

**Полтавське відділення академії наук
технологічної кібернетики України**

**ЕКОЛОГООРІЄНТОВАНІ ПІДХОДИ
ВІДНОВЛЕННЯ ТЕХНОГЕННО
ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ І СТВОРЕННЯ
СТАЛИХ ЕКОСИСТЕМ**

Колективна монографія

Полтава – 2022

Отже, на формування врожайності біомаси міскантусу гігантського на варіантах сумісного вирощування з люпином суттєвий вплив мають наступні біометричні показники рослин: середня висота стебла ($r = 0,83$), його діаметр ($r = 0,69$), кількість листків на стеблі ($r = 0,72$). Меншою мірою на продуктивність міскантусу впливають: середня довжина одного листка ($r = 0,41$) та кількість міжвузлів на стеблі ($r = 0,32$).

Висновки.

1. Науково-обґрунтований менеджмент вирощування енергетичних культур, в т.ч. й міскантусу гігантського дозволяє ефективно управляти енергоплантаціями, що передбачає забезпечення екологічного, агрономічного та економічного ефектів.

2. Біологізація технології вирощування міскантусу гігантського дозволяє знизити вплив на навколишнє природне середовище, зменшити кількість бур'янів у енергоплантаціях за одночасного збільшення врожайності біомаси (до 18,5 т/га), з урахуванням збалансованого природокористування.

3. Встановлено, що врожайність міскантусу гігантського за сухою біомасою при вирощуванні у сумісних насадженнях із люпином обумовлюється висотою стебла та його діаметром й кількістю листків на стеблі. Що підтверджено сильними кореляційними зв'язками між цими показниками ($r \geq 0,7$).

2.4. Особливості формування фотосинтетичного потенціалу посівів кукурудзи як енергетичної культури в умовах зміни клімату (RCP 6.0) на території Житомирського Полісся України

Костюкєвич Т. К.

Одеський державний екологічний університет

Використання біопалива як вирішення проблеми скорочення викиду вуглецю та зменшення залежності від викопних видів палива має вирішальні наслідки як для продовольчої забезпеченості, так й для сьогоdnішнього та майбутнього землекористування.

Нинішнє розширення та зростання енергетичних ринків внаслідок проведення нової енергетичної та екологічної політики, прийнятої в останнє десятиліття в більшості розвинених країн і в кількох країнах, що розвиваються, змінює роль сільського господарства. Найбільш значущим є підвищення ролі сектора як постачальника сировини для виробництва рідкого транспортного біопалива – етанолу та біодизелю. Сучасна біоенергія є новим джерелом попиту на продукцію фермерів, що обіцяє формування доходів та створення нових робочих місць.

В останні кілька років темпи зростання попиту на біопаливо значно перевищують історично сформовані темпи зростання попиту на

сільськогосподарські товари і врожайності культур. Україна має досить непогані перспективи для виробництва і споживання біологічних видів палива. Однак, той величезний потенціал альтернативної енергетики, яким володіє Україна, не використовується повною мірою. Якщо порівнювати з країнами Євросоюзу, де кукурудза є основним джерелом сировини для заводів з виробництва біогазу, то наша країна ще тільки на шляху до повноцінного використання власних ресурсів [233].

Кукурудза досягає максимальної висоти стебла безпосередньо перед збиранням урожаю, надаючи найбільшу кількість біомаси з гектара. Додатковими перевагами енергетичної культури є невибагливість до води, незначна потреба у засобах захисту та виділення значних обсягів біогазу під час анаеробного зброджування.

Зміст золи в кукурудзі є основним чинником якості для подальшого виробництва біопалива і залежить від технології збирання (цей показник збільшується внаслідок контакту біомаси з ґрунтом).

За характеристиками плавкості золи кукурудза наближається до деревної біомаси, забезпечує кращі умови для спалювання, ніж брати, наприклад, соломі зернових колосових культур. Для порівняння: у деревини температура плавлення золи становить близько 1200 °С, а температура плавлення стебел кукурудзи – близько 1100 °С.

Крім того, кукурудза містить менше хлору, порівняно зі свіжою (жовтою) соломою зернових колосових культур. Це позитивний фактор у використанні кукурудзи як палива, оскільки сполуки хлору викликають корозію сталевих елементів енергетичного обладнання.

Таким чином, кукурудза є практично ідеальною культурою для виробництва біогазу. Продовжуються інтенсивні дослідження у напрямі пошуку альтернативних кукурудзі культур, але силос кукурудзи залишається основною сировиною.

На сьогоднішній день вже не виникає сумнівів, що зміна кліматичних умов призводить до значної мінливості врожайності багатьох сільськогосподарських культур, у тому числі й кукурудзи [234]. До певного рівня підвищення температури може сприяти зростанню врожайності деяких культур в більш «прохолодних» частинах земної кулі, але якщо вона перевищує оптимальний для даної культури рівень або виникає дефіцит вологи і поживних речовин, то врожайність може зменшитися. Підвищення частоти екстремальних явищ, особливо повеней та посух, також завдає шкоди сільськогосподарським культурам і знижує їх урожайність [235].

²³³ Костюкевич Т. К. Агрокліматична оцінка умов вирощування кукурудзи на біомасу для використання в енергетичній промисловості на території Поділля. *Використання альтернативних джерел енергії в умовах розвитку сільських територій* : матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції (22 листопада, м. Полтава). Полтава : РВВ ПДАА, 2019. С. 68–70.

²³⁴ Deb P., Shrestha S., Babel M. S. Forecasting Climate Change Impacts and Evaluation of Adaptation Options for Maize Cropping in the Hilly Terrain of Himalayas: Sikkim, India. *Theoretical and Applied Climatology*, 2015. Vol. 121. P. 649–667. doi: 10.1007/s00704-014-1262-4

²³⁵ Bassu S., Brisson N., Durand J. L., Boote K., Lizaso J., Jones J. W., Baron C. How Do Various Maize Crop Models Vary in Their Responses to Climate Change Factors? *Global Change Biology*. 2014. Vol. 1, Issue 20. P. 2301–2320. doi: 10.1111/gcb.12520

Одним із найпростіших методів відображення можливих змін у кліматичному режимі будь-якої метеорологічної величини є порівняння з минулими даними, зокрема, середніми багаторічними величинами за базовий період. У даному дослідженні за базовий береться період з 1991 по 2015 роки. Для оцінки можливих змін клімату нами було використано сценарій RCP 6.0 (репрезентативні траєкторії концентрації), який є сценарієм стабілізації та на сьогодні вважається найбільш реалістичною можливістю та сценарій RCP 6.0+CO₂, що враховує збільшення CO₂ на 30 % [236].

Оцінка впливу змін клімату на продуктивність кукурудзи виконана на основі динамічної моделі продуктивності посівів сільськогосподарських культур Польового А. М. [237]. В основу моделі покладено систему рівнянь радіаційного, теплового, водного балансів і балансу біомаси (вуглеводів і азоту) у рослинному покриві в системі «середовище – рослина». Система «середовище – рослина» розглядається як складна динамічна система, що розвивається під впливом внутрішніх і зовнішніх факторів. У цій системі виділяються процес росту, розвитку і формування продуктивності рослин у їхній складній взаємодії. Моделювання процесу росту і розвитку рослин містить кількісний опис процесів фотосинтезу, дихання, росту і розвитку рослин. Ідентифікація параметрів моделі проведена на основі даних спостережень на мережі гідрометеорологічних станцій Гідрометеорологічної Служби України Державної служби із надзвичайних ситуацій України [238].

Клімат Житомирського Полісся за своїми особливостями займає проміжне положення між більш вологим і теплим кліматом Волинського Полісся і більш континентальним кліматом східних областей. Розподіл середньої температури повітря за рік для Житомирського Полісся наближається до меридіонального. Ця характеристика зменшується із заходу на схід. Найтеплішим місяцем на досліджуваній території є липень, а найтеплішою декадою – перша декада серпня. Територіальний розподіл середньої місячної температури повітря за липень і першу декаду серпня характеризується збільшенням із заходу на схід.

На території Житомирського Полісся складаються гарні умови для вирощування кукурудзи [239]. В останні роки намітилася тенденція збільшення площ, відведених під обробіток кукурудзи. В 2020 році врожайність кукурудзи на зерно становила 63,1 ц/га, що на 25 % менш ніж у попередньому сезоні. Такий різкий стрибок пов'язано, перш за все, з

²³⁶ Climate change: How do we know? NASA Global Climate Change and Global Warming : Vital Signs of the Planet, accessed June 13, 2018. URL : <https://climate.nasa.gov/evidence/> (дата звернення: 29.09.2021).

²³⁷ Полевой А. Н Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. Ленинград : Гидрометеоздат, 1988. 318 с.

²³⁸ Агрокліматичний довідник по території України / за ред. Т. І. Адаменко, М. І. Кульбиди, А. Л. Прокопенко. Житомир : Полісся, 2019. 82 с.

²³⁹ Костюкевич Т. К., Азізов Р. Т. Агрометеорологічні умови вирощування кукурудзи на території Житомирського Полісся. *Рубіновські читання* : матеріали III Всеукр. наук.-практ. конф. Уманський НУС : Редакційно-видавничий відділ, 2021. С. 11–12.

дуже несприятливими агрометеорологічними умовами 2020 року [240]. В середньому в останні роки врожайність кукурудзи становить близько 80–90 ц/га. На території Житомирського Полісся під посівами кукурудзи на зерно в 2020 році було зайнято 250,9 тис. га (21 % від загальної площі рілля по області), що на 21 % більше ніж у 2019 році (207,6 тис. га).

За останні роки площі зайняті під кукурудзою як в Житомирському Поліссі так й Україні в цілому збільшуються дуже швидко. Різкі зміни у динаміці площ почали відбуватися на початку 2000-х рр. Настільки високий приріст посівних площ, пов'язано зі змінами клімату в Україні що відбувають досить швидко – там де раніше кукурудзу майже не вирощували (південні та західні райони) зараз вона дає високі врожаї, а також високим попитом на зерно кукурудзи як в країні та й на міжнародному ринку.

Агрометеорологічні умови вирощування кукурудзи на території Житомирського Полісся за сценарієм RCP6.0 будуть проходити на фоні підвищених температур [241]. Також, за всіма періодами за сценарними даними очікується зменшення кількості опадів, очікується скорочення тривалості періоду вегетації, відповідно й скорочення тривалості міжфазних періодів, це пов'язано зі збільшенням середньої температури повітря, що в свою чергу викликає пришвидшення настання фаз розвитку культури (особливо в критичні періоди розвитку).

Для характеристики показників фотосинтетичної продуктивності кукурудзи за умовами вирощування за різними кліматичними умовами були розраховані: відносна площа листя кукурудзи, чиста продуктивність фотосинтезу, фотосинтетичний потенціал та приріст загальної сухої біомаси в період максимального розвитку.

Слід підкреслити, що вплив змін клімату на формування продуктивності посівів кукурудзи нами розглянуто за умов сучасної агротехніки та сучасних сортів і гібридів культури в припущенні, що вони суттєво не зміняться.

Вивчення впливу окремих технологічних прийомів на ріст і розвиток сільськогосподарських культур, як правило, супроводжується спостереженнями за особливостями фотосинтетичної діяльності в посівах. Це питання надзвичайно важливе, оскільки зміна умов зростання рослин неминуче, прямо або побічно, впливає на продукційний процес, а відповідно й на формування врожаю.

Дослідження [242] свідчать, що продуктивність рослин тісно пов'язана з ростом і фотосинтезом – двома кардинальними фізіологічними

²⁴⁰ Урожай кукурузы: 2020. Самый низкий за 5 лет. URL : <https://www.epravda.com.ua/rus/news/2020/11/23/668279/> (дата звернення: 3.11.2021 р.).

²⁴¹ Костюкевич Т. К. Оцінка агрокліматичних умов вирощування кукурудзи як енергетичної культури в умовах зміни клімату на території Житомирського Полісся. *Стійкий розвиток сільських територій у контексті реалізації державної екологічної політики та енергозбереження* : колективна монографія ; за ред. Т. О. Чайки. Полтава : ПП «Астрія», 2021. С. 134–142.

²⁴² Куперман Ф. М. Морфофизиологическая изменчивость растений в онтогенезе. Москва : Московский университет, 1963. 64 с.

процесами. Створення фотосинтетичного апарату високої активності є першою умовою для отримання значної продуктивності посіву. Друга не менш важлива умова – це створення фотосинтетичного апарату, достатнього за розміром, тобто отримання оптимальної площі листа.

Основними показниками, що характеризують продукційний процес у посівах, є: відносна площа листа, індекс листової поверхні, фотосинтетичний потенціал, чиста продуктивність фотосинтезу, суха біомаса.

Розглянемо відмінності в інтенсивності нарощування площі листа у кукурудзи за всіма варіантами. Так, площа листа в період максимального розвитку в середньому за багаторічний період становить 6,0 м²/м² (табл. 1), за умовами зміни клімату RCP 6.0 (варіант I) очікується зменшення площі листа до 5,1 м²/м², за умовами RCP 6.0+CO₂ (варіант II) також очікується зменшення площі листа кукурудзи, але не значне – до 5,7 м²/м².

На рис. 1 представлена динаміка накопичення відносної площі листа посівів кукурудзи в умовах зміни клімату RCP 6.0 та RCP 6.0+CO₂ у порівнянні з середніми багаторічними даними. Як бачимо, впродовж вегетаційного періоду динаміка наростання площі листа, як за кліматичними змінами, так й за багаторічними умовами була майже однаковою, але кількісні її показники значно відрізняються. Але у всіх випадках ці значення відповідають міжфазному періоду вегетації викидання волоті – молочна стиглість.

1. Показники фотосинтетичної продуктивності посівів кукурудзи за період вегетації за середніми багаторічними даними у порівнянні з очікуваними за кліматичним сценарієм RCP 6.0

Період, роки	Варіант, сценарій	Період максимального росту			Суха біомаса цілої рослини, г/м ²	Урожайність, %
		площа листової поверхні, м ² /м ²	приріст загальної сухої біомаси, г/м ² за декаду	чиста продуктивність фотосинтезу, г/м ² за добу		
1991–2015	Базовий	6,0	367,8	8,9	1513,6	100
2021–2050	RCP6.0	5,1	339,5	8,1	1231,6	78
	RCP6.0+CO ₂	5,7	390,8	8,3	1411,2	90

Джерело: авторська розробка.

Взаємозв'язок рослин в агроценозах носить непостійний характер, що залежить від багатьох факторів. Головним завданням для отримання високих врожаїв є створення такого посіву, в якому б максимально розкривалися потенційні можливості фотосинтетичної діяльності рослин в агроценозах. Цього можна домогтися при створенні сприятливих умов для зростання і розвитку рослин.

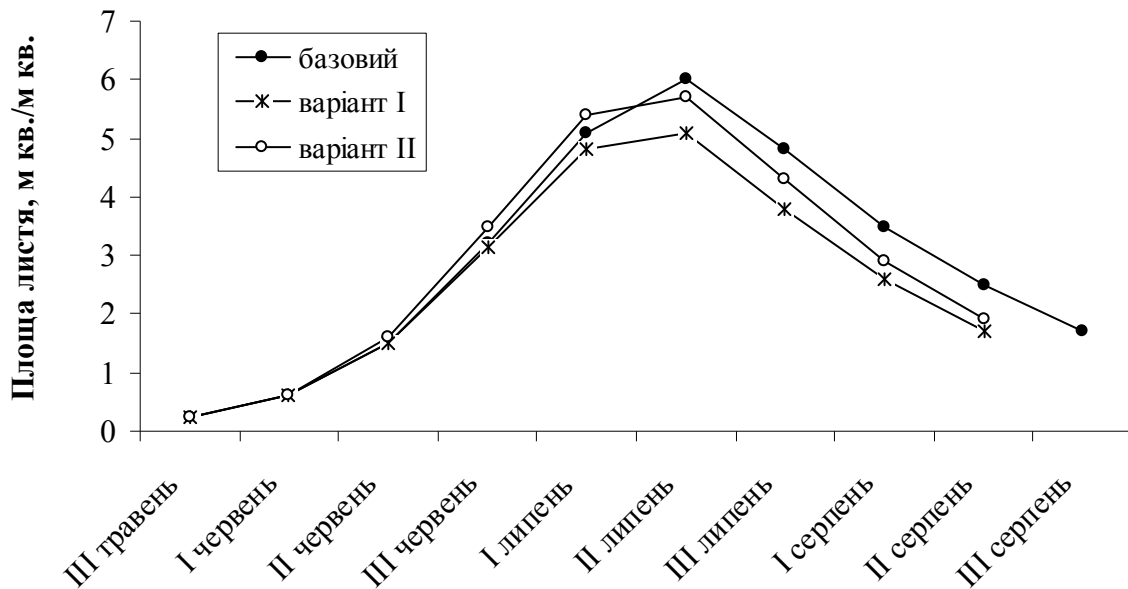


Рис. 1. Динаміка відносної площі листя посівів кукурудзи за період вегетації за середніми багаторічними даними у порівнянні з очікуваними за кліматичним сценарієм RCP 6.0

Джерело: авторська розробка.

Зростання рослини і його біологічна продуктивність – результат, насамперед, фотосинтетичної діяльності, в ході якої утворюється до 95 % органічних сполук. Збільшення сухої біомаси починається, головним чином, слідом за формуванням фотосинтетичної системи листа і здійснення процесу фотосинтезу. Лист як орган фотосинтезу є центром утворення первинних продуктів, їх метаболізації та евакуації в органи запасів.

Одним з показників, що характеризують продукційний процес рослин, є чиста продуктивність фотосинтезу. На рис. 2 представлена динаміка чистої продуктивності фотосинтезу посівів кукурудзи за період вегетації за середньо багаторічними даними у порівнянні з очікуваними за сценаріями.

Максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу посівів кукурудзи в середньому за багаторічними умовами становить 8,9 г/м² (табл. 1). За умовами кліматичних змін RCP 6.0 значення чистої продуктивності зменшиться до 8,1 г/м², за умовами кліматичних змін RCP 6.0+CO₂ значення чистої продуктивності очікується на рівні 8,3 г/м². Це пов'язано з реакцією рослин на підвищення CO₂, так за умов збільшення CO₂ в повітрі відбувається збільшення площі листя.

Така реакція рослин на підвищення CO₂ обумовила і відповідний рівень динаміки загальної сухої біомаси кукурудзи та її приростів (табл. 1). Так, максимальні значення приросту загальної сухої біомаси посівів кукурудзи в середньому за багаторічними умовами становить 367,8 г/м². Збільшення значення приросту очікується за кліматичним сценарієм RCP6.0+CO₂ – 390,8 г/м², а за умовами кліматичних змін RCP6.0 очікується зменшення до 339,5 г/м².

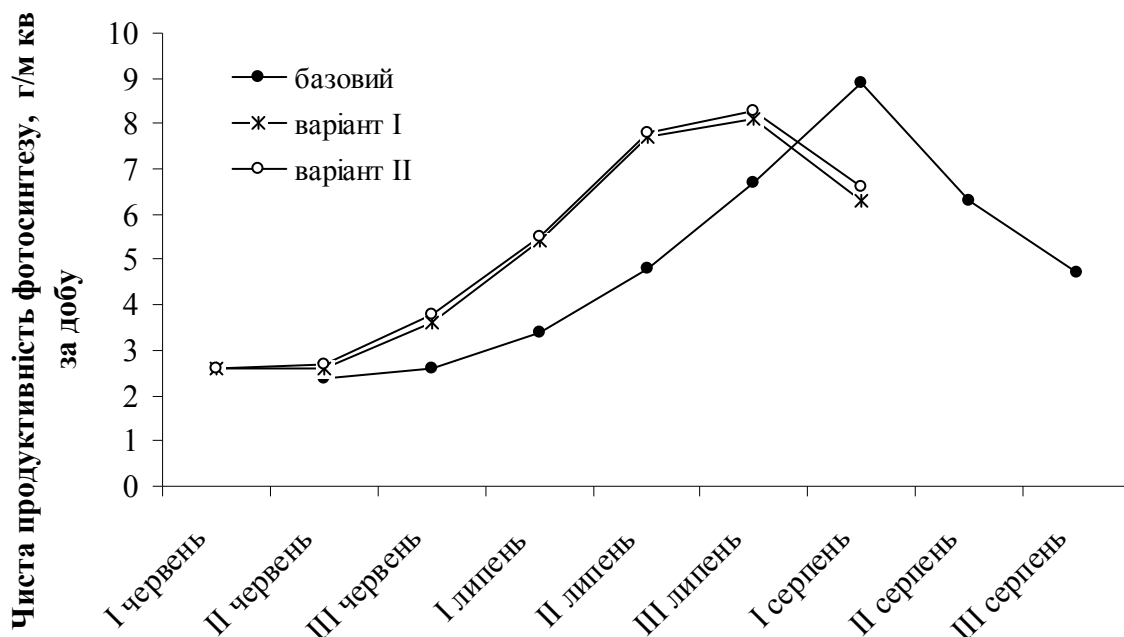


Рис. 2. Динаміка середньої за декаду чистої продуктивності фотосинтезу посівів кукурудзи за період вегетації за середніми багаторічними даними у порівнянні з очікуваними за кліматичним сценарієм RCP 6.0

Джерело: авторська розробка.

Динаміка сухої біомаси цілої рослини кукурудзи за період вегетації за середніми багаторічними даними у порівнянні з очікуваними за сценаріями представлено на рис. 3. Розглянемо ці зміни, так, максимальне значення загальної сухої біомаси посівів кукурудзи в середньому за багаторічними даними становить 1513,6 г/м² (табл. 1). При реалізації кліматичного сценарію RCP 6.0+CO₂ очікується зменшення до 1144,2 г/м², за умовами кліматичних змін сценарію RCP 6.0 також очікується зниження – до 1231,6 г/м².

Головним результатом обробітку будь якої зернової культури, що вирощується на продовольчі цілі, є отримання зерна високої якості. Таким чином, за умовами реалізації кліматичних сценаріїв очікується зменшення врожайності кукурудзи: за варіантом RCP 6.0 – на 22 %, а за варіантом RCP 6.0+CO₂ – на 10 %.

На основі сценарію зміни клімату (упродовж 2021–2050 рр.) та динамічної моделі формування врожаю кукурудзи встановлено, що цілому на території дослідження за умов кліматичних змін очікуються значні зміни в умовах для вирощування кукурудзи на зерно. Зменшення площі листя за умовами кліматичних змін призведе до зниження інших показників фотосинтетичної продуктивності кукурудзи – чистої продуктивності фотосинтезу, сухої біомаси рослини та врожайності зерна. Це пов'язано з перерозподілом кількості опадів під час вегетації за кліматичними умовами сценаріїв та відповідною реакцією рослин на підвищення CO₂. Через більш швидке зростання в умовах підвищених температур кукурудзі не вистачає

часу для формування достатньої кількості біологічного матеріалу, що в свою чергу призвело до зниження врожайності.

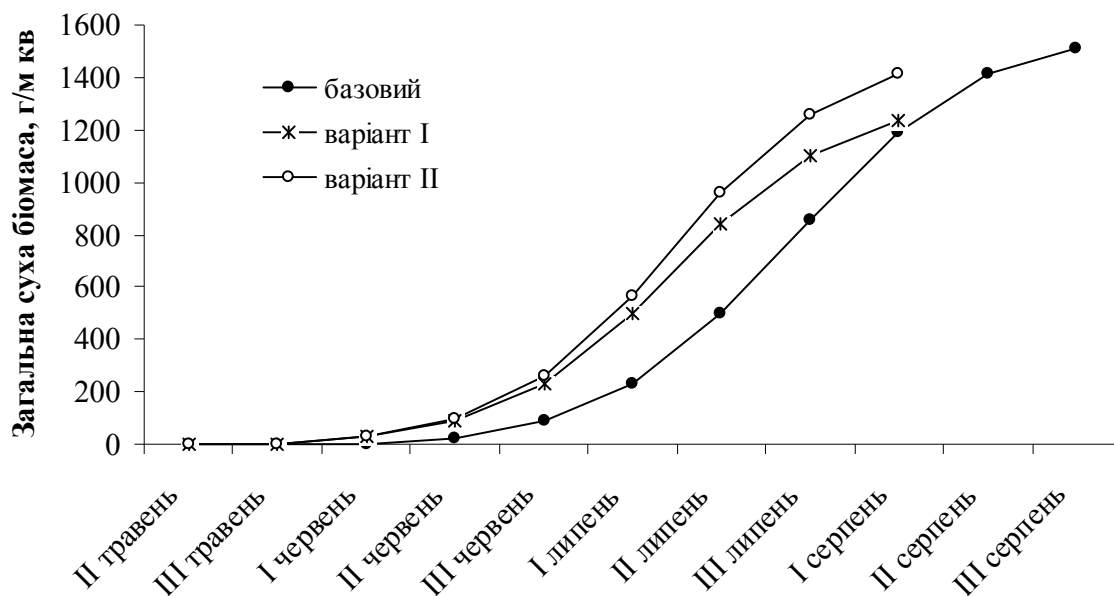


Рис. 3. Динаміка загальної сухої біомаси посівів кукурудзи за період вегетації за середніми багаторічними даними у порівнянні з очікуваними за кліматичним сценарієм RCP 6.0

Джерело: авторська розробка.

Перспективою подальших досліджень є більш детальне врахування просторової та часової мінливості можливих кліматичних змін, проведення досліджень реакції на зміни клімату щодо інших груп сортів та гібридів цієї культури, а також розробка рекомендацій стосовно адаптації агротехніки вирощування кукурудзи в умовах кліматичних змін.