

ВПЛИВ АГРОКЛІМАТИЧНИХ УМОВ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ ПРИ ЗМІНІ КЛІМАТУ В СХІДНОМУ СТЕПУ УКРАЇНИ

За допомогою моделей продуктивного процесу рослин надана оцінка фотосинтетичної продуктивності та коливання врожайності кукурудзи на сході України. Розроблено рекомендації щодо адаптації технологій вирощування кукурудзи та поліпшення умов формування її продуктивності в умовах зміни клімату

Ключові слова: клімат, тепло забезпеченість, вологозабезпеченість, кукурудза, фотосинтез, продуктивність, урожай.

Вступ. У зв'язку з очікуваним подальшим потеплінням клімату Північної півкулі продовольча безпека України в значній мірі буде залежати від того, наскільки ефективно адаптується сільське господарство до майбутніх змін клімату. Це передбачає завчасну оцінку впливу очікуваних змін клімату на агрокліматичні умови вирощування сільськогосподарських культур.

Сучасне потепління зумовить значну зміну агрокліматичних умов росту, розвитку та формування продуктивності сільськогосподарських культур. Воно супроводжуватиметься підвищенням температури повітря у зимові місяці, збільшенням кількості тривалих відлиг, часовим зрушенням розвитку природних процесів, змінами тривалості сезонів року, подовженням безморозного періоду та тривалості вегетаційного періоду сільськогосподарських культур, збільшенням теплозабезпеченості вегетаційного періоду, деяким покращенням вологозабезпеченості майже усіх зон України. Можливе зростання частоти екстремальних погодніх явищ, загальне зниження вологості ґрунтів та зменшення їхньої родючості, виснаження ресурсів прісної води у південних регіонах країни, деградація ґрунтів. Разом з тим, основною особливістю потепління стане нерівномірність випадіння опадів за окремі періоди року, що призведе до збільшення посушливих явищ. Посухи нерідко співпадатимуть з суховіями, спричиняючи пошкодження рослин у різних фазах розвитку та зменшуючи їхню продуктивність.

Важливим чинником підвищення ефективності сільського господарства України в умовах зміни клімату є науково обґрунтоване розміщення посівних площ сільськогосподарських культур з врахуванням кліматичних змін, адаптація рослинництва до цих змін, що дозволить найбільш ефективно використовувати природні ресурси в нових кліматичних умовах, добиватися стійкого зростання величини і якості урожаю, підвищувати віддачу сировинних, енергетичних і трудових ресурсів [1-2].

Матеріали і методи досліджень. Для оцінки змін агрокліматичних ресурсів при можливих змінах клімату було використано сценарій зміни клімату в Україні – A1B, найбільш вірогідний на період до 2050 року, регіональну кліматичну модель MPI-M-REMO, глобальну модель – ECHAM5-r3 [1,3].

Аналіз тенденції зміни клімату виконано шляхом порівняння даних за кліматичним сценарієм та середніх багаторічних характеристик кліматичних та агрокліматичних показників за три періоди: 1970 – 2010 рр. (базовий період), 2011 – 2030 рр. (перший сценарний період), 2031 – 2050 рр. (другий сценарний період).

Для кукурудзи на фоні зміни кліматичних умов за перший та другий періоди розглядалися такі варіанти: кліматичні умови періоду; кліматичні умови періоду + збільшення CO₂ в атмосфері (для першого періоду з 380 до 470 ppm, для другого

періоду з 380 до 520ppm); кліматичні умови періоду + збільшення CO₂ + N₄₀; кліматичні умови періоду + збільшення CO₂ + внесення добрив в дозах N₈₀.

Як теоретична основа для виконання розрахунків та порівняння результатів була використана модель формування продуктивності агро екосистеми, розроблена А.М.Польовим [2].

Ідентифікація моделі формування урожайності кукурудзи виконана на основі матеріалів агрометеорологічних спостережень метеорологічних станцій Луганської області та матеріалів середньої по області врожайності кукурудзи.

Результати досліджень та їх аналіз. Строки сівби кукурудзи в умовах зміни клімату змістяться на більш ранні терміни на 6 днів від базового періоду (табл.1). Відповідно до цього раніше сформуються сходи, відбудеться настання викидання волоті (на 3-6 днів) і настання воскової стиглості (на 7 днів). Загалом же тривалість вегетаційного періоду залишиться майже незмінною.

Таблиця 1 - Фази розвитку кукурудзи

Період, роки	Посів	Сходи	9-й листок	Викидання волоті	Воскова стиглість	Тривалість вегетаційного періоду
1970-2010	7.V	21.V	18.VI	16.VII	3.IX	119
2011-2030	1.V	15.V	13.VI	11.VII	27.VIII	118
Різниця	-6	-6	-5	-5	-7	-1
2031-2050	1.V	16.V	15.VI	13.VII	27.VIII	118
Різниця	-6	-5	-3	-3	-7	-1

В період від сівби до викидання волоті ріст та розвиток кукурудзи буде відбуватись у 2011-2030 рр та у 2031—2050 рр. при зниженому на 0,7 °C температурному режимі (табл. 2).

Таблиця 2 - Агрокліматичні умови вирощування кукурудзи

Період, роки	Період посів – викидання волоті			Період викидання волоті – воскова стиглість			Весь вегетаційний період		
	середня температура, °C	сума температур, °C	сума опадів, мм	середня температура, °C	сума температур, °C	сума опадів, мм	середня температура, °C	сума температур, °C	сума опадів, мм
1970-2010	19,0	1334	135	21,3	1044	72	20,0	2378	207
2011-2030	18,3	1298	132	21,1	993	76	19,4	2291	210
Різниця	-0,7	-36	-3%	-0,2	-51	+6%	-0,6	-87	+1%
2031-2050	18,3	1338	146	22,2	1000	60	19,8	2338	206
Різниця	-0,7	+4	+8%	+0,9	-44	-17%	-0,2	-40	-0

Кількість опадів в I-й період зменшиться на 3 %, а в II-й період зросте до 146 мм в порівнянні з базовим періодом (135 мм).

В період викидання волоті – воскова стиглість у I-й період температура повітря буде нижчою від базового періоду на 0,2 °С, а у II-й період вона зросте на 0,9 °С. Кількість опадів у цей міжфазний період для I-го періоду збільшиться на 6 % в порівнянні з базовим періодом, а для II-го періоду буде характерним зменшення кількості опадів на 17 % від кількості опадів базового періоду.

За період вегетації кукурудзи збільшиться випаровуваність, сумарне випаровування та транспірація (табл. 3). В період 2011-230 рр. сумарне випаровування зросте з 264 до 327 мм (на 24 %). Таким же буде збільшення сумарного випаровування і в період 2031 – 2050 рр. Витрати вологи на транспірацію зростуть з 142 мм до 179–181 мм.

Коефіцієнт зволоження ГТК в I-й період зросте з 0,90 до 1,02, а в II-й період суттєво зменшиться до 0,84.

Таблиця 3 - Характеристика водного режиму вегетаційного періоду кукурудзи

Період	Сумарні витрати за вегетацію, мм					Середній ГТК	Вологозабезпеченість за період, %		
	випаровуваність, мм	випаровування, мм	транспірація, від. од.	випаровування з поверхні ґрунту, мм	дефіцит випаровування, мм		сходи–викидання волоті	викидання волоті–воскова стиглість	весь період
1970 –2010	440	264	142	122	176	0,9	65,4	54,6	61,1
2011 –2030	514	327	181	146	187	1,02	70,9	58,1	65,8
Різниця	+17%	+24%	+28%	+20%	+6%	+0,12	+5,5	+3,5	+4,7
2031 –2050	513	326	179	147	187	0,84	70,3	55,5	66,2
Різниця	+16%	+24%	+27%	+20%	+6%	-0,06	+4,9	+0,9	+5,1

Вологозабезпеченість посівів кукурудзи буде нерівномірною протягом всього періоду вегетації. У міжфазний період сівба – викидання волоті вологозабезпеченість покращиться з 65,4 % до 70,3 – 70,9 %, в той час як у період викидання волоті – воскова стиглість вона трохи підвищиться в порівнянні з базовим періодом, але її рівень буде відносно невисоким (55,5 – 58,1 %). В цілому за вегетацію вологозабезпеченість покращиться з 61,1 % до 65,8 – 66,2%.

Під впливом зміни агрокліматичних умов вирощування кукурудзи, які розглянуто вище, відбудеться зміна показників фотосинтетичної продуктивності культури, до яких в першу чергу відноситься площа асимілюючої поверхні посівів (рис.1).

Як видно з даних рис. 1а, в період 2011 – 2030 рр. площа листової поверхні найбільш інтенсивно зростатиме в 5 – 6-ту декади вегетації, коли збільшення тільки за рахунок зміни кліматичних умов сягатиме 0,9 – 1,1 м²/м² за декаду.

Для II-го періоду рівень інтенсивності фотосинтезу на початку вегетації за рахунок зміни кліматичних умов збільшиться на 0,4 – 0,7 мг СО₂/(дм²·год) порівняно з базовим. періодом (рис. 1 б) .

Зростання вмісту СО₂ в атмосфері до 470 ррпм зумовить ще більші темпи формування листової поверхні. Площа листової поверхні в період її максимального розвитку збільшиться з 3,09 до 4,07 м²/м². Це свідчить про те , що покращаться умови вегетації, на які рослини реагують в першу чергу збільшенням площі листя.

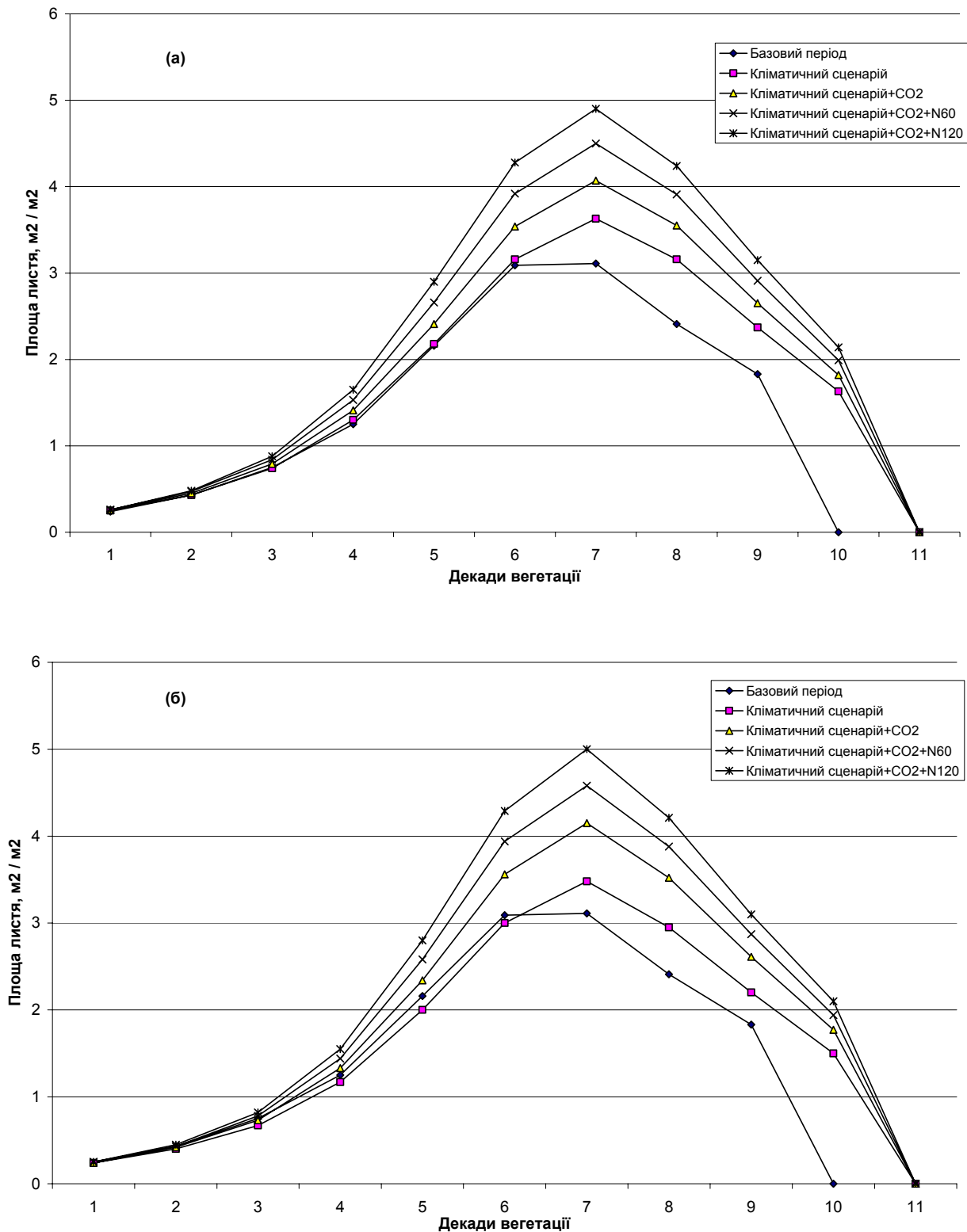


Рис.1 - Динаміка відносної площі листової поверхні кукурудзи в умовах зміни клімату в порівнянні з базовим періодом за сценаріями: на 2011 – 2030 рр. (а); на 2031– 2050 рр. (б)

Так, внесення азотних добрив в дозі 60 кг (д.р.)/га спричинить до зростання темпу наростання листя до 1,1–1,3 м²/ (м²·за-декаду) в період максимального росту.

При внесенні азотних добрив в дозі 120 кг (д.р.)/га максимальна площа листя буде сягати 4,90 м²/м². Фотосинтетичний потенціал посівів збільшиться при внесенні добрив на 70 – 84 % у порівнянні з базовим періодом (табл. 4).

Таблиця 4 - Фотосинтетична продуктивність кукурудзи

Період, роки	Варіант	Період максимального росту		Фотосинтетичний потенціал посівів, м ² /м ² за вегетаційний період	Урожай, ц/га
		площа листкової поверхні, м ² /м ²	приріст загальної сухої біомаси, г/(м ² ·за день)		
1970-2010	Базовий	3,11	17,81	136,91	26,1
2011-2030	Клімат	3,63	19,02	190,85	33,2
	Клімат + CO ₂	4,07	21,64	212,20	37,7
	Клімат + CO ₂ +N ₆₀	4,50	23,81	232,98	41,4
	Клімат + CO ₂ +N ₁₂₀	4,90	25,74	252,22	44,7
2031–2050	Клімат	3,48	18,50	178,01	31,8
	Клімат + CO ₂	4,15	22,57	210,88	38,7
	Клімат + CO ₂ +N ₆₀	4,58	24,83	229,71	42,5
	Клімат + CO ₂ +N ₁₂₀	4,99	26,84	248,66	45,9

Кліматичні умови періоду 2031 – 2050 рр. зумовлять дещо менш швидкий темп наростання асимілюючої поверхні посівів кукурудзи в порівнянні з базовим періодом (рис. 2). При підвищенні вмісту CO₂ в атмосфері до 520 ppm відбуватиметься більш стрімке наростання листкової поверхні і в період максимального розвитку вона становитиме 4,15 м²/м², що в 1,3 рази більше ніж в базовий період. Внесення азотних добрив в дозах N₄₀ і N₁₂₀ зумовить суттєве зростання площі листя, розміри якої відповідно сягатимуть 4,58 та 5,0 м²/м² (табл. 5). При цьому значно зросте фотосинтетичний потенціал посівів, який складатиме відповідно 168 та 182 % від базового періоду.

За рахунок зміни кліматичних умов у I-ому періоді буде спостерігатись підвищення фотосинтезу в перші п'ять декад вегетації в порівнянні з базовим періодом на 0,2 – 0,4 мг CO₂/(дм²·год). (рис. 2а).

Підвищення CO₂ призведе до збільшення різниці в інтенсивності фотосинтезу, яка буде на 0,6 – 0,8 мг CO₂/(дм²·год). перевищувати базову. Внесення добрив підвищить рівень інтенсивності фотосинтезу в період його максимальних значень до 8,7 – 8,9 мг CO₂/(дм²·год). в порівнянні з базовим періодом 7,9 мг CO₂/(дм²·год).

За умов збільшення вмісту CO₂ в атмосфері з 380 до 470 ppm, підвищиться рівень інтенсивності фотосинтезу посівів в декаду з його максимальними значеннями з 7,9 до 8,8 мг CO₂/(дм²·год).

При внесенні добрив рівень інтенсивності фотосинтезу підвищиться до 9,1 – 9,4 мг CO₂/(дм²·год),

Така динаміка площі асимілюючої поверхні та інтенсивності фотосинтезу зумовить і відповідний рівень динаміки загальної сухої біомаси посівів (рис. 3.).

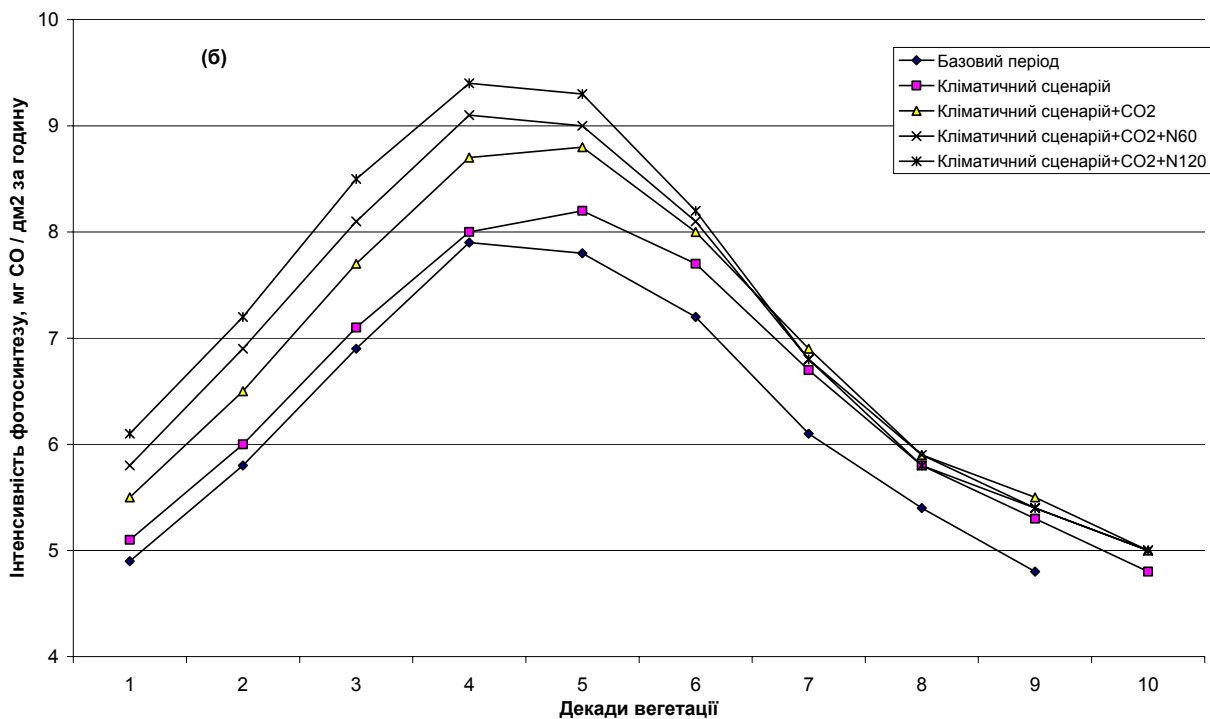
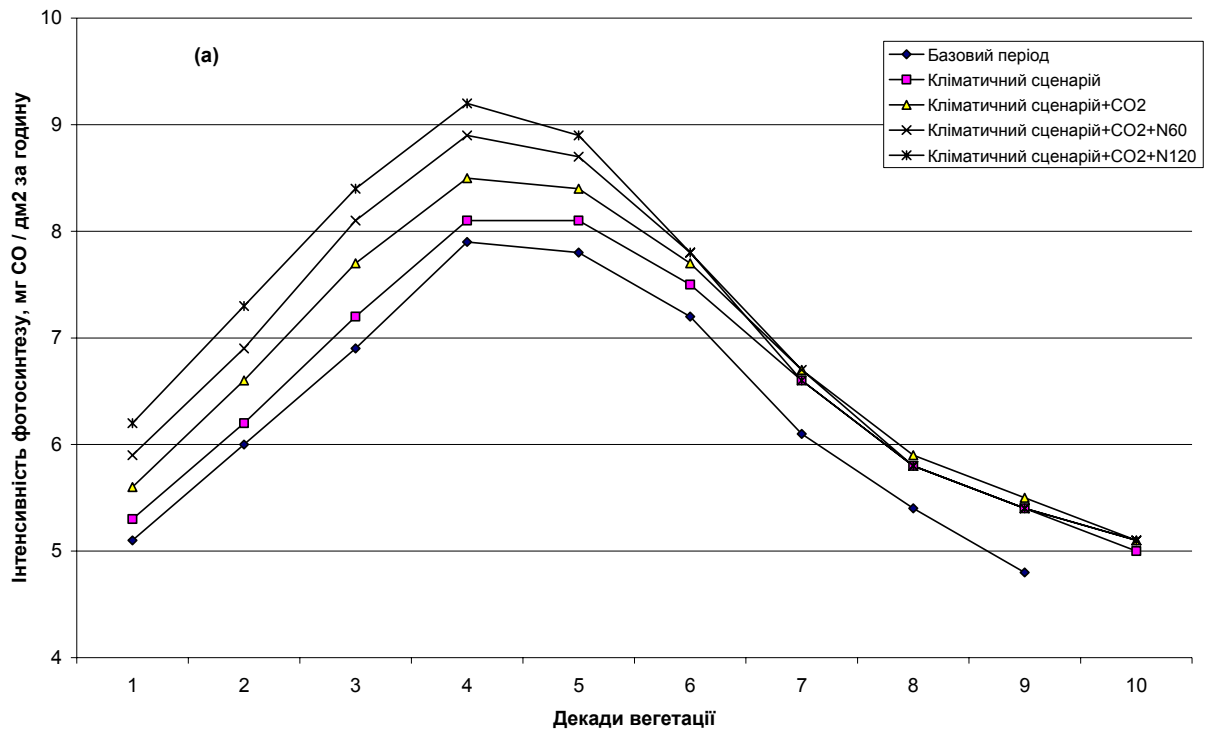


Рис. 2 - Динаміка інтенсивності фотосинтезу кукурудзи в умовах зміни клімату в порівнянні з базовим періодом за сценаріями: на 2011 – 2030 рр. (а); на 2031– 2050 рр. (б)

При зміні кліматичних умов у I-му періоді накопичення загальної біомаси буде відбуватись досить швидкими темпами (рис. 3.а). Найбільш високі прирости загальної біомаси спостерігатимуться в 7 – 8-ій декадах. Тільки за рахунок змін кліматичних умов максимальний приріст збільшиться від 17,8 до 19,0 г/(м² день) (на 7 %). З врахуванням зміни вмісту CO₂ в атмосфері з 380 до 470 ppm зростання буде становити 22 % порівняно з базовим періодом. Внесення добрив збільшить максимальні прирости біомаси до 23,8–25,7 г/(м² день). В порівнянні з базовим періодом прирости збільшаться на 34 – 44 %.

У II-й період не очікується суттєвого збільшення приростів біомаси порівняно з базовим періодом (рис. 3.б). Підвищення вмісту CO₂ в атмосфері до 520 ppm збільшить рівень приростів загальної біомаси особливо в 7–8-у декади вегетації. Прирости загальної біомаси збільшаться з 17,8 до 22,6 г/(м² день) або на 27 %. Внесення добрив зумовить подальше збільшення максимальних приростів загальної біомаси до 24,9 – 26,8 г/(м² день), що становитиме 140 – 151 % порівняно з базовим періодом.

Зміна та зростання рівня показників фотосинтетичної продуктивності посівів кукурудзи в умовах зміни клімату зумовить і збільшення урожаю зерна. Найбільший ефект буде спостерігатись при внесенні добрив.

В очікуваних кліматичних умовах I-го періоду урожай зерна зросте з 26,1 ц/га до 35,2 ц/га (на 27 %). Підвищення концентрації CO₂ в атмосфері зумовить зростання рівня урожаю зерна на 44 %.

Внесення добрив в дозі N₆₀ 60 кг (д.р.)/га підвищить цей ефект зростання урожаю на 59 %, а внесення дози N₁₂₀ 120 кг(д.р.)/га дозволить отримати урожай зерна на 71 % більше в порівнянні з базовим періодом.

У II-й період за рахунок тільки зміни кліматичних умов очікується збільшення урожаю зерна до 31,8 ц/га (на 22 %).

Збільшенні вмісту CO₂ в атмосфері від 380 до 520 ppm зумовить збільшення урожаю зерна до 38,7 ц/га (на 48 %). Внесення добрив на фоні зміни кліматичних умов та суттєве збільшення вмісту CO₂ в атмосфері забезпечить подальше підвищення урожаю зерна кукурудзи. В залежності від дози внесених добрив N₆₀ і N₁₂₀ урожай зерна складатиме при внесенні добрив в дозі N₆₀ – 42,5 ц/га, а при дозі N₁₂₀ – 45,9 ц/га, що відповідно на 63 та 76 % вище в порівнянні з базовим періодом.

Слід зазначити, що в останні роки впроваджуються у виробництво нові високопродуктивні сорти та гібриди кукурудзи. Отримані вище оцінки носять також і відносний характер, що дозволяє їх використовувати при оцінці можливих змін продуктивності цих нових сортів в зв'язку зі змінами клімату.

Виробництво зерна кукурудзи в східній Україні забезпечують сприятливі ґрунтово-кліматичні умови, високоврожайні сорти та сучасну технологію вирощування культури. Агрокліматичні умови вирощування кукурудзи загалом є досить сприятливими, але зміна клімату зумовить зміни агрокліматичних умов її вегетації що спричинить необхідність адаптації до них.

Оцінка агрокліматичних умов вегетації кукурудзи дозволила встановити, що дещо підвищений температурний режим в квітні надасть можливість зсунути оптимальні терміни сівби кукурудзи на 10 – 15 днів порівняно з встановленими оптимальними агрокліматичними строками. Це дозволить зменшити непродуктивні витрати вологи на випаровування, сформувані дружні сходи та більш продуктивно використовувати вологу для формування асиміляційного апарату і росту качана.

Запізнення з термінами сівби на 15 – 20 днів ставить формування урожаю в більшу залежність від умов зволоження другої половини вегетації, які прогнозуються досить напруженими.

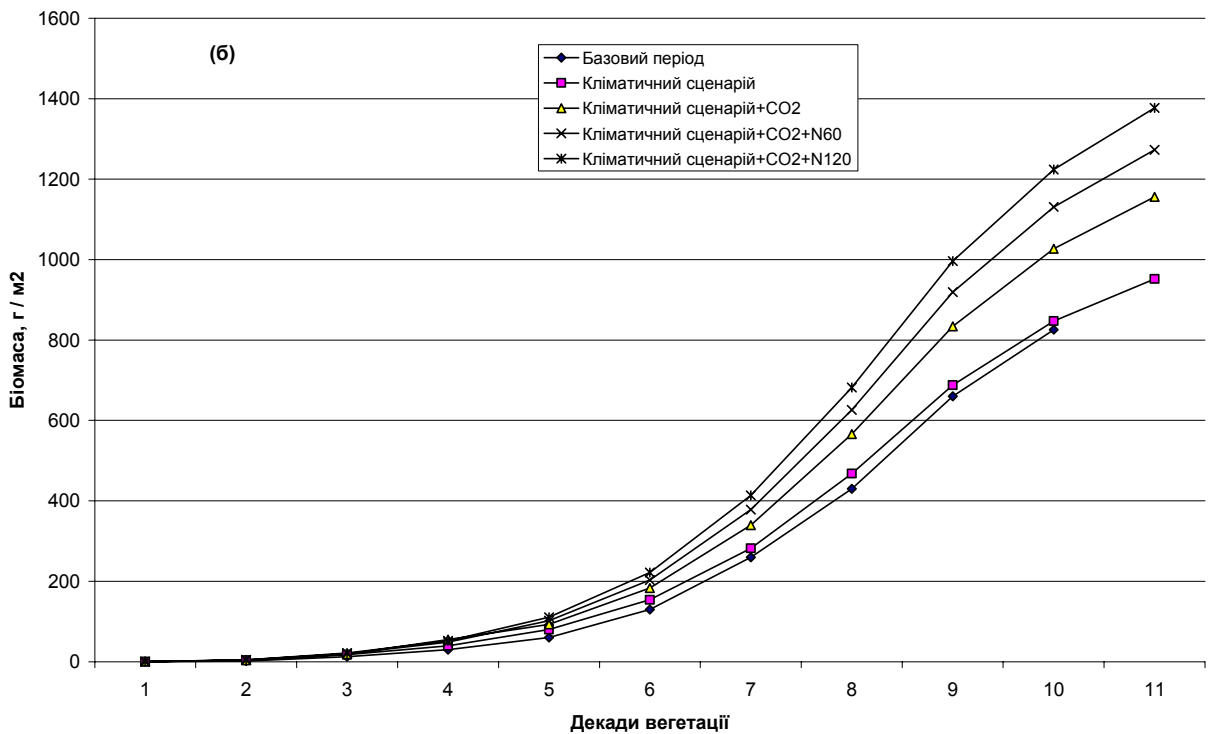
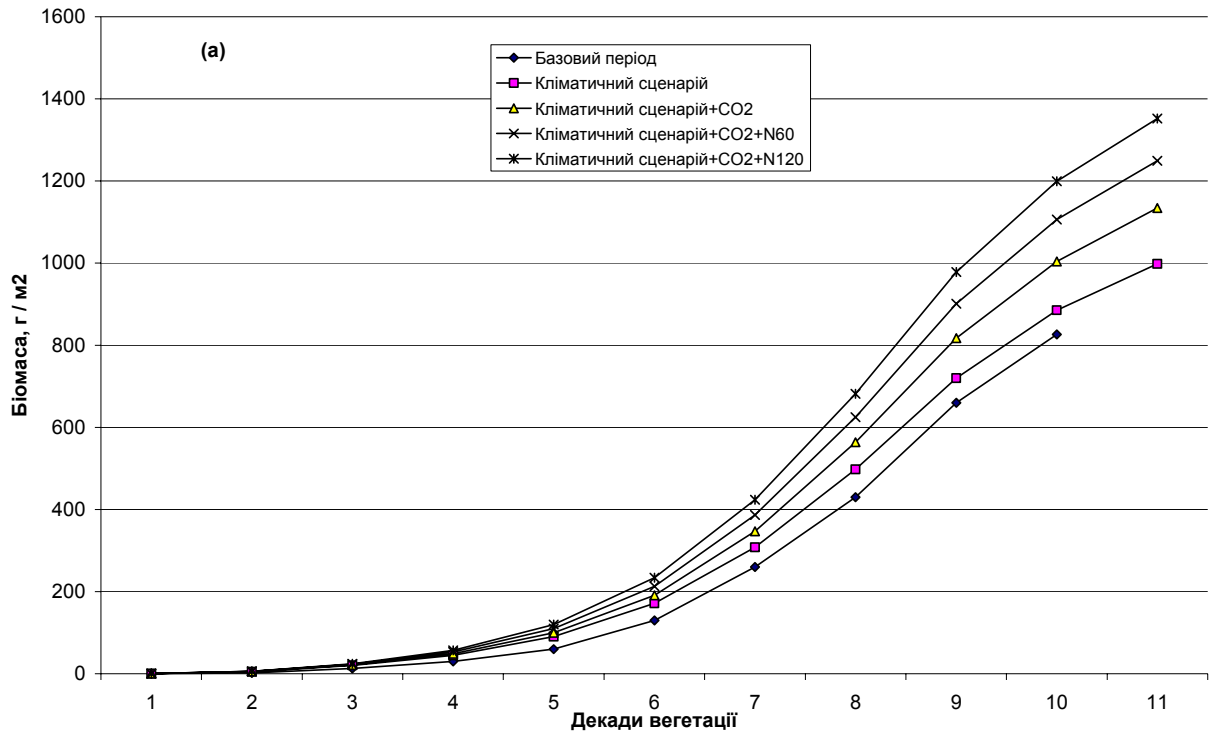


Рис. 3 - Динаміка загальної сухої біомаси кукурудзи в умовах зміни клімату в порівнянні з базовим періодом за сценаріями: на 2011 – 2030 рр. (а); на 2031– 2050 рр. (б)

В цих умовах слід надавати перевагу гібридам ранньостиглої та середньоранньої груп кукурудзи, які мають менш тривалий вегетаційний період в порівнянні з середньостиглими та середньопізнньостиглими групами і більш продуктивно використовують вологу для формування урожаю.

Оцінка агрокліматичних умов темпів розвитку та настання стиглості кукурудзи дозволила встановити строки настання фази воскової стиглості, що допоможе дещо скорегувати строки збирання урожаю. Строки стиглості зерна визначають способи та строки початку збирання урожаю кукурудзи.

Якщо реалізуються кліматичні сценарії, врахування строків збирання урожаю дозволить завчасно підготувати збиральну техніку в нових кліматичних умовах, щоб уникнути недобору урожаю за рахунок осипання, стікання та щуплості зерна, підготувати хлібоприймальні підприємства та елеватори для приймання, зберігання та переробки зерна.

Висновки. Вирощування кукурудзи в Луганському регіоні зумовлено на сприятливими ґрунтово-кліматичними умовами, високоврожайними сортами та сучасною технологією вирощування культури тому загалом агрокліматичні умови одержання високих врожаїв є досить сприятливими, але зміна клімату зумовить зміни агрокліматичних умов вегетаційного періоду кукурудзи, що спричинить необхідність адаптації до цих змін.

Список літератури

1. Польовий А.М. Моделирование продуктивности агроэкосистем. // Вісник Одеського державного екологічного університету, 2005. – Вип. 1. – С. 79-86.
2. Полевой А.Н.. Моделирование фотосинтеза зеленого листа у растений типа С3 и С4 при изменении концентрации CO₂ в атмосфере. // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – М.: ИГКЭ. – т. 23. - 2010. - С. 297-315.
3. Naki & enovi, N., and R. Swart (eds.), 2000: Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp.

Влияние агроклиматических условий на продуктивность кукурузы при изменении климата в восточной степи Украины. Полевой А.Н., Божко Л.Е., Дронова Е.А.

С помощью моделей продукционного процесса растений дана оценка фотосинтетической продуктивности и колебаний урожайности кукурузы в восточной степи Украины. Разработаны рекомендации по адаптации технологий возделывания кукурузы и улучшения условий формирования ее продуктивности при изменении климата.

Ключевые слова: климат, теплообеспеченность, влагообеспеченность, кукуруза, фотосинтез, продуктивность, урожай.

Effect of agro-climatic conditions on the productivity of maize under climate change in the east steppe of Ukraine. Polevoy A., Bozko L., Dronova E.

With models of the productive was assessed photosynthetic productivity and fluctuation of maize yield in east steppe of Ukraine. Were developed recommendations on adaptation technologies for growing corn and improve the conditions of formation of efficiency of climate change.

Key words: climate, heat supply, moisture content, maize, photosynthetic, productivity, crop.