

DOI <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-3.4>
УДК 633.15:631.8:631.67(477.72)

Іванів М. О.

кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
в.о. завідувача кафедри рослинництва та агроінженерії,
Херсонський державний аграрно-економічний університет
Кропивницький, Україна
E-mail: ivaniv_m@ksaeu.kherson.ua
ORCID: 0000-0002-4793-6194

Сидякіна О. В.

кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри рослинництва та агроінженерії,
Херсонський державний аграрно-економічний університет
Кропивницький, Україна
E-mail: sydiakina_o@ksaeu.kherson.ua
ORCID: 0000-0001-8812-6078

Гамула Є. А.

здобувач наукового ступеня доктора філософії,
Херсонський державний аграрно-економічний університет
Кропивницький, Україна
E-mail: gatula2204@gmail.com
ORCID: 0009-0007-5214-7599

ВПЛИВ ГУСТОТИ СТОЯННЯ РОСЛИН ТА МІКРОДОБРИВ НА ВОДОСПОЖИВАННЯ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ В УМОВАХ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

Анотація

У статті наведено результати досліджень з вивчення впливу густоти стояння рослин та позакореневих підживлень мікродобривами на сумарне водоспоживання і коефіцієнт водоспоживання посівів гібридів кукурудзи марки DEKALB в ґрунтово-кліматичних умовах Північного Степу України. Метою дослідження було встановити ефективні агротехнічні заходи, які забезпечують раціональне використання вологи, збереження родючості ґрунтів та високу продуктивність агроценозів кукурудзи. Польові дослідження проводили у 2022–2024 рр. на чорноземі звичайному малогумусному в ТОВ АФ «Агротехнологія-Плюс» Кропивницького району Кіровоградської області. У трифакторному досліді вивчали гібриди різних груп ФАО (310–420), вісім рівнів густот стояння рослин (55–110 тис./га) та три варіанти позакореневих підживлень (контроль – обробка водою, Аміно Ультра Кукурудза, Мікро-Мінераліс Кукурудза). За результатами досліджень встановлено, що сумарне водоспоживання суттєво залежало від погодних умов року: від 1487 м³/га у найпосушливішому 2024 р. до 4219 м³/га у найбільш зволоженому 2022 р. У середньому 61,8% водоспоживання забезпечували опади, решта припадала на запаси ґрунтової вологи. Найнижчим коефіцієнт водоспоживання (236–309 м³/т) визначено у 2024 р., найвищим (367–391 м³/т) – у 2022 р. Оптимальною у дослідженнях була густина стояння рослин у діапазоні 55–75 тис./га, для якої характерні найбільш ощадливі витрати води на формування одиниці врожаю (308–311 м³/т). Застосування мікродобрив сприяло більш економічному використанню води – коефіцієнт водоспоживання знижувався на 11–17% порівняно з контролем. Найвищу ефективність забезпечили позакореневі підживлення мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза. Між сумарним водоспоживанням, коефіцієнтом водоспоживання та врожайністю зерна встановлено дуже тісні кореляційні зв'язки ($R^2 = 0,9280–0,9995$), що засвідчує високу ефективність досліджуваних елементів технології вирощування кукурудзи у контексті адаптації до змін клімату та дефіциту водних ресурсів.

Ключові слова: кукурудза, гібрид, густина стояння рослин, позакореневе підживлення, мікродобриво, сумарне водоспоживання, коефіцієнт водоспоживання.

Вступ. За сучасних кліматичних змін, що супроводжуються більш частими періодами посухи, нерівномірним розподілом опадів та зростанням температур атмосферного повітря, питання раціонального використання водних ресурсів набуває особливої актуальності. Кукурудза відома як посухостійка культура, проте вона чутлива до нестачі вологи, особливо в критичні фази росту й розвитку – ВВСН 61–69 (цвітіння) і ВВСН 75–79 (налив

зерна). Водний стрес під час цвітіння уповільнює ріст і розвиток рослин та збільшує інтервал між появою тичинок і приймочок (ASI), що призводить до послаблення заплідненості й абортів зерен (ZmEXPA5 визначено геном, який зменшує ASI та підвищує рівень урожайності) [6; 9].

Нестача вологи під час цвітіння кукурудзи призводить до зниження загальної ефективності фотосинтезу та його окремих складових (закриття продихів, пригнічення активності ферментів), що обмежує транспортування асимілятів до зерна, що знаходиться у стадії формування. Нестача вологи призводить до зниження внутрішньої концентрації CO₂ у листках через закриття продихів, а також інгібує ферментативні процеси в циклі Кальвіна-Бенсона, що ще більшою мірою послаблює ефективність фотосинтезу. Як результат, порушується синтез і транспортування вуглеводів до зав'язі та знижується виповненість зерна [5].

Рациональне водоспоживання посівів кукурудзи значною мірою обумовлюється біологічними особливостями гібридів, густотою стояння рослин та ефективністю живлення, зокрема проведенням позакоренових підживлень мікродобривами. Добір адаптованих до регіональних умов гібридів, оптимізації просторового розміщення та живлення рослин дозволяють не лише підвищити продуктивність агроценозів, а й забезпечити рациональне використання ґрунтової вологи посівами [1–4; 10].

У дослідженнях останніх років акцентовано увагу на важливості інтеграції агрофізіологічного моніторингу з технологічними заходами, які забезпечують адаптацію рослин до умов водного стресу. Використання сучасних гібридів кукурудзи з підвищеною толерантністю до посухи у поєднанні з контрольованими агротехнічними заходами дозволяє послабити негативний вплив абіотичних чинників на ріст, розвиток і продуктивність культури [7; 8].

Дослідження впливу особливостей гібридів, густоти стояння рослин та позакоренових підживлень мікродобривами на водоспоживання посівів кукурудзи є науково обґрунтованим, практично орієнтованим та спрямованим на розробку ресурсозберігаючих елементів технології вирощування за умов обмеженого зволоження.

Мета дослідження – дослідити вплив густоти стояння рослин та позакоренових підживлень мікродобривами на сумарне водоспоживання та коефіцієнт водоспоживання гібридів кукурудзи марки DEKALB різних груп ФАО в умовах Північного Степу України.

Виклад основного матеріалу. Польові дослідження проводили впродовж 2022–2024 рр. на чорноземі звичайному малогумусному глибокому в ТОВ АФ «Агротехнологія-Плюс» Кропивницького району Кіровоградської області за загальноприйнятими методиками.

Дослід трифакторний. Фактор А – гібриди кукурудзи марки DEKALB різних груп ФАО (310–420). Фактор В – густота стояння рослин (55–110 тис./га). Фактор С – позакоренові підживлення мікродобривами: обробка водою – контроль, Аміно Ультра Кукурудза (0,75 кг/га), Мікро-Мінераліс Кукурудза (1,5 л/га). Обробку посівів проводили двічі – у фази 3–5 і 7–9 листків.

Вміст вологи в шарі ґрунту 0–100 см визначали перед сівбою та після збирання врожаю термостатно-ваговим методом. Для обчислення сумарного водоспоживання використовували метод водного балансу. Коефіцієнт водоспоживання розраховували за відношенням сумарного водоспоживання до врожайності зерна.

Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали згідно програми Microsoft Excel та програмно-інформаційного комплексу Agrostat. Оцінку тісноти кореляційного зв'язку проводили відповідно до шкали Чеддока.

За результатами досліджень встановлено, що сумарне водоспоживання посівів кукурудзи значно залежало від умов вологозабезпеченості років вирощування. Максимальним його визначено у найбільш вологому 2022 р. – 4219 м³/га, мінімальним – у найпосушливішому 2024 р. – 1487 м³/га, або в 2,8 рази меншим (табл. 1).

Таблиця 1

Сумарне водоспоживання та його баланс за вирощування кукурудзи (середнє за досліджуваними факторами)

Рік вирощування	Сумарне водоспоживання, м ³ /га	Частка у балансі, м ³ /га	
		опадів	ґрунтової вологи
2022	4219	2850	1369
2023	2512	1455	1057
2024	1487	772	715
2022–2024 рр.	2739	1692	1047

Частка опадів і ґрунтової вологи у балансі водоспоживання кукурудзи впродовж 2022–2024 рр. свідчить про варіативність джерел вологозабезпечення залежно від агрокліматичних умов року.

У 2022 р., який характеризувався відносно сприятливими умовами з достатньою кількістю опадів упродовж вегетаційного періоду, переважну частку балансу водоспоживання забезпечили атмосферні опади – 67,6%, на частку ґрунтової вологи припадало 32,4% (рис. 1).

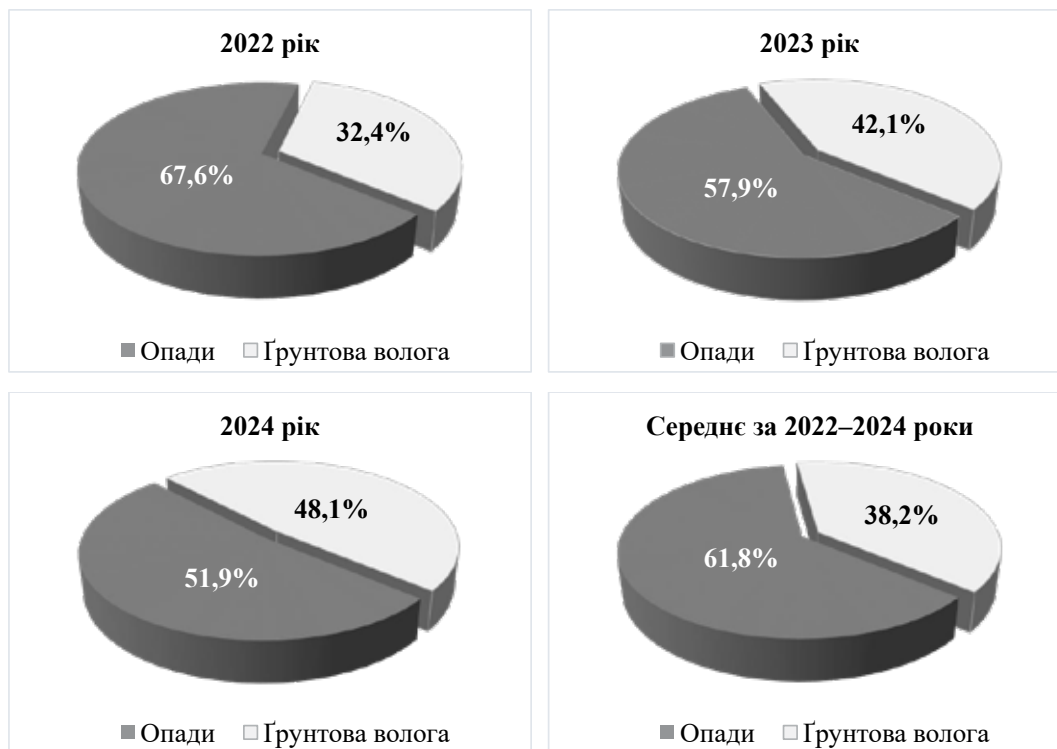


Рис. 1. Складові елементи балансу сумарного водоспоживання (середнє за досліджуваними факторами), %

У 2023 р. зменшення кількості опадів призвело до зростання частки використання води з ґрунтових запасів до 42,1%, опади при цьому забезпечували 57,9% потреби рослин. У 2024 р. частка опадів у балансі водоспоживання знизилася до 51,9%, і майже половину потреби (48,1%) рослини кукурудзи використовували із запасів ґрунтової вологи, що підтверджує зростання посушливості у регіоні.

У середньому за три роки досліджень атмосферні опади формували 61,8% сумарного водоспоживання посівів кукурудзи, а ґрунтові вологозапаси – 38,2%, що обґрунтовує вирішальне значення вологозабезпеченості в умовах Північного Степу, особливо за сучасних кліматичних змін.

Побудована кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зерна та сумарним водоспоживанням посівів кукурудзи засвідчує дуже сильний зв'язок між досліджуваними показниками, що підтверджує коефіцієнт кореляції $R = 0,9791-0,9837$.

Рівень зволоження років вирощування суттєво вплинув на формування коефіцієнту водоспоживання. Найнижчими його значення були у найпосушливішому 2024 р., найвищими – у 2022 р., у якому він був у середньому по досліді в 1,6 разів більшим.

У 2022 р., який характеризувався найвищим рівнем зволоження, коефіцієнт водоспоживання був максимальним у досліді і коливався в межах 367–391 м³/т залежно від гібриду. У 2023 р. він виявився значно меншим, мінімальні його значення забезпечили гібриди ДКС 4098 (ФАО 310) і ДКС 5206 (ФАО 420) – 291 і 296 м³/т відповідно, а найбільші – ДКС 4391 (ФАО 350) та ДКС 5075 (ФАО 410) – 309 м³/т. Найменшу кількість води на формування одиниці врожаю посіви кукурудзи витрачали у 2024 р., коли через недостатнє зволоження коефіцієнт водоспоживання варіював у межах від 252 до 309 м³/т. У середньому за три роки досліджень коефіцієнт водоспоживання для більшості гібридів виявився практично однаковим і знаходився у межах 313–316 м³/т, виняток складав лише гібрид ДКС 4598 (ФАО 360), у якого даний показник становив 333 м³/т, що вказує на більші потреби даного гібриду до умов вологозабезпеченості.

Коефіцієнт водоспоживання суттєво залежав від густоти стояння рослин, що свідчить про значний вплив даного елемента технології на ефективність використання води рослинами (табл. 2).

У сприятливому за зволоженням 2022 р. найнижчі значення коефіцієнта водоспоживання визначено за густоти стояння рослин 75 тис./га – 367 м³/т, максимальні – у надмірно загущених посівах (110 тис./га) – 402 м³/т. У 2023 р. найнижчий коефіцієнт водоспоживання забезпечила густота стояння рослин 65–70 тис./га (293–295 м³/т), за всіх інших рівнів густот він зростав. У найбільш посушливому 2024 р. коефіцієнт водоспоживання варіював у межах від 236 м³/т за густоти стояння рослин 55 тис./га до максимальних значень 319 м³/т за щільності посівів 90 тис./га.

У середньому за 2022–2024 рр. найефективнішим використання води посівами кукурудзи визначено за густоти стояння рослин 55–75 тис./га (308–311 м³/т), що дозволяє вважати даний діапазон як оптимальний відносно витрат води на формування одиниці врожаю. Найвищі значення коефіцієнта водоспоживання у середньому за

три роки досліджень забезпечила густота стояння рослин 90–110 тис./га – 328–336 м³/т, що вказує на нераціональні витрати вологи у загущених посівах.

Таблиця 2. Вплив густоти стояння рослин на коефіцієнт водоспоживання посівів кукурудзи у середньому за факторами, м³/т

Густота стояння рослин, тис./га	Роки досліджень			Середнє за 2022–2024 рр.
	2022	2023	2024	
55	379	317	236	311
60	373	299	252	308
65	368	295	260	308
70	371	293	266	310
75	367	297	269	311
80	382	301	288	324
90	390	299	319	336
110	402	310	272	328

Позакореневі підживлення мікродобривами найбільшою мірою серед досліджуваних факторів вплинули на коефіцієнт водоспоживання посівів кукурудзи, про що свідчить максимальна різниця між варіантами дослідів (рис. 2).

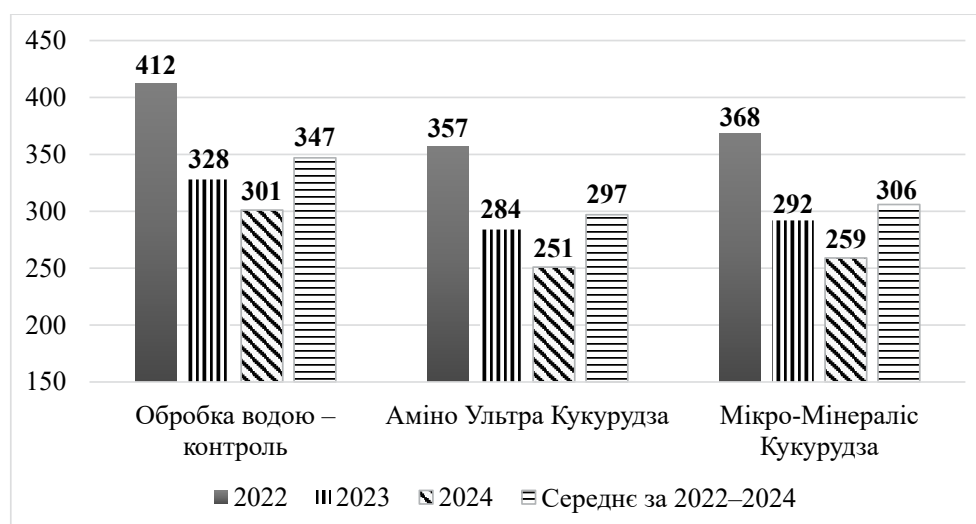


Рис. 2. Вплив позакореневих підживлень мікродобривами на коефіцієнт водоспоживання посівів кукурудзи у середньому за факторами, м³/т

У 2022 р., який характеризувався відносно сприятливими умовами зволоження, коефіцієнт водоспоживання у контрольному варіанті дослідів з обробкою посівів водою становив 412 м³/т. У варіантах із застосуванням мікродобрив Аміно Ультра Кукурудза та Мікро-Мінераліс Кукурудза даний показник був нижчим відповідно на 55 та 44 м³/т, що свідчить про більш ощадливі витрати вологи на формування одиниці врожаю за рахунок проведення позакореневих підживлень посівів.

У 2023 р. коефіцієнт водоспоживання у контролі становив 328 м³/т, а у варіантах із мікродобривами – 284–292 м³/т, тобто на 36–44 м³/т або 11–13% менше, що обґрунтовує позитивну дію позакореневих підживлень навіть за умов менш достатнього зволоження.

У найбільш посушливому 2024 р. ефективність позакореневих підживлень мікродобривами зберіглася. У контрольному варіанті коефіцієнт водоспоживання становив 301 м³/т, а у варіантах з Аміно Ультра Кукурудза та Мікро-Мінераліс Кукурудза – 251–259 м³/т, що менше на 42–50 м³/т або 14–17%.

У середньому за три роки досліджень найнижчий коефіцієнт водоспоживання визначено за використання мікродобрива Аміно Ультра Кукурудза – 297 м³/т, що на 50 м³/т менше, ніж у контролі з обробкою посівів водою. За впливу мікродобрива Мікро-Мінераліс Кукурудза коефіцієнт водоспоживання був дещо вищим – 306 м³/т.

Коефіцієнт водоспоживання посівів кукурудзи залежно від гібриду, густоти стояння рослин та позакореневих підживлень мікродобривами у середньому за три роки досліджень підтверджує складну взаємодію між досліджуваними факторами, що обумовлює ефективність використання вологозапасів в агроценозі культури.

Незважаючи на значні коливання коефіцієнту водоспоживання за роками вирощування кукурудзи, результати статистичного аналізу свідчать про наявність дуже тісної залежності між даним показником і рівнем сформованої врожайності: $R^2 = 0,9280\text{--}0,9995$ для густоти стояння рослин та $R^2 = 0,9536\text{--}0,9993$ для гібридів марки DEKALB.

Висновки. Сумарне водоспоживання посівів кукурудзи значною мірою залежало від агрокліматичних умов року вирощування, зокрема кількості атмосферних опадів і ґрунтових вологозапасів, що зумовило різницю майже втричі між найбільш вологим (2022) і найбільш посушливим (2024) роками. Баланс водоспоживання формувався за участі як атмосферних опадів, так і ґрунтової вологи, причому в умовах дефіциту опадів зростала частка використання ґрунтової вологи, що засвідчує її вирішальне значення у забезпеченні водного режиму рослин.

Найменшими витрати води на формування одиниці врожаю визначено за густоти стояння рослин 55–75 тис./га – 308–311 м³/т. Загущення посівів понад 90 тис./га суттєво збільшувало коефіцієнт водоспоживання. Найнижчі його значення забезпечили гібриди ДКС 4391, ДКС 4712 та ДКС 5206, найвищі – гібрид ДКС 4598. Позакореневі підживлення мікродобривами зменшували коефіцієнт водоспоживання на 11–17%. Дещо вищу ефективність забезпечувало мікродобриво Аміно Ультра Кукурудза.

Список використаних джерел

1. Вожегова Р. А., Белов Я. В. Водоспоживання гібридів кукурудзи залежно від елементів технології в зрошуваних умовах Південного Степу України. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 108. С. 12–18. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.108.2>.
2. Носов С. Особливості водоспоживання гібридів кукурудзи різних груп стиглості залежно від строків сівби в Північній підзоні Степу України. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агрономія*. 2014. № 18. С. 210–217.
3. Пустовий С. І., Якунін О. П., Дудка М. І. Агроекономічна ефективність вирощування зерна гібридів кукурудзи залежно від попередника і мінерального удобрення. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 117. С. 142–148. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.117.19>.
4. Шумигай І. В., Дементьєва О. І. Вирощування гібридів кукурудзи на Півдні України в умовах зрошення. *Агроекологічний журнал*. 2014. № 2. С. 74–78. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrog_2014_2_16.
5. Boyer J. S., Westgate M. E. Grain yields with limited water. *Journal of Experimental Botany*. 2004. Vol. 55(407). P. 2385–2394. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh219>.
6. Li Y., Zhang P., Sheng W., Zhang Z., Rose R. J., Song Y. Securing maize reproductive success under drought stress by harnessing CO₂ fertilization for greater productivity. *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. P. 1221095. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1221095>.
7. Sheoran S., Kaur Y., Kumar S., Shukla S., Rakshit S., Kumar R. Recent Advances for Drought Stress Tolerance in Maize (*Zea mays* L.): Present Status and Future Prospects. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. P. 872566. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.872566>.
8. Ssemugenze B., Ocwa A., Kuunya R., Gumisiriya C., Bojtor C., Nagy J., Széles A., Illés A. Enhancing Maize Production Through Timely Nutrient Supply: The Role of Foliar Fertiliser Application. *Agronomy*. 2025. Vol. 15(1). P. 176. <https://doi.org/10.3390/agronomy15010176>.
9. Tao K., Li Ya., Hu Yu., Li Yo., Zhang D., Li C., He G., Song Ya., Shi Yu., Li Yu., Wang T., Lu Yu., Liu X. Overexpression of *ZmEXPA5* reduces anthesis-silking interval and increases grain yield under drought and well-watered conditions in maize. *Molecular Breeding*. 2023. Vol. 43(12). P. 84. <https://doi.org/10.1007/s11032-023-01432-x>.
10. Zhao J., Xue Q., Hao B., Marek T. H., Jessup K. E., Xu W., Bean B. W., Colaizzi P. D. Yield determination of maize hybrids under limited irrigation. *Journal of crop improvement*. 2019. Vol. 33(3). P. 410–427. <https://doi.org/10.1080/15427528.2019.1606129>.

Ivaniv M. O.

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Acting Head of the Department of Crop Production and Agroengineering,
Kherson State Agrarian and Economic University
Kropyvnytskyi, Ukraine
E-mail: ivaniv_m@ksaeu.kherson.ua
ORCID: 0000-0002-4793-6194

Sydiakina O. V.

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Crop Production and Agroengineering,
Kherson State Agrarian and Economic University
Kropyvnytskyi, Ukraine
E-mail: sydiakina_o@ksaeu.kherson.ua
ORCID: 0000-0001-8812-6078

Hamula Ye. A.PhD (Doctor of Philosophy) degree applicant,
Kherson State Agrarian and Economic University
Kropyvnytskyi, Ukraine**E-mail:** gamula2204@gmail.com**ORCID:** 0009-0007-5214-7599**INFLUENCE OF PLANT DENSITY AND MICRONUTRIENTS
ON WATER CONSUMPTION OF MAIZE HYBRIDS UNDER CONDITIONS
OF THE NORTHERN STEPPE OF UKRAINE****Abstract**

The article presents the results of a study on the influence of plant density and foliar micronutrient fertilization on total water consumption and the water consumption coefficient in maize hybrids of the DEKALB brand under the soil and climatic conditions of the Northern Steppe of Ukraine. The aim of the research was to determine effective agrotechnical measures that ensure rational water use, preservation of soil fertility, and high productivity of maize agroecosystems. Field experiments were conducted during 2022–2024 on ordinary low-humus chernozem at Agrotechnologia-Plus LLC, Kropyvnytskyi district, Kirovohrad region. The three-factor experiment included hybrids of different FAO groups (310–420), eight levels of plant density (55–110 thousand plants/ha), and three options for foliar fertilization (control – water treatment, Amino Ultra Maize, Micro-Mineralis Maize). According to the results, total water consumption varied significantly depending on the weather conditions of the year: from 1487 m³/ha in the driest year (2024) to 4219 m³/ha in the wettest (2022). On average, 61.8% of water consumption was provided by precipitation, while the rest came from soil moisture reserves. The lowest water consumption coefficient (236–309 m³/t) was recorded in 2024, and the highest (367–391 m³/t) in 2022. The optimal plant density ranged from 55 to 75 thousand plants/ha, as this range showed the most efficient water use for grain formation (308–311 m³/t). The use of micronutrient foliar fertilizers contributed to more economical water use—the water consumption coefficient decreased by 11–17% compared to the control. The highest efficiency was observed with the application of Amino Ultra Maize. Very strong correlations ($R^2 = 0.9280–0.9995$) were established between total water consumption, the water consumption coefficient, and grain yield, confirming the high efficiency of the studied maize cultivation practices in the context of climate change adaptation and water resource scarcity.

Key words: maize, hybrid, plant density, foliar feeding, micronutrient fertilizer, total water consumption, water consumption coefficient.

References

1. Vozhehova, R. A., & Bielov, Ya. V. (2019). Vodospozhyvannia hibrydiv kukurudzy zalezno vid elementiv tekhnolohii v zroshuvanykh umovakh Pivdennoho Stepu Ukrainy [Water consumption of corn hybrids depending on technology elements in irrigated conditions of the Southern Steppe of Ukraine]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk – Tavria Scientific Bulletin*, 108, 12–18. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.108.2> [in Ukrainian].
2. Nosov, S. (2014). Osoblyvosti vodospozhyvannia hibrydiv kukurudzy riznykh hrup styhlosti zalezno vid strokiv sivyv v Pivnichnii pidzoni Stepu Ukrainy [Peculiarities of water consumption of corn hybrids of different maturity groups depending on sowing dates in the Northern subzone of the Steppe of Ukraine]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Ahronomiia – Bulletin of Lviv National Agrarian University. Agronomy*, 18, 210–217 [in Ukrainian].
3. Pustovyi, S. I., Yakunin, O. P., & Dudka, M. I. (2021). Ahroekonomichna efektyvnist vyroshchuvannia zerna hibrydiv kukurudzy zalezno vid poperednyka i mineralnoho udobrennia [Agroeconomic efficiency of growing corn hybrids depending on the predecessor and mineral fertilizer]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk – Tavria Scientific Bulletin*, 117, 142–148. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.117.19> [in Ukrainian].
4. Shumyhai, I. V., & Dementieva, O. I. (2014). Vyroshchuvannia hibrydiv kukurudzy na Pivdni Ukrainy v umovakh zroshennia [Growing corn hybrids in Southern Ukraine under irrigated conditions]. *Ahroekologichnyi zhurnal – Agroecological Journal*, 2, 74–78 [in Ukrainian].
5. Boyer, J. S., & Westgate, M. E. (2004). Grain yields with limited water. *Journal of Experimental Botany*, 55(407), 2385–2394. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh219> [in English].
6. Li, Y., Zhang, P., Sheng, W., Zhang, Z., Rose, R. J., & Song, Y. (2023). Securing maize reproductive success under drought stress by harnessing CO₂ fertilization for greater productivity. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1221095. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1221095> [in English].
7. Sheoran, S., Kaur, Y., Kumar, S., Shukla, S., Rakshit, S., & Kumar, R. (2022). Recent Advances for Drought Stress Tolerance in Maize (*Zea mays* L.): Present Status and Future Prospects. *Frontiers in Plant Science*, 13, 872566. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.872566> [in English].
8. Ssemugenze, B., Ocwa, A., Kuunya, R., Gumisiriya, C., Bojtor, C., Nagy, J., Széles, A., & Illés, A. (2025). Enhancing Maize Production Through Timely Nutrient Supply: The Role of Foliar Fertiliser Application. *Agronomy*, 15(1), 176. <https://doi.org/10.3390/agronomy15010176> [in English].
9. Tao, K., Li, Ya., Hu, Yu., Li, Yo., Zhang, D., Li, C., He, G., Song, Ya., Shi, Yu., Li, Yu., Wang, T., Lu, Yu., & Liu, X. (2023). Overexpression of *ZmEXPA5* reduces anthesis-silking interval and increases grain yield under drought and well-watered conditions in maize. *Molecular Breeding*, 43(12), 84. <https://doi.org/10.1007/s11032-023-01432-x> [in English].
10. Zhao, J., Xue, Q., Hao, B., Marek, T. H., Jessup, K. E., Xu, W., Bean, B. W., & Colaizzi, P. D. (2019). Yield determination of maize hybrids under limited irrigation. *Journal of crop improvement*, 33(3), 410–427. <https://doi.org/10.1080/15427528.2019.1606129> [in English].

Отримано: 30.06.2025

Рекомендовано: 04.09.2025

Опубліковано: 29.08.2025