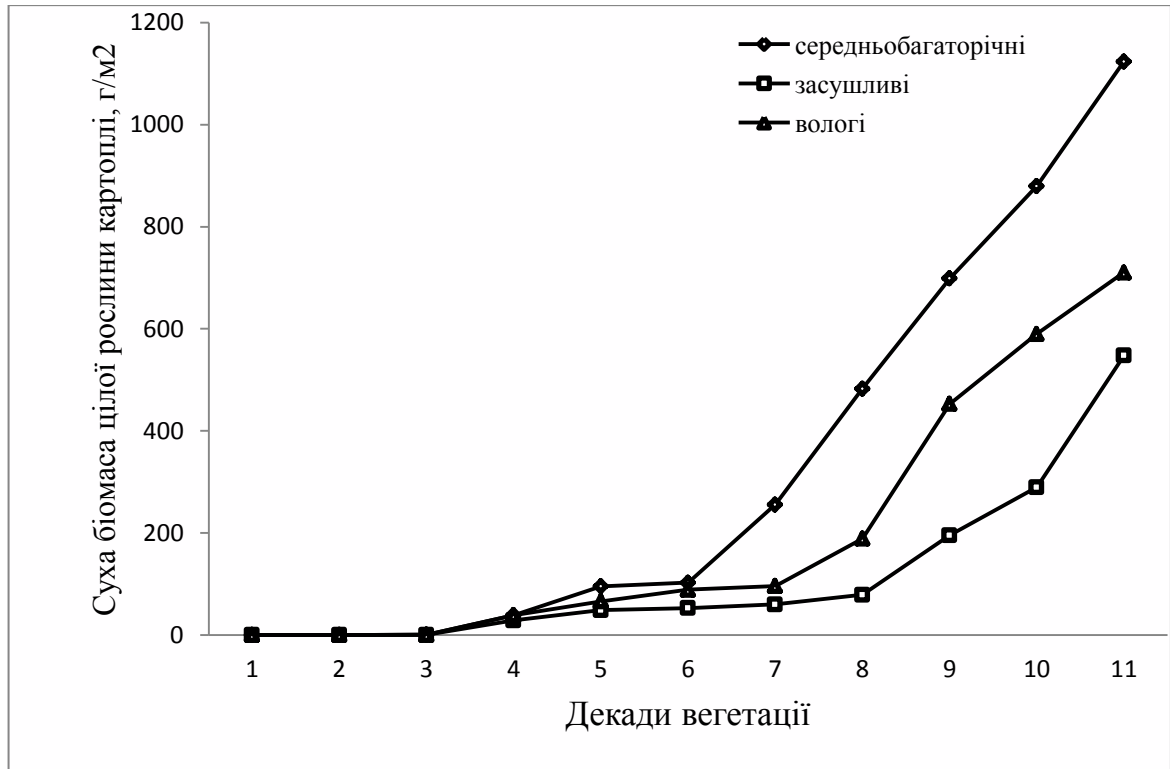


Рис 4.4.3 – Суха біомаса цілої рослини картоплі при середньобагаторічних, вологих та засушливих умовах в Вінницькій області

Максимальні значення сухої біомаси цілої рослини картоплі спостерігаються в одинадцяту декаду вегетації. Максимальні значення: при вологих умовах суха біомаса цілої рослини дорівнює $710,4 \text{ г/м}^2$, при засушливих умовах суха біомаса цілої рослини становить $547,8 \text{ г/м}^2$. Максимальне значення сухої біомаси цілої рослини картоплі при середньобагаторічних умовах і дорівнює $1123,8 \text{ г/м}^2$.

В таблиці 4.4.1 представлена порівняльна характеристика сухої біомаси листя, стебла і коріння при середньобагаторічних, вологих та засушливих агрометеорологічних умовах в Вінницькій області.

З таблиці 4.4.1 видно, що при середньобагаторічних агрометеорологічних умовах максимальна суха біомаса спостерігається в восьму декаду у листя, стебла і коріння. І відповідно дорівнює $127,3 \text{ г/м}^2$ суха біомаса листя, $125,3 \text{ г/м}^2$ суха біомаса стебла і $81,2 \text{ г/м}^2$ суха біомаса коріння.

При впливі засушливих умов в Вінницькій області максимальні значення сухої біомаси листя, сухої біомаси стебла і сухої біомаси коріння припадають на сьому декаду вегетації і дорівнюють, суха біомаса листя становить $106,9 \text{ г/м}^2$, суха біомаса стебла дорівнює $104,1 \text{ г/м}^2$, а суха біомаса коріння $68,3 \text{ г/м}^2$.

Таблиця 4.4.1 – Порівняльна характеристика сухої біомаси листя, стебла і коріння при середньобагаторічних, вологих та засушливих

Декади вегета- ції	Середньобагаторічні умови			Засушливі умови			Вологі умови		
	Суша біо- маса листя, г/м^2	Суша біо- маса стебла г/м^2	Суша біомаса коріння, г/м^2	Суша біо- маса листя, г/м^2	Суша біо- маса стебла г/м^2	Суша біомаса коріння, г/м^2	Суша біо- маса листя, г/м^2	Суша біо- маса стебла г/м^2	Суша біомаса коріння, г/м^2
1	1,2	1,0	0,8	1,3	1,4	0,8	1,1	1,0	0,8
2	6,5	5,5	4,4	7,2	4,9	4,1	6,7	6,3	4,8
3	11,8	13,3	8,2	12,9	13,3	9,3	9,9	8,9	5,9
4	25,5	24,7	14,7	23,4	21,9	13,9	15,9	16,4	11,6
5	46,7	45,3	27,8	46,0	44,2	27,8	23,8	24,3	16,3
6	84,3	80,1	51,5	82,3	77,9	52,5	36,9	36,1	22,7
7	123,6	123,2	78,9	106,9	104,1	68,3	65,1	64,4	42,3
8	127,3	125,3	81,2	102,8	98,9	64,6	106,1	102,1	67,1
9	118,8	114,5	72,9	94,7	93,1	60,7	117,1	110,7	74,2
10	107,5	103,5	68,1	87,5	85,2	56,2	101,9	97,3	62,1
11	98,8	93,1	59,8	80,9	77,4	51,9	88,1	82,5	52,8

агрометеорологічних умовах в Вінницькій області

Якщо порівняти суху біомасу листя, стебла і коріння при середньобагаторічних агрометеорологічних умовах з сухою біомасою листя,

стебла та коріння при впливі засушливих умов, то добре видно, що суха біомаса листя при впливі засушливих умов буде на $20,4 \text{ г/м}^2$ менше, а суха біомаса стебла буде на $21,2 \text{ г/м}^2$ менше, а суха біомаса коріння буде на $12,9 \text{ г/м}^2$ менше.

При впливі вологих умов максимальні значення сухої біомаси листя, стебла та коріння спостерігаються в дев'яту декаду вегетації і складають, суха біомаса листя $117,1 \text{ г/м}^2$, суха біомаса стебла $110,7 \text{ г/м}^2$, суха біомаса коріння $74,2 \text{ г/м}^2$.

Якщо порівняти суху біомасу листя, стебла і коріння при середньобагаторічних агрометеорологічних умовах з сухою біомасою листя, стебла та коріння при впливі вологих умов, то можна помітити, що суха біомаса листя, стебла та коріння при середньобагаторічних умовах не значно більше, так суха біомаса листя більше на $10,2 \text{ г/м}^2$, суха біомаса стебла більше на $14,6 \text{ г/м}^2$, а суха маса коріння на 7 г/м^2 .

З таблиці 4.4.1 можна зробити висновок, що при засушливих умовах в Вінницькій області суха біомаса листя, стебла і коріння буде значно менше, ніж при вологих та середньобагаторічних умовах.

ВИСНОВКИ

При виконанні дипломного проекту були отримані наступні основні результати:

1. Вивчені біологічні особливості картоплі і її вимоги до факторів навколишнього середовища.
2. Вивчена фізико-географічна і агрокліматична характеристика Вінницької області.
3. Освоєні методи кількісного опису дії температури повітря і вологозабезпеченості на формування врожаю картоплі.
4. Вивчена структура динамічної моделі формування врожаю картоплі.
5. В чисельних експериментах за допомогою розрахунків по моделі виконана оцінка дії агрометеорологічних умов на формування врожаю картоплі стосовно до умов Вінницької області.
6. За допомогою чисельних експериментів визначена площа листя картоплі (при середньобогаторічних умовах максимальна площа листя спостерігалася в восьму декаду вегетації й склала $3,38 \text{ м}^2/\text{м}^2$; при впливі засушливих умовах площа листя склала $1,59 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а при впливі вологих умов – $2,42 \text{ м}^2/\text{м}^2$).
7. За допомогою чисельних експериментів визначена суха біомаса бульб картоплі (при впливі засушливих умов максимум припадає на одинадцяту декаду вегетації і дорівнює $268,5 \text{ г}/\text{м}^2$, при впливі вологих умов максимум становить $408,7 \text{ г}/\text{м}^2$, а при середньобогаторічних умовах максимум становить $789,9 \text{ г}/\text{м}^2$).
8. За допомогою чисельних експериментів визначена інтенсивність фотосинтезу (максимум зафіксовано в восьму декаду вегетації й складає $21,3 \text{ мгСО}_2/\text{дм}^2$ година, при середньобогаторічних умовах, при впливі засушливих умов інтенсивність фотосинтезу становить $18,0 \text{ мгСО}_2/\text{дм}^2$ година, а при впливі вологих умов дорівнює $15,9 \text{ мгСО}_2/\text{дм}^2$ година).

9. За допомогою чисельних експериментів визначена суха біомаса цілої рослини картоплі ($1123,8 \text{ г/м}^2$ в одинадцяту декаду вегетації при середньобогаторічних умовах, $547,8 \text{ г/м}^2$ в одинадцяту декаду вегетації при впливі засушливих умов, і максимум при впливі вологих умов склав $710,4 \text{ г/м}^2$ в одинадцяту декаду вегетації).

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Агроклиматический справочник или справочник агроклиматических ресурсов Винницкой области. – Л.: Гидрометеиздат, 1965-1990 гг.
2. Агрохимия. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.:Колос, 1984. -304с. под ред. Смирнов П.М., Муравин Э.А.
3. Аксьонова Л. А. Картопля// Географія. 2000. - № 43. - с. 1-2.
4. Анісімов Б.В. Картопля 2000 - 2005: підсумки й прогнози // Картопля й овочі. - 2001. - № 1.- с. 2-3.
5. Бей-Биенко Г.Я. Общая энтомология. –М.: Высшая школа, 1980. – с.416.
6. Бихеле З.Н., Молдау Х.А., Росс Ю.К. Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке почвенной влаги – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – с. 223.
7. Бондлендер Б.А. Влияние температуры, солнечной радиации и фотопериода на развитие растений и урожая // Рост и развитие картофеля. – М., 1966.
8. Бордукова М.В. Болезни и вредители картофеля. –М.: Сельхозгиз, 1955.
9. Бульба: Енциклопедичний довідник по вирощуванню, зберіганню, переробці й використанню картоплі/ Білорус. Сов. Энцикл. - Мн.: Белсэ, 1988. - 570 с.
10. Васильев С.В., Поляков И.Я., Саулич М.И., Сергеев Г.Е. Алгоритм решения задач прогнозирования многофакторного процесса динамики численности популяции // Труды ВИЗР. – 1975. –Вып. 50. –с. 139-165.
11. Васильев С.В., Поляков И.Я., Сергеев Г.Е. Теория и методы использования моделирования и ЭВМ в защите растений // Труды ВИЗР. – 1973. –Вып. 39. –с. 61-119.

12. Вольвач В.В. Агроклиматическая оценка условий развития и вредоносности колорадского жука на ЕТС. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – с.12.
13. Гудзенко П. А. Історія міст і сіл Української РСР.К – : Київ1972. – с. 138.
14. Джеймс В. Дыхание растений. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1956. – с. 439.
15. Закржевский П.И. Методика расчета влияния динамики влагозапасов на урожай пропашных сельскохозяйственных культур // Мелиорация и освоение земель. -1973. –Т. 105. -с.40 – 45.
16. Куперман И.А., Хитрово Е.В. Дыхательный газообмен как элемент продукционного процесса растений. – Новосибирск: Наука, 1977. – с. 181.
17. Лорх А.Г. Динамика накопления урожая картофеля. –М.: Сельхозгиз, 1948. – с. 191.
18. Лорх А.Г. О картофеле. –М.: Сельхозгиз, 1960. – с. 151.
19. Максаковский В. П. Географічна картина світу: В 2 кн. Кн. 1: Загальна характеристика світу. - М.: Дрохва, 2003. - 495 с.
20. Максимович М.М. О методах и приемах улучшения семенного картофеля // Картофель, 1962.
21. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 11, ч. 1. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – с. 316.
22. Пеннинг де Фриз Ф.В.Г., Ван Лаар Х.Х. Моделирование роста и продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеоздат, 1988. – с. 319.
23. Писарев Б. А. Книга о картофеле.- М.: Московский рабочий, 1977. – с. 232.
24. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. –Л.: Гидрометеоздат, 1983. – с. 286.

25. Полуэктов Р.А., Пых Ю.А., Швытов Н.А. Динамические модели экологических систем. –Л.: Гидрометеиздат, 1981. – с. 286.
26. Поляков И.Я., Семенов А.Я. Научные и организационные проблемы прогнозов в защите растений // Экологические основы стратегии и тактики защиты растений. –Л.: Гидрометеиздат, 1979. –с. 17-29.
27. Сладкова А.Н. Плоди землі. - М.: Мир, 1979. – с. 467.
28. Смирнов А. Мир рослин. - М.: Молода гвардія, 1981. – с. 238.
29. Физиология сельскохозяйственных растений. –М.: Изд-во МГУ, 1971, т. 12. – с. 371.
30. Франк Дж., Торнли Дж Х. М. Математические модели в сельском хозяйстве. – М.: Агропромиздат, 1987. –с. 399.
31. <http://disser.com.ua>