АГРАРНІ ІННОВАЦІЇ

№ 25

Видавничий дім
«Гельветика»
2024

УДК 633.15:551.583
DOI https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.25.5

ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПОСІВІВ КУКУРУДЗИ НА ЗЕЛЕНИЙ КОРМ В ЦЕНТРАЛЬНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

КОСТЮКЄВИЧ Т.К. – кандидат географічних наук
orcid.org/0000-0002-1952-8839
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова
ВОЛОШИНА О.В. – кандидат географічних наук, доцент
orcid.org/0000-0001-9276-6908
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова

Постановка проблеми. Економічне зростання та добробут держави залежить від ефективності функціонування агропромислового комплексу, у складі якого важливе місце належить кормовиробництву як основі нормальної життєдіяльності експортоорієнтованої тваринницької галузі. На сьогоднішній день кукурудза є однією з найбільш продуктивних кормових культур і відповідно має першорядне економічне значення. Вона широко використовується в раціоні годівлі великої рогатої худоби та обробляється для отримання зерна, зеленої маси та силосу [1].

Зелена маса кукурудзи – основна сировина для виробництва силосу, який є головним кормом у господарствах, що спеціалізуються на вирощуванні жуйних тварин, а також використовується для отримання біопалива, яке нині затребуване світовою спільнотою.

Очікується, що до 2050 року чисельність населення світу сягне 9,7 млрд. осіб. Щоб прогодувати населення, що росте, за оцінками, потрібно збільшити виробництво продовольства на 70 відсотків. Сільське господарство відіграє ключову роль у вирішенні цих проблем. Водночас, сільському господарству необхідно пристосуватися до змін клімату та сприяти пом'якшенню кліматичних впливів [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Кукурудза є однією з найбільш універсальних сільськогосподарських культур, що має більш широку адаптованість за різних агрокліматичних умов. Зелена маса кукурудзі використовується для споживання тварин на фермах шляхом силосування усієї маси рослин – стебел, листя та качанів кукурудзи, зібраної у фазі молочно-воскової стиглості.

Кукурудзу на корм вирощують у всіх сільськогосподарських зонах країни. В останні роки, якщо розглядати в цілому по Україні, намітилася тенденція зменшення площ, відведених під її вирощування – сьогодні це близько 230 тис га, що, маже в десять разів менш ніж в період 1995–2000 років [1].

Якщо розглядати середню врожайність силосної кукурудзи протягом останніх десятиліть, то спостерігається позитивна тенденція, яка свідчить про значне збільшення врожайності за цей час [1, 4]. Крім загального лінійного збільшення врожайності, існують очевидні щорічні коливання врожайності, які можуть бути спричинені кліматичними змінними, включаючи кількість і розподіл річних опадів у період вегетації.

Погода є одним із основних факторів, що впливає на сільськогосподарське виробництво, а зміна клімату ще більше викликає занепокоєння щодо її впливу на врожайність сільськогосподарських культур у всьому світу, включаючи й Україну. Впливу кліматичних змін на рост, розвиток та формування врожаю кукурудзи на території України присвячена низка досліджень [3, 5–7]. В роботах кількісно визначається вплив зміни клімату на мінливість врожайності кукурудзи у порівнянні з адаптацією і придатністю території для її вирощування.

Зміни кліматичних умов наразі змінюють практику вирощування сільськогосподарських культур у багатьох регіонах світу. Вплив змін клімату на чутливість силосної кукурудзи в Данії при обробках різними дозами азотних добрив була досліджена за допомогою моделі ґрунт-рослина-атмосфера [8]. Результати дослідження показали, що підвищення середньорічної температури до 1,5°C сприятливо впливає на врожайність кукурудзи, але потепління клімату разом із прогнозованим збільшенням кількості опадів в майбутньому суттєво ускладнить вирощування кукурудзи.

Особливо складна ситуація щодо вирощування кукурудзи на біомасу спостерігається на територіях де її вирощують в богарних умовах. Дослідники з Пакістану [9] кількісно оцінили вплив мінливості клімату на богарну кукурудзу, що вирощують у регіоні Потвар у Пакистані, а також ступінь, до якого зрошення може компенсувати майбутні скорочення врожаю. Результати показали, що в середньому врожайність кукурудзи може бути збільшена на 55% за допомогою одного зрошення 60 мм на репродуктивній стадії. За сценарними змінами клімату (RCP4.5 і RCP8.5) прогнозується скорочення виробництва біомаси кукурудзи, що негативно вплине на сировину як для тваринництва, так й для виробництва відновлюваної енергії.

Для оцінки впливу мінливості клімату на продуктивність зрошуваної та богарної кукурудзи в Небрасці дослідники [10] використали моделі географічної зваженої регресії та моделі звичайної регресії найменших квадратів. Результати показали, що для богарних культур транспірація відіграє важливу роль у прогнозуванні врожайності, тоді як опади та доступна волога ґрунту відіграють важливу роль у прогнозуванні врожайності на зрошенні.

Мета дослідження полягала в оцінці можливого впливу кліматичних змін на формування продуктивності посівів кукурудзи на зелену масу в умовах Центрального Лісостепу України.

Матеріали та методика досліджень. В роботи проводиться порівняння прогнозованих даних з мину-

лими, зокрема, середніми багаторічними величинами за базовий період. У даному дослідженні за базовий береться період з 1991 по 2020 роки. Для оцінки впливу можливих змін клімату було використано сценарій RCP6.0 (репрезентативні траєкторії концентрації), який є сценарієм стабілізації та на сьогодні вважається найбільш реалістичною можливістю [11] та сценарій RCP6.0+CO_2, що враховує збільшення CO_2 на 30%. Оцінка впливу змін клімату на формування врожайності силосної кукурудзи виконана на основі динамічної моделі продуктивності посівів сільськогосподарських культур А.М. Польового [12].

Результати досліджень. В середньому за базовий період кукурудзу для отримання зеленої маси в умовах Центрального Лісостепу сіють на початку першої декади травня (1 травня), після встановлення стійкого переходу температури через 12°С. За сценарними умовами терміни сівби очікуються на 7 днів раніше – 24 квітня. Сходи в середньому з'являються за 14 днів (14 травня). За сценарними розрахунками сходи очікуються вже 9 травня, що на п'ять днів раніше, ніж за багаторічними даними (табл. 1).

В середньому по області фаза сходів настає при накопиченні суми активних температур у кількості 197°С, при цьому тривалість міжфазного періоду становить близько двох тижнів. За сценарними даними сходи кукурудзи очікуються наприкінці першої декаді травня (9 травня) при накопиченні суми активних температур у кількості 219°С. Тривалість періоду сівба-сходи за сценарними даними довше на два дні у порівнянні з базовими. Середня температура повітря за змінами клімату очікується зменшеною на 0,4°С у порівнянні з базовими умовами. Сума опадів за період сівба-сходи очікується на рівні 160% від багаторічних умов (табл. 2).

Фаза викидання волоті у кукурудзи визначається за появою верхівки волоті з розтруба верхнього листа. За багаторічних умов це відбувається в середині червня (15 червня) при накопиченні суми активних температур близької до 1122°С. За умовами сценарію RCP6.0 викидання волоті кукурудзи на території дослідження очікується на початку першої декаді липня (1 липня) при накопиченні суми активних температур на рівні 1051°С, тривалість періоду при цьому скоротиться на сім днів у порівнянні з базовими умовами, середня температура повітря за цей період очікується на рівні 19,5°С, що на 1,4°С вище, ніж за базових умов. Щодо суми опадів, то за умовами сценарію RCP6.0 очікується незначне зменшення – на 6 відсотків.

За фазою викидання волоті у кукурудзи настає фаза молочної стиглості. В середньому за період 1991–2020 рр. на території дослідження фаза молочної стиглості настає при накопиченні суми активних температур у 595°С на початку другої декади серпня (13 серпня), за умов кліматичних змін настання фази очікується вже наприкінці липня (24 липня) при накопиченні суми активних температур у кількості 530°С, тривалість періоду становитиме 23 дні, що на 6 днів коротше, ніж за базових умов. Очкується, що середня температура повітря збільшиться на 2,5°С у порівнянні з багаторічними. Також, очікується зменшення суми опадів за умовами сценарію RCP6.0 на 10 відсотків (табл. 1 та табл. 2).

Оптимальним терміном збирання зеленої маси кукурудзи є молочна або молочно-воскова фаза зерна. У цій фазі вегетації в зерні багато крохмалю, і його легко подрібнити. В умовах центрального Лісостепу зелену масу кукурудзи збирають в середньому через 5–7 днів після настання фази молочної стиглості – у другій-третій декаді серпня. За умовами кліматичних змін, враховуючи підвищені температури, цей період рекомендується скоротити до 2–5 днів.

В цілому період вегетації за умов зміни клімату скоротиться майже на два тижня, що призведе до скорочення тривалості міжфазних періодів (пришвидшення настання наступних фаз розвитку культури), при цьому очікується збільшення середньої температури повітря, особливо наприкінці періоду вегетації. Збільшення кількості опадів у порівнянні з базовими умовам, очікується тільки на початку вегетації.

Продуктивність рослин тісно пов'язана з ростом і фотосинтезом. 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 листя [12]. Основними показниками, що характеризують продуційний процес у посівах, є: відносна площа листя, індекс листкової поверхні, фотосинтетичний потенціал, чиста продуктивність фотосинтезу та суха біомаса

У літературі відзначається, що зв'язок асиміляційної поверхні з біологічним урожаєм, зокрема з господарською його частиною, зберігається лише до певних розмірів [13]. У зв'язку з чим, сьогодні в умовах стрімкої зміни кліматичних умов велике значення приділяється питанню щодо створення і визначенню необхідної площі листя для кожної культури в конкретній природно-кліматичній зоні. Ідея оптимальної листової поверхні отримала широке розвиток і за кордоном [14, 15].

Таблиця 1

Фази розвитку кукурудзи на зелену масу за середніми багаторічними даними у порівнянні з очікуваними за кліматичним сценарієм RCP6.0

Період	Сівба	Сходи	Викидання волоті	Молочна стиглість	Тривалість періоду, дні
1991-2020	1.05	14.05	15.07	13.08	105
RCP6.0	24.04	9.05	1.07	24.07	94
Різниця	-7	-5	-14	-19	-11

Таблиця 2

Оцінка агрометеорологічних умов вирощування кукурудзи в період вегетації за середніми багаторічними даними у порівнянні з очікуваними за кліматичним сценарієм RCP6.0

Показник	середня температура повітря за період, ºС	сума активних температур за період, ºС	сума опадів за період, %	тривалість періоду
Сівба – сходи				
1991-2020	14,1	197	100	14
RCP6.0	13,7	219	160	16
Різниця	-0,4	+22	+60	+2
Сходи – викидання волоті				
1991-2020	18,1	1122	100	62
RCP6.0	19,5	1051	94	55
Різниця	+1,4	-71	-6	-7
Викидання волоті – молочна стиглість				
1991-2020	20,5	595	100	29
RCP6.0	23,0	530	90	23
Різниця	+2,5	-65	-10	-6
Сходи – молочна стиглість				
1991-2020	18,2	1914	100	105
RCP6.0	19,2	1800	88	94
Різниця	+1,0	-114	-12	-11

Таблиця 3

Показники фотосинтетичної продуктивності посівів кукурудзи за період вегетації за середніми багаторічними даними у порівнянні з очікуваними за кліматичним сценарієм RCP6.0

Період	Варіант	Період максимального росту			Суха біомаса цілої рослини, г/м²	Урожай, %
		площа листкової поверхні, м²/м²	приріст загальної сухої біомаси, г/м² за добу	Чиста продуктивність фотосинтезу, г/м² за добу		
1991-2020	Базовий	4,8	269,3	6,8	1155	100
2021–2050	RCP6.0	4,3	289,9	7,1	972	84
	RCP6.0+CO_2	5,1	320,1	8,9	1112	96

Розглянемо відмінності в інтенсивності нарощування площі листя у кукурудзи за всіма варіантами. В максимальний період росту (перша декада липня) площа листя за базовими умовами становить 4,8 м²/м² (перша декада липня), за умовами сценарію RCP6.0 очікується зниження значень площі листя до 4,3 м²/м², але в умовах збільшення рівню CO_2, очікується збільшення значення площі листя рослини кукурудзи до 5,1 м²/м² (третя декада червня) (табл. 3).

Динаміка накопичення відносної площі листя посівів кукурудзи по декадам представлено на рис. 1. Динаміка росту площі листя як в умовах зміни клімату так й за базовими умовами була майже однаковою, але кількісні її показники значно відрізняються.

Фотосинтез – процес утворення органічних речовин з вуглекислоти та води з перетворенням та використанням світлової енергії. При цьому відбувається збільшення сухої маси листа. Це збільшення за певний термін із поправками на дихання та відтік речовин характеризує інтенсивність фотосинтезу. Розглянемо графік динаміки середньої за декаду інтенсивності накопичення органічної речовини у листях кукурудзи (рис. 2). наочно бачимо, що у всіх випадках ці значення відповідають періоду викидання волоті – молочна стиглість.

За сценарієм RCP6.0 очікується незначне зниження максимального значення інтенсивності фотосинтезу до 32,4 мгCO_2/(дм²*годину) відносно базових умов (33,4 мгCO_2/(дм²*годину), за сценарієм RCP6.0+CO_2, навпаки – очікується збільшення максимального значення інтенсивність фотосинтезу за декаду до 37,1 мгCO_2/(дм²*годину).

Одним з показників, що характеризують продуційний процес рослин, є чиста продуктивність фотосинтезу. Максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу посівів кукурудзи в середньому за базовими умовами становить 6,8 г/м² (табл. 3). За умовами кліматичних змін RCP6.0 та RCP6.0+CO_2 очікується збільшення значення чистої продуктивності фотосинтезу до 7,1 та 8,9 г/м² відповідно. Це пов'язано з реакцією рослин на підвищення CO_2, так за умов збільшення CO_2 в повітрі відбувається інтенсивний рост листя.

Така реакція рослин на підвищення CO_2 обумовила і відповідний рівень загальної сухої біомаси кукурудзи та її приростів. Максимальні значення приросту загальної сухої біомаси посівів кукурудзи за базовими умовами становить 269,3 г/м² (табл. 3). В умовах зміни клімату очікується збільшення: за сценарієм RCP6.0 очікується до 289,9 г/м², за сценарієм RCP6.0+CO_2 – до 320,1 г/м².

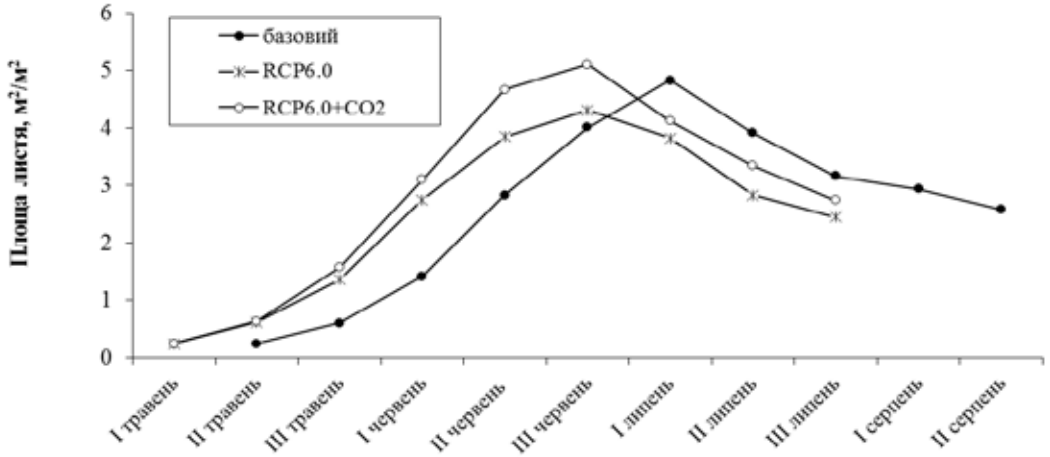

Рис. 1. Динаміка відносної площі листя посівів кукурудзи за період вегетації за базовими умовами у порівнянні з очікуваними за кліматичними сценаріями

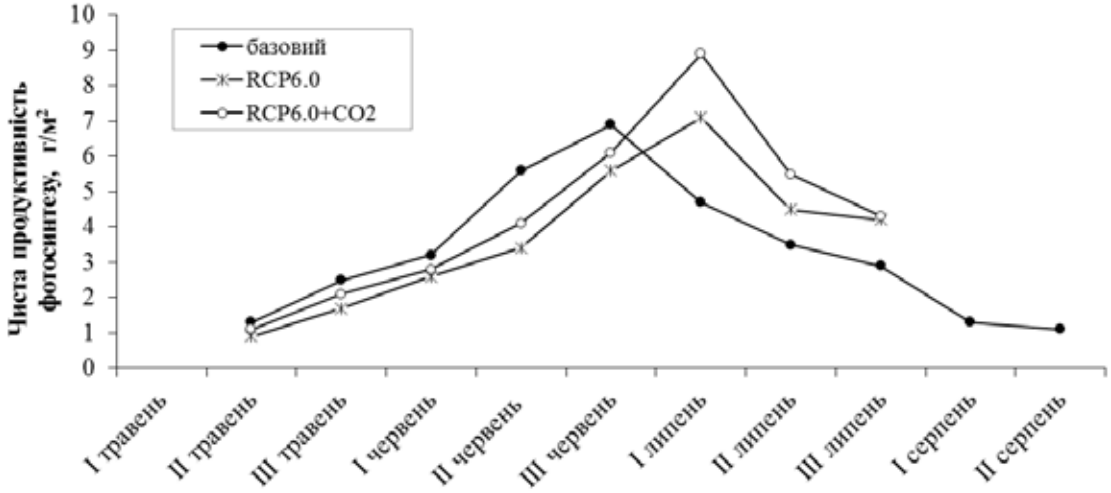

Рис. 2. Динаміка середньої за декаду інтенсивності фотосинтезу посівів кукурудзи за період вегетації за базовими умовами у порівнянні з очікуваними за кліматичними сценаріями

В умовах зміни клімату очікується зниження загальної маси рослини: за сценарієм RCP6.0 очікується зниження до 972 г/м^2, за сценарієм RCP6.0+CO_2 – до 1112 г/м^2. Максимальне значення загальної сухої біомаси посівів кукурудзи на зелену масу за базовими умовами становить 1155 г/м^2 (табл. 3).

Головним результатом обробітку будь якої зернової культури, що вирощується на продовольчі цілі, є отримання врожаю високої якості. За умовами кліматичних змін в обох випадках очікується зменшення врожайності зеленої маси кукурудзи: за сценарієм RCP6.0 очікується зниження на 16%, а за умовами кліматичних змін RCP6.0+CO_2 ситуація набагато краща – лише на 4%.

Висновки. На основі сценарію зміни клімату (упродовж 2021–2050 рр.*)* та динамічної моделі формування врожаю зеленої маси кукурудзи встановлено, що вегетаційний період цієї культури буде проходити на фоні значно підвищених температур, особливо наприкінці періоду вегетації. Збільшення кількості опадів у порівнянні з базовими умовам, очікується тільки на початку вегетації – до 60%. Збільшення температури повітря під час вегетації призведе до скорочення міжфазних періодів та періоду вегетації в цілому на 10%, що в свою чергу може призвести до зменшення врожайності зеленої маси кукурудзи на 4–16% залежно від реалізації одного (RCP6.0+CO_2), чи другого (RCP6.0) варіантів сценарію.

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 зеленої маси кукурудзи в умовах кліматичних змін.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Костюкєвич Т. К., Данілова Н. В., Мартинова М. С., Бондар О. Г. Оцінка агрокліматичних умов формування вегетативної маси кукурудзи на зелений корм в умовах Тернопільської області. *Science and society: trends of interaction* : collective monograph. Sherman Oaks, California. 2023. P. 9-19. doi: 10.51587/9798-9866-95945-2023-012-9-19.
2. Climate Smart Agriculture. URL: https://www.fao.org/policy-support/policy-themes/climate-smart-agriculture/en/
3. Польовий А. М., Костюкєвич Т. К., Толмачова А. В., Барсукова О. А. Вплив кліматичних змін на формування продуктивності кукурудзи в Західному Лісостепу України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. Миколаїв, 2021. № 1(109). С. 29-34. doi: 10.31521/2313-092X/2021-1(109)-4
4. Костюкєвич Т. К., Корень В. В. Оцінка мінливості врожайності зеленої маси кукурудзи в Житомирській області. Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих учених і науково-педагогічних працівників, м. Умань, 24 травня 2023 р. Умань: ВПЦ «Візаві», 2023. С. 33-35. URL: http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/11737
5. Костюкєвич Т. К., Адаменко Т. І. Вплив змін клімату на продуційний процес кукурудзи. *Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України* : колективна монографія / за ред. С. М. Степаненко, А.М. Польового. Одеса : Видавництво «ТЕС», 2015. С. 369-380.
6. Зімароєва А. А. Оцінка впливу змін клімату на продуктивність кукурудзи в межах Поліської та Лісостепової зон України. *Наукові горизонти*. Житомир, 2019. № 22(11). С. 113-120. doi: 10.33249/2663-2144-2019-84-11-113-120.
7. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату: колективна монографія / за ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. Одеса: ТЕС. 2018. 548 с.
8. Ozturk I., Kristensen I. S., Baby S. Sensitivity of silage-maize to climate change in Denmark: A productivity analysis using impact response surface. *European Journal of Agronomy*. 2018. Vol. 98. P. 55-64. doi: 10.1016/j.eja.2018.05.007
9. Dahri S. H., Shaikh I. A., Talpur M. A., Mangrio M. A. er al. Modelling the impacts of climate change on the sustainability of rainfed and irrigated maize in Pakistan. *Agricultural Water Management*. Vol. 296, 2024. P. 1-15. doi: 10.1016/j.agwat.2024.108794
10. Sharma V., Irmak A., Kabenge I., Irmak S. Application of GIS and geographically weighted regression to evaluate the spatial non-stationarity relationships between precipitation vs. irrigated and rainfed maize and soybean yields. *Transactions of the ASABE*. 2011. Vol. 54(3). P. 953-972.
11. 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/
12. Польовий А. М. Базова модель оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур. *Метеорологія, кліматологія та гідрологія.* Одесса, 2004. Вип. 48. С. 195-205.
13. Xiao D., Tao F. Contributions of Cultivar Shift, Management Practice and Climate Change to Maize Yield in North China Plain in 1981-2009. *International Journal of Biometeorology*. 2016 Vol. 60. P. 1111-1122. doi: 10.1007/s00484-015-1104-9.
14. Parkes B., Sultan B., Ciais P. The Impact of Future Climate Change and Potential Adaptation Methods on Maize Yields in West Africa. *Climatic Change*. 2018. Vol. 151. P. 205-217. URL: doi: 10.1007/s10584-018-2290-3.
15. Araya A., Hoogenboom G., Luedeling E., Hadgu K. M., Kisekka I. Assessment of Maize Growth and Yield Using Crop Models under Present and Future Climate in Southwestern Ethiopia. *Agricultural and Forest Meteorology.* 2015. Vol. 214. P. 252-265. doi: 10.1016/j.agrformet.2015.08.259.

REFERENCES:

1. Kostiukievych, T. K. Danilova, N. V., Martynova, M. S., & Bondar, O. H. (2023). Otsinka ahroklimatychnykh umov formuvannia vehetatyvnoi masy kukurudzy na zelenyi korm v umovakh Ternopilskoi oblasti [Assessment of agro-climatic conditions for the formation of the vegetative mass of corn for green fodder in the conditions of the Ternopil oblast]. *Science and society: trends of interaction : collective monograph*. 9-19. doi: 10.51587/9798-9866-95945-2023-012-9-19 [in Ukrainian].
2. Climate Smart Agriculture. URL: https://www.fao.org/policy-support/policy-themes/climate-smart-agriculture/en/
3. Polovyi, A.M., Kostiukievych, T.K., Tolmachova, A.V., & Barsukova, O.A. (2021). Vplyv klimatychnykh zmin na formuvannia produktyvnosti kukurudzy v Zakhidnomu Lisostepu Ukrainy [The impact of climatic changes on forming the corn productivity in the western forest-steppe of Ukraine]. *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomoria*, 109, 29-34. doi: 10.31521/2313-092X/2021-1(109)-4 [in Ukrainian].
4. Kostiukievych, T.K., & Koren, V.V. (2023). Otsinka minlyvosti vrozhainosti zelenoi masy kukurudzy v Zhytomyrskii oblasti [Evaluation of the variability of the yield of the green mass of corn in the Zhytomyr region]. Materialy Vseukrainskoi naukovoi konferentsii molodykh uchenykh i naukovo-pedahohichnykh pratsivnykiv, m. Uman, 24 travnia 2023 r. 33-35. URL: http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/11737 [in Ukrainian].
5. Kostiukievych, T.K., & Adamenko, T.I. (2015). Vplyv zmin klimatu na produtsiinyi protses kukurudzy [The impact of climate change on the production process of corn]. *Klimatychni zminy ta yikh vplyv na sfery ekonomiky Ukrainy : kolektyvna monohrafiia*, Odesa: TEC, 369-380 [in Ukrainian].
6. Zimaroieva, A.A. (2019). Otsinka vplyvu zmin klimatu na produktyvnist kukurudzy v mezhakh Poliskoi ta Lisostepovoi zon Ukrainy [Assessment of the climate changes impact on the productivity of maize within the Polissya and Forest steppe ecoregions within Ukraine]. *Naukovi horyzonty*, 22(11), 113-120. doi: 10.33249/2663-2144-2019-84-11-113-120 [in Ukrainian].
7. Stepanenka, S.M., & Polovoho, A.M. (Eds.). (2018). Klimatychni ryzyky funktsionuvannia haluzei ekonomiky Ukrainy v umovakh zminy klimatu [Climatic risks of the

functioning of branches of the economy of Ukraine in the conditions of climate change]. Odesa: TEC, 548 [in Ukrainian].
8. Ozturk, I., Kristensen, I.S., & Baby, S. (2018). Sensitivity of silage-maize to climate change in Denmark: A productivity analysis using impact response surface. *European Journal of Agronomy*, 98, 55-64. doi: 10.1016/j.eja.2018.05.007
9. Dahri, S.H., Shaikh, I.A., Talpur, M.A., & Mangrio, M.A. et al. (2024). Modelling the impacts of climate change on the sustainability of rainfed and irrigated maize in Pakistan. *Agricultural Water Management*, 296, 1-15 doi: 10.1016/j.agwat.2024.108794
10. Sharma, V., Irmak, A., Kabenge, I., & Irmak, S. (2011). Application of GIS and geographically weighted regression to evaluate the spatial non-stationarity relationships between precipitation vs. irrigated and rainfed maize and soybean yields. *Transactions of the ASABE*, 54(3), 953-972
11. 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/
12. Polovyi, A.M. (2004). Bazova model otsinky ahroklimatychnykh resursiv formuvannia produktyvnosti silskohospodarskykh kultur [The basic model of assessment of agroclimatic resources for the formation of productivity of agricultural crops]. *Meteorolohiia, klimatolohiia ta hidrolohiia*, 48, 195-205 [in Ukrainian].
13. Xiao, D., & Tao, F. (2016). Contributions of Cultivar Shift, Management Practice and Climate Change to Maize Yield in North China Plain in 1981-2009. *International Journal of Biometeorology*, 60, 1111-1122. doi: 10.1007/s00484-015-1104-9
14. Parkes, B., Sultan, B., & Ciais, P. (2018). The Impact of Future Climate Change and Potential Adaptation Methods on Maize Yields in West Africa. *Climatic Change,* 151, 205-217. URL: doi: 10.1007/s10584-018-2290-3
15. Araya, A., Hoogenboom, G., Luedeling, E., Hadgu, K.M., & Kisekka, I. (2015). Assessment of Maize Growth and Yield Using Crop Models under Present and Future Climate in Southwestern Ethiopia. *Agricultural and Forest Meteorology,* 214, 252-265. doi: 10.1016/j.agrformet.2015.08.259

Костюкєвич Т.К., Волошина О.В. Вплив кліматичних змін на формування продуктивності посівів кукурудзи на зелений корм в Центральному Лісостепу України

Мета дослідження полягала в оцінці можливого впливу кліматичних змін на формування продуктивності посівів кукурудзи на зелену масу в умовах Центрального Лісостепу України. **Методи**. В роботі проводиться порівняння прогнозованих даних з минулими, зокрема, середніми багаторічними величинами за базовий період. У даному дослідженні за базовий береться період з 1991 по 2020 роки. Для оцінки впливу можливих змін клімату 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+CO_2, що враховує збільшення CO_2 на 30%. **Результати**. У результаті поведеного дослідження встановлено, що період вегетації кукурудзи для отримання зеленої маси за умовами змін клімату скоротиться на 11 днів, що призведе до скорочення тривалості міжфазних періодів, особливо міжфазного періоду викидання волоті – молочна стиглість. При цьому очікується збільшення середньої температури повітря в середньому за період на 1°С, а у період викидання волоті – молочна стиглість на 2,5°С. Збільшення кількості опадів у порівнянні з базовими умовам, очікується тільки в період сівба-сходи – до 60%. В цілому за період вегетації очікується зменшення кількості опадів на 12%. За сценарними даними (RCP6.0) очікується зменшення значення максимальної площі листкової поверхні на 10% у порівнянні з базовими даними, як результат – зменшення врожаю на 16%. Але за рахунок збільшення CO_2 на 30% можна очікувати збільшення значення максимальної площі листкової поверхні на 6% у порівнянні з базовими даними, що може призвести до зменшення врожаю лише на 4%. **Висновки.** На основі сценарію зміни клімату (упродовж 2021–2050 рр.) та динамічної моделі формування врожаю зеленої маси кукурудзи встановлено, що вегетаційний період цієї культури буде проходити на фоні значно підвищених температур, особливо наприкінці періоду вегетації. Збільшення кількості опадів у порівнянні з базовими умовам, очікується тільки на початку вегетації. Збільшення температури повітря під час вегетації призведе до скорочення міжфазних періодів та періоду вегетації в цілому на 10%, що в свою чергу може призвести до зменшення врожайності.

Ключові слова: тривалість міжфазного періоду, температура повітря, опади, чиста продуктивність фотосинтезу, урожай.

Kostiukievych T.K., Voloshina O.V. The influence of climatic changes on the formation of the productivity of corn crops for green fodder in the Central Forest-Steppe of Ukraine

Purpose. The purpose of the study was to assess the possible impact of climate change on the formation of the productivity of corn crops on green mass in the conditions of the Central Forest Steppe of Ukraine. **Methods.** The work compares the forecasted data with the past, in particular, the average multi-year values for the base period. In this study, the period from 1991 to 2020 is taken as the base. To assess the impact of possible climate changes, the RCP 6.0 scenario (representative concentration trajectories), which is a stabilization scenario and is currently considered the most realistic option, and the RCP 6.0+CO_2 scenario, which takes into account a 30% increase in CO_2, were used. **Results.** As a result of the conducted research, it was established that the vegetation period of corn to obtain green mass under the conditions of climate change will be reduced by 11 days, which will lead to a reduction in the duration of interphase periods, especially the interphase period of panicle shedding – milk ripeness. At the same time, the average air temperature is expected to increase by 1°C on average during the period, and during the period of panicle shedding – milk ripeness by 2.5°C. An increase in the amount of precipitation compared to the basic conditions is expected only during the sowing-seedling period – up to 60%. In general, a 12% decrease in precipitation is expected during the growing season. According to the scenario data (RCP6.0), a 10% decrease in the

value of the maximum leaf surface area is expected compared to the baseline data, as a result – a 16% decrease in yield. But due to an increase in CO_2 by 30%, we can expect an increase in the value of the maximum leaf surface area by 6% compared to the baseline data, which can lead to a decrease in yield by only 4%. **Findings.** Based on the climate change scenario (during 2021–2050) and the dynamic model of the formation of the crop of green mass of corn, it was established that the growing season of this crop will take place against the background of significantly increased temperatures, especially at the end of the growing season. An increase in the amount of precipitation compared to the basic conditions is expected only at the beginning of the growing season. An increase in air temperature during the vegetation period will lead to a reduction of interphase periods and the vegetation period as a whole by 10%, which in turn may lead to a decrease in yield.

Key words: duration of the interphase period, air temperature, precipitation, net productivity of photosynthesis, yield.