УДК 633.15:631.543.2:631.8(477.63)
DOI DOI https://doi.org/10.32848/0135-2369.2026.86.9

АГРОБІОЛОГІЧНА АДАПТИВНІСТЬ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ ЗА РІЗНОЇ ГУСТОТИ СТОЯННЯ ТА МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ В ПІВНІЧНОМУ СТЕПУ УКРАЇНИ

ЦИЛЮРИК О.І. – доктор сільськогосподарських наук, професор
orcid.org/0000-0002-7479-8401
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
ТИЩЕНКО В.О. – доктор філософії
orcid.org/0009-0006-6872-3223
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Постановка проблеми. У системі агротехнічних заходів, спрямованих на підвищення врожайності зерна кукурудзи в Північному Степу України, важливе місце належить добору гібридів, формуванню густоти стояння рослин та застосуванню мінеральних добрив. Ефективність зазначених заходів значною мірою залежить від забезпеченості посівів вологою, поживного режиму ґрунту і біологічних особливостей гібрида. Збільшення кількості рослин на одиниці площі до певної межі сприяє зростанню зернової продуктивності, однак подальше загущення посилює конкуренцію за воду, світло та елементи живлення. За незрошуваного вирощування це потребує диференційованого підходу до вибору густоти та фону удобрення.

Вибираючи технологію вирощування кукурудзи, необхідно враховувати не лише рівень одержаного врожаю, а й характер його зміни під впливом окремих агротехнічних заходів. У цьому відношенні агробіологічна адаптивність характеризує здатність гібрида реалізувати продуктивний потенціал за досліджуваних поєднань густоти стояння рослин і мінерального живлення. Водночас висока середня врожайність сама по собі не визначає екологічної стабільності або посухостійкості. Для встановлення цих властивостей потрібне окреме зіставлення реакції генотипів у різних середовищах, зокрема за підходом S. A. Eberhart і W. A. Russell [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання формування оптимальної густоти посівів кукурудзи широко висвітлено у працях вітчизняних і зарубіжних учених. За узагальненнями L. Sangoi, I. S. Tokatlidis та S. D. Koutroubas, реакція культури на загущення залежить від забезпеченості ресурсами та здатності рослин зберігати продуктивність качана за посилення внутрішньовидової конкуренції [6; 7]. Неоднакова чутливість гібридів до зміни площі живлення пов'язана з особливостями накопичення біомаси та розподілу асимілятів між вегетативними і генеративними органами [8; 9].

Підвищення врожайності сучасних гібридів дослідники пов'язують, зокрема, зі зростанням їхньої стійкості до стресових умов та здатністю формувати зерно за більшої густоти посіву [12; 19]. При цьому строк сівби і кількість рослин на одиниці площі змінюють умови використання ресурсів протягом вегетації [10; 11]. Отже, однакова густота стояння може забезпечувати сприятливі умови для одного гібрида і бути надмірною для іншого, що зумовлює необхідність їх випробування в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах.

Щодо впливу мінерального живлення, то важливе значення мають не лише дози внесених добрив, а й строки поглинання елементів та їх подальший перерозподіл у рослинах. У працях R. R. Bender зі співавторами та I. A. Ciampitti і T. J. Vyn показано залежність продуктивності кукурудзи від динаміки засвоєння поживних речовин [13; 14]. Надходження азоту протягом вегетації та його ремобілізація з вегетативних органів спільно визначають забезпечення зерна цим елементом [15; 16]. Тому оцінювання віддачі добрив урожаєм слід відрізняти від фізіологічної ефективності поглинання й використання окремих елементів живлення [17; 18].

За результатами міжнародних узагальнень, ефективність підвищення густоти посівів змінюється залежно від генотипу та умов вирощування [2; 3]. Метааналізи 2024–2025 рр. також засвідчують доцільність узгодження кількості рослин з азотним живленням, водозабезпеченням та іншими елементами технології [21; 22]. Разом з тим наведені в цих роботах оптимальні рівні густоти потребують перевірки для незрошуваних умов Північного Степу України, де інше співвідношення запасів вологи, ґрунтової родючості та норм удобрення може змінювати реакцію посівів.

В Україні вплив густоти та фону живлення на водоспоживання і продуктивність кукурудзи досліджували, зокрема, в умовах зрошення; встановлено також значення поживного режиму та гумусного стану ґрунту для формування врожаю [23; 24]. У попередніх публікаціях авторів висвітлено зміну врожайності зерна та вмісту хлорофілу в листках під впливом зазначених чинників [4; 5]. Окремо розглянуто якісні показники зерна [25]. Подальше узагальнення одержаних результатів доцільно спрямувати на зіставлення реакції гібридів і визначення прийнятних поєднань густоти та удобрення. Такий підхід узгоджується з висновками K. A. King та співавторів щодо використання діапазону агротехнічних рішень з урахуванням умов вирощування [20].

Мета статті. Встановити особливості формування зернової продуктивності гібридів кукурудзи за різної густоти стояння рослин і мінерального живлення в незрошуваних умовах Північного Степу України та на цій основі визначити агротехнічні умови найбільш повної реалізації їхнього продуктивного потенціалу.

Матеріали та методика досліджень. Польові дослідження проводили протягом 2022–2024 рр. у фермерському господарстві «Юлія і К», розташованому в с. Мар'ївка Самарівського району Дніпропетровської області, у зоні Північного Степу України. Ґрунт дослідної ділянки представлений чорноземом звичайним малогумусним із вмістом гумусу 3,3%. Уміст нітратного азоту ($N\text{-}NO_3$) становив 2,5, рухомих сполук фосфору (P_2O_5) 10,0 та калію (K_2O) 8,9 мг/100 г ґрунту; pH дорівнював 6,9, щільність складення ґрунту 1,2 г/см³. Попередником кукурудзи була пшениця озима. Дослід закладали в умовах природного зволоження, без застосування зрошення.

У досліді вивчали гібриди ДМС Лорд, ДМС Прайм, ДМС 3015 і ДМС Шатл на трьох фонах мінерального живлення: без добрив, $N_{30}P_{30}K_{30}$ та $N_{60}P_{60}K_{60}$, за густоти стояння 30, 40, 50 і 60 тис. рослин/га. Загальна кількість досліджуваних комбінацій становила 48. Мінеральні добрива у вигляді нітроамофоски вносили навесні під передпосівну культивацію. Сівбу проводили з шириною міжрядь 70 см та глибиною загортання насіння 5–6 см. Урожайність визначали шляхом ручного збирання і зважування зерна з подальшим перерахунком на стандартну вологість 14%.

Реакцію гібридів на досліджувані агротехнічні чинники оцінювали за середньою врожайністю зерна, приростами до контролю без добрив та зміною продуктивності в разі загущення посівів. Дію добрив зіставляли за однакових гібрида і густоти, а вплив густоти за однакового фону живлення. Для узагальнення результатів обчислювали рівнозважені середні за відповідними варіантами. Наведені порогові значення найменшої істотної різниці (НІР) для чинників А (гібрид), В (мінеральне живлення), С (густота стояння рослин) та комбінацій АВС становили відповідно 0,8; 0,6; 0,5 і 1,4 т/га. Нових р-значень, довірчих інтервалів і параметрів екологічної стабільності не визначали; оцінювання адаптивності обмежували реакцією врожайності на випробувані агротехнічні умови.

Абсолютний приріст урожайності розраховували як різницю між порівнюваними варіантами: $\Delta Y = Y_2 - Y_1$; відносну зміну визначали за співвідношенням $\Delta Y / Y_1 \times 100\%$. Для зіставлення густот 30 і 50 тис. рослин/га базовим був перший рівень, а для оцінювання подальшого загущення до 60 тис. рослин/га базовим слугував рівень 50 тис. рослин/га. Реакцію на удобрення на відповідній діаграмі визначали щодо варіанта без добрив за густоти 50 тис. рослин/га. На графіках лініями з'єднано експериментальні середні, а концептуальна схема відображає послідовність добору технологічних рішень.

Результати досліджень. Рівень урожайності зерна кукурудзи змінювався залежно від гібрида, густоти стояння рослин та фону мінерального живлення в межах 3,82–6,02 т/га (табл. 1). Найвищі середні показники для кожного гібрида одержано за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ та густоти 50 тис. рослин/га. На зазначеному агрофоні ДМС Лорд сформував 4,60 т/га, ДМС Прайм 5,97, ДМС 3015 6,02 і ДМС Шатл 6,01 т/га зерна. Таким чином, за однакових умов вирощування гібриди помітно відрізнялися за рівнем реалізації зернової продуктивності.

Зі збільшенням густоти стояння рослин від 30 до 50 тис./га врожайність переважно зростала, тоді як подальше загущення до 60 тис./га супроводжувалося її вирівнюванням або зниженням (рис. 1). При цьому характер змін залежав від гібрида та фону удобрення. Так, у ДМС Лорд на неудобрених ділянках за густоти 50 і 60 тис./га одержано практично однакову врожайність, відповідно 4,37 та 4,38 т/га. Подібне вирівнювання відзначено у ДМС Прайм за $N_{30}P_{30}K_{30}$, де зазначені показники становили 5,85 і 5,82 т/га. Отже, межа подальшого зростання продуктивності за загущення не була однаковою для всіх досліджуваних комбінацій.

У середньому за всіма густотами і фонами живлення врожайність ДМС Лорд становила 4,21 т/га, ДМС Прайм 5,26, ДМС 3015 5,24 та ДМС Шатл 5,46 т/га. Порівняно з ДМС Лорд три останні гібриди забезпечували додатково відповідно 1,05; 1,04 і 1,25 т/га зерна, або 24,9; 24,6 і 29,7%. Ці відмінності перевищували наведену НІР для чинника А (0,8 т/га). Водночас різниця між ДМС Прайм, ДМС 3015 та ДМС Шатл залишалася невеликою, у межах 0,02–0,22 т/га, і не досягала зазначеного порогу. Тому за середньою врожайністю їх слід розглядати як групу продуктивніших гібридів без виділення статистично доведеного лідера.

Щодо впливу густоти стояння рослин, то в середньому за дослідом за 30, 40, 50 і 60 тис./га одержано відповідно 4,45; 5,02; 5,48 і 5,23 т/га зерна. Збільшення густоти від 30 до 50 тис./га забезпечувало приріст урожайності 1,03 т/га (23,1%), який перевищував НІР чинника С (0,5 т/га). За подальшого загущення середня врожайність знижувалася на 0,25 т/га (4,5%), однак ця різниця була меншою за

Таблиця 1 – Урожайність зерна кукурудзи залежно від густоти й удобрення, середнє за 2022–2024 рр., т/га

Гібрид	Удобрення	30 тис./га	40 тис./га	50 тис./га	60 тис./га
ДМС Лорд	Без добрив	3,89	4,15	4,37	4,38
	$N_{30}P_{30}K_{30}$	3,95	4,03	4,46	4,28
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	3,82	4,17	4,60	4,39
ДМС Прайм	Без добрив	4,52	5,16	5,68	5,16
	$N_{30}P_{30}K_{30}$	4,39	5,34	5,85	5,82
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	4,53	5,19	5,97	5,48
ДМС 3015	Без добрив	3,86	4,92	5,20	5,15
	$N_{30}P_{30}K_{30}$	4,73	5,48	5,82	5,62
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	4,99	5,32	6,02	5,81
ДМС Шатл	Без добрив	4,41	5,25	5,80	5,43
	$N_{30}P_{30}K_{30}$	4,78	5,32	5,95	5,56
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	5,51	5,86	6,01	5,67

Примітка. Середні за 2022-2024 рр. Порогові значення НІР: А: 0,8; В: 0,6; С: 0,5; АВС: 1,4 т/га.

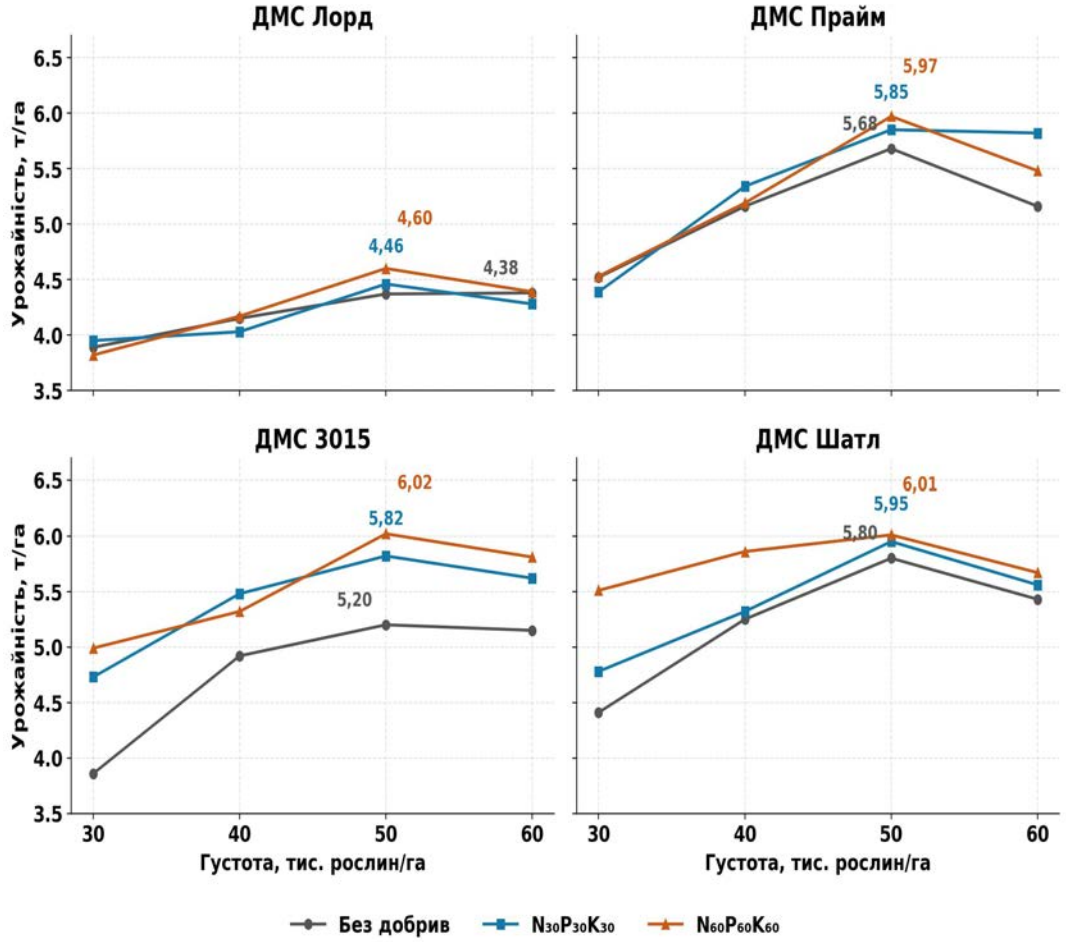


Рис. 1. Урожайність гібридів залежно від густоти та фону живлення

Примітка. Середні за 2022–2024 рр. Підписано чисельні максимуми кривих. Лінії з'єднують випробувані рівні густоти.

наведений поріг. З одержаних даних випливає, що густота 50 тис. рослин/га забезпечувала найбільшу середню продуктивність серед випробуваних рівнів, проте статистично підтвердженої переваги над густотою 60 тис./га не встановлено.

Застосування мінеральних добрив у середньому за всіма гібридами і густотами давало порівняно невисокі прирости врожаю. На фоні без добрив урожайність становила 4,83 т/га, за $N_{30}P_{30}K_{30}$ 5,09, за $N_{60}P_{60}K_{60}$ 5,21 т/га. Прирости щодо неудобреного контролю дорівнювали 0,25 т/га (5,2%) і 0,38 т/га (7,8%) та не досягали НІР чинника В (0,6 т/га). Разом з тим усереднення результатів приховує неоднакову реакцію окремих гібридів, тому віддачу добрив доцільно розглядати з урахуванням конкретної густоти посіву.

Відзначимо також залежність рівня врожаю від умов року. У середньому за всіма варіантами досліду врожайність зерна становила 6,08 т/га у 2022 р., 5,36 т/га у 2023 р. і лише 3,69 т/га у посушливому 2024 р. Порівняно з 2022 р. зниження досягало 2,39 т/га, або 39,3%. Такий розмах показників підкреслює значення умов зволоження для реалізації продуктивного потенціалу кукурудзи. Однак загальне середнє досліду характеризує реакцію посівів у цілому; для визначення посухостійкості окремих гібридів необхідно зіставити їхні річні показники та оцінити взаємодію генотипу із середовищем [1; 8].

Неоднаковий характер реакції гібридів на густоту простежується і за усереднення врожайності за трьома фонами живлення (табл. 2). Збільшення кількості рослин від 30 до 50 тис./га супроводжувалося приростом 0,59 т/га (15,2%) у ДМС Лорд, 1,35 т/га (30,2%) у ДМС Прайм, 1,15 т/га (25,5%) у ДМС 3015 та 1,02 т/га (20,8%) у ДМС Шатл. Подальше загущення до 60 тис./га знижувало середні показники всіх чотирьох гібридів. Наведені абсолютні й відносні зміни уточнюють агрономічну реакцію, а статистичну значущість взаємодії гібрида з густотою за цими описовими показниками не визначали.

Найбільшу віддачу мінерального живлення за густоти 50 тис. рослин/га за чисельними показниками одержано у ДМС 3015 (рис. 2). Внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ забезпечувало тут додатково 0,62 т/га (11,9%), а $N_{60}P_{60}K_{60}$ 0,82 т/га (15,8%) зерна порівняно з неудобреним контролем. У ДМС Лорд прирости від зазначених доз становили відповідно 0,09 і 0,23 т/га (2,1 і 5,3%), ДМС Прайм 0,17 і 0,29 т/га (3,0 і 5,1%),

ДМС Шатл 0,15 і 0,21 т/га (2,6 і 3,6%). Отже, реакція ДМС 3015 на поліпшення поживного режиму була виразнішою за величиною приростів. Водночас відмінності окремих комбінацій залишалися нижчими за HIP ABC (1,4 т/га), що обмежує висновок про статистичну перевагу цієї реакції.

Підвищення дози повного мінерального добрива від $N_{30}P_{30}K_{30}$ до $N_{60}P_{60}K_{60}$ за густоти 50 тис. рослин/га давало значно менший додатковий урожай, ніж перехід від неудобреного фону до першої дози. Різниця між двома удобреними варіантами становила 0,14 т/га у ДМС Лорд, 0,12 т/га у ДМС Прайм, 0,20 т/га у ДМС 3015 та 0,06 т/га у ДМС Шатл. Таким чином, подвоєння кількості внесених елементів живлення не супроводжувалося пропорційним зростанням зернової продуктивності. Це свідчить про необхідність узгодження рівня удобрення з ресурсним забезпеченням посівів, насамперед умовами використання поживних речовин за конкретної густоти [14; 21].

Порівнюючи реакцію ДМС Шатл і ДМС 3015, слід відзначити різне співвідношення врожайності на неудобреному фоні та приросту від добрив. За густоти 50 тис. рослин/га ДМС Шатл без удобрення формував 5,80 т/га зерна, а ДМС 3015 5,20 т/га. На фоні $N_{60}P_{60}K_{60}$ урожайність цих гібридів майже вирівнювалася і становила відповідно 6,01 та 6,02 т/га. Отже, близький кінцевий рівень продуктивності досягався за неоднакової реакції на мінеральне живлення: у ДМС Шатл він поєднувався з вищим урожаєм на контролі, а у ДМС 3015 з більшим приростом від добрив. Ця особливість має значення для диференціації технології, однак не визначає ефективності засвоєння окремих елементів живлення.

З агробіологічного погляду зростання врожайності до певного рівня густоти та її подальше вирівнювання узгоджуються зі зміною індивідуальної продуктивності рослин за посилення конкуренції і здатністю зберігати формування качана [6; 12]. Неоднакова віддача добрив може бути пов'язана з особливостями поглинання й перерозподілу елементів живлення [13; 18]. У наших дослідженнях ці процеси оцінено за їх кінцевим результатом, урожайністю зерна. Тому зазначене пояснення розглядається як агробіологічне обґрунтування виявлених закономірностей; внесок окремих фізіологічних механізмів безпосередньо не визначали.

З проведених досліджень випливає, що добір гібрида, густоти стояння рослин і фону удобрення необхідно здійснювати з урахуванням ресурсів конкретного поля. Для умов господарства густота 50 тис. рослин/га може слугувати вихідним орієнтиром, оскільки забезпечувала найбільшу середню врожайність у випробуваному діапазоні. Остаточне рішення слід узгоджувати із запасами продуктивної вологи, агрохімічним станом ґрунту та реакцією обраного гібрида. Невеликі прирости від добрив в окремих варіантах не усувають необхідності підтримувати баланс поживних речовин у сівозміні [17; 24]. При цьому результати незрошуваного

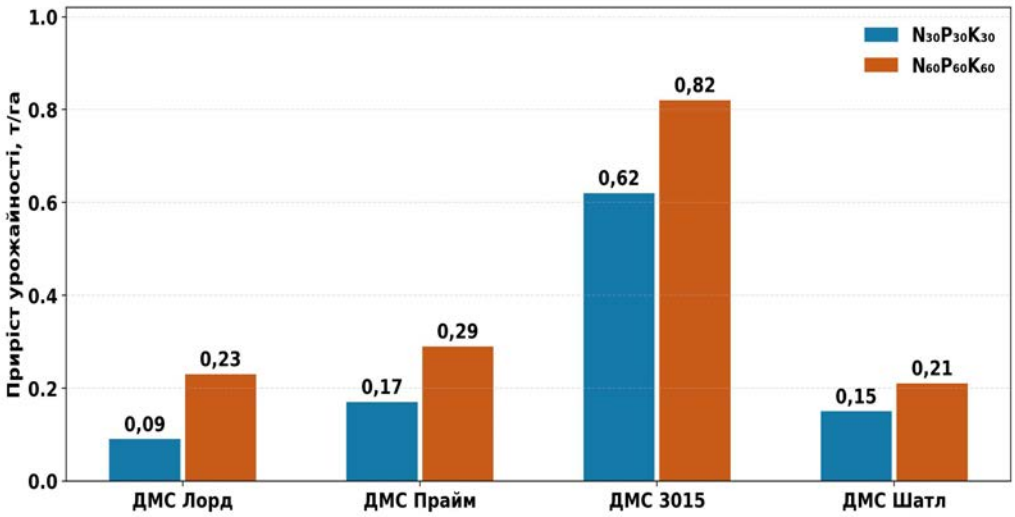


Рис. 2. Приріст урожайності від мінерального живлення щодо контролю за густоти 50 тис. рослин/га

Примітка. Контролем є варіант без добрив за однакових гібрида і густоти стояння рослин.

Таблиця 2 – Порівняльна реакція гібридів на густоту стояння рослин, середнє за 2022–2024 рр.

Гібрид	30 тис./га, т/га	50 тис./га, т/га	60 тис./га, т/га	Приріст від 30 до 50, т/га (%)	Зміна від 50 до 60, т/га (%)
ДМС Лорд	3,89	4,48	4,35	+0,59 (+15,2)	-0,13 (-2,8)
ДМС Прайм	4,48	5,83	5,49	+1,35 (+30,2)	-0,35 (-5,9)
ДМС 3015	4,53	5,68	5,53	+1,15 (+25,5)	-0,15 (-2,7)
ДМС Шатл	4,90	5,92	5,55	+1,02 (+20,8)	-0,37 (-6,2)

Примітка. Середні за трьома фонами живлення. Приріст за збільшення густоти від 30 до 50 тис. рослин/га розраховано щодо 30 тис./га, зміну від 50 до 60 тис./га щодо 50 тис./га. Показники характеризують описову реакцію гібридів.

досліду потребують додаткової перевірки в умовах зрошення [23].

Висновки. У незрошуваних умовах ФГ «Юлія і К» у Північному Степу України зернова продуктивність кукурудзи залежала від гібрида та поєднання густоти стояння рослин з мінеральним живленням. У середньому за 2022-2024 рр. ДМС Прайм, ДМС 3015 і ДМС Шатл перевищували ДМС Лорд на 1,05; 1,04 та 1,25 т/га (24,9; 24,6 і 29,7%) відповідно. Відмінності між трьома продуктивнішими гібридами не досягали наведеного порогу НІР для чинника А. Найвищі середні показники для кожного гібрида одержано за $N_{60}P_{60}K_{60}$ та густоти 50 тис. рослин/га: 4,60 т/га у ДМС Лорд, 5,97 у ДМС Прайм, 6,02 у ДМС 3015 і 6,01 т/га у ДМС Шатл.

Збільшення густоти від 30 до 50 тис. рослин/га забезпечувало в середньому приріст урожайності 1,03 т/га (23,1%) та підвищення її рівня до 5,48 т/га. Подальше загущення до 60 тис./га знижувало середній показник на 0,25 т/га (4,5%), однак статистично підтвердженої різниці між цими двома густотами не встановлено. За 50 тис. рослин/га найбільші чисельні прирости від $N_{30}P_{30}K_{30}$ і $N_{60}P_{60}K_{60}$ відзначено у ДМС 3015, відповідно 0,62 та 0,82 т/га (11,9 і 15,8%). ДМС Шатл вирізнявся вищою врожайністю на неудобреному контролі за цієї густоти та невеликою віддачею добрив. Для виробничих умов доцільний диференційований добір агротехнічних заходів з урахуванням запасів вологи, поживного режиму ґрунту та реакції гібрида. Одержані результати характеризують адаптивність у межах досліджуваних умов; екологічну стабільність і посухостійкість генотипів окремо не встановлено.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science. 1966. Vol. 6(1). P. 36-40. DOI: https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x.

2. Assefa Y., Vara Prasad P. V., Carter P., Hinds M., Bhalla G., Schon R., Jeschke M., Paszkiewicz S., Ciampitti I. A. Yield responses to planting density for US modern corn hybrids: a synthesis-analysis. Crop Science. 2016. Vol. 56, no. 5. P. 2802-2817. DOI: https://doi.org/10.2135/cropsci2016.04.0215.

3. Qian C., Yu Y., Gong X., Jiang Y., Zhao Y., Yang Z., Hao Y., Li L., Song Z., Zhang W. Response of grain yield to plant density and nitrogen rate in spring maize hybrids released from 1970 to 2010 in Northeast China. The Crop Journal. 2016. Vol. 4, no. 6. P. 459-467. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.04.004.

4. Цилюрик О. І., Тищенко В. О. Вплив густоти стояння рослин та рівня мінерального живлення на урожайність зерна кукурудзи в умовах Північного Степу України. Таврійський науковий вісник. 2024. № 137. С. 319-327. DOI: https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.38.

5. Цилюрик О. І., Тищенко В. О. Вплив густоти стояння рослин та рівня мінерального живлення на уміст хлорофілу в листках кукурудзи. Аграрні інновації. 2024. № 27. С. 133-139. DOI: https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.27.20.

6. Sangoi L. UNDERSTANDING PLANT DENSITY EFFECTS ON MAIZE GROWTH AND DEVELOPMENT: AN IMPORTANT ISSUE TO MAXIMIZE GRAIN YIELD. Ciência Rural. 2001. Vol. 31(1). P. 159-168. DOI: https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000100027.

7. Tokatlidis I. S., Koutroubas S. D. A review of maize hybrids' dependence on high plant populations and its implications for crop yield stability. Field Crops Research. 2004. Vol. 88(2-3). P. 103-114. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.11.013.

8. Tokatlidis I. S. Adapting maize crop to climate change. Agronomy for Sustainable Development. 2013. Vol. 33(1). P. 63-79. DOI: https://doi.org/10.1007/s13593-012-0108-7.

9. Sarlangue T., Andrade F. H., Calviño P. A., Purcell L. C. Why Do Maize Hybrids Respond Differently to Variations in Plant Density?. Agronomy Journal. 2007. Vol. 99(4). P. 984-991. DOI: https://doi.org/10.2134/agronj2006.0205.

10. Van Roekel R. J., Coulter J. A. Agronomic Responses of Corn to Planting Date and Plant Density. Agronomy Journal. 2011. Vol. 103(5). P. 1414-1422. DOI: https://doi.org/10.2134/agronj2011.0071.

11. Stanger T. F., Lauer J. G. Optimum Plant Population of Bt and Non-Bt Corn in Wisconsin. Agronomy Journal. 2006. Vol. 98(4). P. 914-921. DOI: https://doi.org/10.2134/agronj2005.0144.

12. Tollenaar M., Wu J. Yield Improvement in Temperate Maize is Attributable to Greater Stress Tolerance. Crop Science. 1999. Vol. 39(6). P. 1597-1604. DOI: https://doi.org/10.2135/cropsci1999.3961597x.

13. Bender R. R., Haegele J. W., Ruffo M. L., Below F. E. Nutrient Uptake, Partitioning, and Remobilization in Modern, Transgenic Insect-Protected Maize Hybrids. Agronomy Journal. 2013. Vol. 105(1). P. 161-170. DOI: https://doi.org/10.2134/agronj2012.0352.

14. Ciampitti I. A., Vyn T. J. A comprehensive study of plant density consequences on nitrogen uptake dynamics of maize plants from vegetative to reproductive stages. Field Crops Research. 2011. Vol. 121(1). P. 2-18. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.10.009.

15. Ciampitti I. A., Vyn T. J. Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: A review. Field Crops Research. 2012. Vol. 133. P. 48-67. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.03.008.

16. Ciampitti I. A., Vyn T. J. Grain Nitrogen Source Changes over Time in Maize: A Review. Crop Science. 2013. Vol. 53(2). P. 366-377. DOI: https://doi.org/10.2135/cropsci2012.07.0439.

17. Ciampitti I. A., Camberato J. J., Murrell S. T., Vyn T. J. Maize Nutrient Accumulation and Partitioning in Response to Plant Density and Nitrogen Rate: I. Macronutrients. Agronomy Journal. 2013. Vol. 105(3). P. 783-795. DOI: https://doi.org/10.2134/agronj2012.0467.

18. Ciampitti I. A., Murrell S. T., Camberato J. J., Tuinstra M., Xia Y., Friedemann P., Vyn T. J. Physiological Dynamics of Maize Nitrogen Uptake and Partitioning in Response to Plant Density and Nitrogen Stress Factors: II. Reproductive Phase. Crop Science. 2013. Vol. 53(6). P. 2588-2602. DOI: https://doi.org/10.2135/cropsci2013.01.0041.

19. Assefa Y., Carter P., Hinds M., Bhalla G., Schon R., Jeschke M., Paszkiewicz S., Smith S., Ciampitti I. A. Analysis of Long Term Study Indicates Both Agronomic

Optimal Plant Density and Increase Maize Yield per Plant Contributed to Yield Gain. Scientific Reports. 2018. Vol. 8(1). P. 4937. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-018-23362-x.

20. King K. A., Archontoulis S. V., Baum M. E., Edwards J. W. From a point to a range of optimum estimates for maize plant density and nitrogen rate recommendations. Agronomy Journal. 2024. Vol. 116(2). P. 598-611. DOI: https://doi.org/10.1002/agj2.21516.

21. Shao H., Wu X., Chi H., Zhu F., Liu J., Duan J., Shi W., Xu Y., Mi G. How does increasing planting density affect nitrogen use efficiency of maize: A global meta-analysis. Field Crops Research. 2024. Vol. 311. P. 109369. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109369.

22. Lei R., Wang Y., Zhou J., Xiang H. Tap Maize Yield Productivity in China: A Meta-Analysis of Agronomic Measures and Planting Density Optimization. Agronomy. 2025. Vol. 15(4). P. 861. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy15040861.

23. Вожегова Р. А., Бєлов Я. В. Вплив густоти стояння рослин та фону живлення на водоспоживання та продуктивність гібридів кукурудзи в умовах зрошення Півдня України. Зрошуване землеробство. 2019. Вип. 72. С. 4-7. DOI: https://doi.org/10.32848/0135-2369.2019.72.1.

24. Вожегова Р. А., Малярчук М. П., Малярчук А. С., Марковська О. Є. Формування гумусного стану та поживного режиму ґрунту під кукурудзу на зерно в сівозміні на зрошенні. Вісник аграрної науки. 2019. Вип. 97(9). С. 12-20. DOI: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201909-02.

25. Цилюрик О. І., Тищенко В. О. Якість зерна кукурудзи під впливом густоти стояння рослин та рівня мінерального живлення в Степу України. Таврійський науковий вісник. 2024. Вип. 139(2). С. 136-143. DOI: https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.139.2.17.

REFERENCES:

1. Eberhart, S. A., & Russell, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. Crop Science, 6(1), 36-40. https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x

2. Assefa, Y., Vara Prasad, P. V., Carter, P., Hinds, M., Bhalla, G., Schon, R., Jeschke, M., Paszkiewicz, S., & Ciampitti, I. A. (2016). Yield responses to planting density for US modern corn hybrids: A synthesis-analysis. Crop Science, 56(5), 2802-2817. https://doi.org/10.2135/cropsci2016.04.0215

3. Qian, C., Yu, Y., Gong, X., Jiang, Y., Zhao, Y., Yang, Z., Hao, Y., Li, L., Song, Z., & Zhang, W. (2016). Response of grain yield to plant density and nitrogen rate in spring maize hybrids released from 1970 to 2010 in Northeast China. The Crop Journal, 4(6), 459-467. https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.04.004

4. Tsyliuryk, O. I., & Tyshchenko, V. O. (2024). Vplyv hustoty stoiannia roslyn ta rivnia mineralnoho zhyvlennia na urozhainist zerna kukurudzy v umovakh Pivnichnoho Stepu Ukrainy [Effect of plant density and mineral nutrition on maize grain yield in the Northern Steppe of Ukraine]. Tavriiskyi naukovyi visnyk, 137, 319-327. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.38 [in Ukrainian].

5. Tsyliuryk, O. I., & Tyshchenko, V. O. (2024). Vplyv hustoty stoiannia roslyn ta rivnia mineralnoho zhyvlennia na umist khlorofilu v lystkakh kukurudzy [Effect of plant density and mineral nutrition on chlorophyll content in maize leaves]. Ahrarni innovatsii, 27, 133-139. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.27.20 [in Ukrainian].

6. Sangoi, L. (2001). UNDERSTANDING PLANT DENSITY EFFECTS ON MAIZE GROWTH AND DEVELOPMENT: AN IMPORTANT ISSUE TO MAXIMIZE GRAINYIELD. Ciência Rural, 31(1), 159-168. https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000100027

7. Tokatlidis, I. S., & Koutroubas, S. D. (2004). A review of maize hybrids' dependence on high plant populations and its implications for crop yield stability. Field Crops Research, 88(2-3), 103-114. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.11.013

8. Tokatlidis, I. S. (2013). Adapting maize crop to climate change. Agronomy for Sustainable Development, 33(1), 63-79. https://doi.org/10.1007/s13593-012-0108-7

9. Sarlangue, T., Andrade, F. H., Calviño, P. A., & Purcell, L. C. (2007). Why Do Maize Hybrids Respond Differently to Variations in Plant Density?. Agronomy Journal, 99(4), 984-991. https://doi.org/10.2134/agronj2006.0205

10. Van Roekel, R. J., & Coulter, J. A. (2011). Agronomic Responses of Corn to Planting Date and Plant Density. Agronomy Journal, 103(5), 1414-1422. https://doi.org/10.2134/agronj2011.0071

11. Stanger, T. F., & Lauer, J. G. (2006). Optimum Plant Population of Bt and Non-Bt Corn in Wisconsin. Agronomy Journal, 98(4), 914-921. https://doi.org/10.2134/agronj2005.0144

12. Tollenaar, M., & Wu, J. (1999). Yield Improvement in Temperate Maize is Attributable to Greater Stress Tolerance. Crop Science, 39(6), 1597-1604. https://doi.org/10.2135/cropsci1999.3961597x

13. Bender, R. R., Haegele, J. W., Ruffo, M. L., & Below, F. E. (2013). Nutrient Uptake, Partitioning, and Remobilization in Modern, Transgenic Insect-Protected Maize Hybrids. Agronomy Journal, 105(1), 161-170. https://doi.org/10.2134/agronj2012.0352

14. Ciampitti, I. A., & Vyn, T. J. (2011). A comprehensive study of plant density consequences on nitrogen uptake dynamics of maize plants from vegetative to reproductive stages. Field Crops Research, 121(1), 2-18. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.10.009

15. Ciampitti, I. A., & Vyn, T. J. (2012). Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: A review. Field Crops Research, 133, 48-67. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.03.008

16. Ciampitti, I. A., & Vyn, T. J. (2013). Grain Nitrogen Source Changes over Time in Maize: A Review. Crop Science, 53(2), 366-377. https://doi.org/10.2135/cropsci2012.07.0439

17. Ciampitti, I. A., Camberato, J. J., Murrell, S. T., & Vyn, T. J. (2013). Maize Nutrient Accumulation and Partitioning in Response to Plant Density and Nitrogen Rate: I. Macronutrients. Agronomy Journal, 105(3), 783-795. https://doi.org/10.2134/agronj2012.0467

18. Ciampitti, I. A., Murrell, S. T., Camberato, J. J., Tuinstra, M., Xia, Y., Friedemann, P., & Vyn, T. J. (2013). Physiological Dynamics of Maize Nitrogen Uptake and Partitioning in Response to Plant Density and Nitrogen Stress Factors: II. Reproductive Phase. Crop

Science, 53(6), 2588-2602. https://doi.org/10.2135/cropsci2013.01.0041

19. Assefa, Y., Carter, P., Hinds, M., Bhalla, G., Schon, R., Jeschke, M., Paszkiewicz, S., Smith, S., & Ciampitti, I. A. (2018). Analysis of Long Term Study Indicates Both Agronomic Optimal Plant Density and Increase Maize Yield per Plant Contributed to Yield Gain. Scientific Reports, 8(1), 4937. https://doi.org/10.1038/s41598-018-23362-x

20. King, K. A., Archontoulis, S. V., Baum, M. E., & Edwards, J. W. (2024). From a point to a range of optimum estimates for maize plant density and nitrogen rate recommendations. Agronomy Journal, 116(2), 598-611. https://doi.org/10.1002/agj2.21516

21. Shao, H., Wu, X., Chi, H., Zhu, F., Liu, J., Duan, J., Shi, W., Xu, Y., & Mi, G. (2024). How does increasing planting density affect nitrogen use efficiency of maize: A global meta-analysis. Field Crops Research, 311, 109369. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109369

22. Lei, R., Wang, Y., Zhou, J., & Xiang, H. (2025). Tap Maize Yield Productivity in China: A Meta-Analysis of Agronomic Measures and Planting Density Optimization. Agronomy, 15(4), 861. https://doi.org/10.3390/agronomy15040861

23. Vozhehova, R. A., & Bielov, Ya. V. (2019). Vplyv hustoty stoiannia roslyn ta fonu zhyvlennia na vodospozhyvannia ta produktyvnist hibrydiv kukurudzy v umovakh zroshennia Pivdnia Ukrainy [Influence of plant stand density and nutritional background on water consumption and productivity of maize hybrids in irrigation conditions of Southern Ukraine]. Zroshuvane zemlerobstvo, 72, 4-7. https://doi.org/10.32848/0135-2369.2019.72.1 [in Ukrainian].

24. Vozhehova, R. A., Maliarchuk, M. P., Maliarchuk, A. S., & Markovska, O. Ye. (2019). Formuvannia humusnoho stanu ta pozhyvnoho rezhymu gruntu pid kukurudzu na zerno v sivozmini na zroshenni [Formation of humus state and nutritive regimen of soil for cultivation of corn for grain in crop rotation at irrigation]. Visnyk ahrarnoi nauky, 97(9), 12-20. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201909-02 [in Ukrainian].

25. Tsyliuryk, O. I., & Tyshchenko, V. O. (2024). Yakist zerna kukurudzy pid vplyvom hustoty stoiannia roslyn ta rivnia mineralnoho zhyvlennia v Stepu Ukrainy [Corn grain quality under the influence of plant density and level of mineral nutrition in the Steppe of Ukraine]. Tavriiskyi naukovyi visnyk, 139(2), 136-143. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.139.2.17 [in Ukrainian].

Цилюрик О.І., Тищенко В.О. Агробіологічна адаптивність гібридів кукурудзи за різної густоти стояння та мінерального живлення в Північному Степу України

Мета. Встановити особливості формування зернової продуктивності гібридів кукурудзи за різної густоти стояння рослин і мінерального живлення в незрошуваних умовах Північного Степу України та визначити агротехнічні умови реалізації їхнього продуктивного потенціалу.

Методи. Польові дослідження проводили протягом 2022–2024 рр. у ФГ «Юлія і К», с. Мар'ївка Самарівського району Дніпропетровської області, на чорноземі звичайному малогумусному після пшениці озимої. Вивчали гібриди ДМС Лорд, ДМС Прайм, ДМС 3015 і ДМС Шатл на фонах без добрив, $N_{30}P_{30}K_{30}$ та $N_{60}P_{60}K_{60}$ за густоти 30, 40, 50 і 60 тис. рослин/га. Урожайність зерна визначали за стандартної вологості 14%. Обчислювали середні показники, абсолютні та відносні прирости до відповідного контролю; порівняння здійснювали з урахуванням наведених порогів НІР. Параметри екологічної стабільності та нові дисперсійні моделі не розраховували.

Результати. Найвищу середню врожайність для кожного гібрида одержано за $N_{60}P_{60}K_{60}$ та густоти 50 тис. рослин/га: у ДМС Лорд 4,60 т/га, ДМС Прайм 5,97, ДМС 3015 6,02 і ДМС Шатл 6,01 т/га. У середньому за дослідом три останні гібриди перевищували ДМС Лорд на 1,04-1,25 т/га (24,6-29,7%). Збільшення густоти від 30 до 50 тис. рослин/га підвищувало середню врожайність від 4,45 до 5,48 т/га, або на 1,03 т/га (23,1%). За 60 тис. рослин/га її рівень становив 5,23 т/га, однак зниження на 0,25 т/га (4,5%) не досягало НІР чинника густоти. Найбільші чисельні прирости від мінеральних добрив за 50 тис. рослин/га відзначено у ДМС 3015: 0,62 та 0,82 т/га (11,9 і 15,8%) відповідно для $N_{30}P_{30}K_{30}$ та $N_{60}P_{60}K_{60}$; відмінності окремих комбінацій залишалися нижчими за поріг АВС. У посушливому 2024 р. середня врожайність досліду знижувалася проти 2022 р. на 2,39 т/га (39,3%).

Висновки. Агробіологічна реакція гібридів на густоту та удобрення відрізнялася за співвідношенням урожайності на контролі й приростів від мінерального живлення. Густота 50 тис. рослин/га забезпечувала найбільшу середню продуктивність у випробуваному діапазоні. ДМС 3015 мав найбільші чисельні прирости від добрив за цієї густоти, тоді як ДМС Шатл поєднував високий урожай без добрив з невеликою віддачею удобрення. Для виробництва добір густоти та фону живлення необхідно узгоджувати із запасами вологи, агрохімічним станом поля і реакцією конкретного гібрида. Екологічну стабільність та посухостійкість генотипів окремо не встановлено.

Ключові слова: Zea mays L., зернова продуктивність, конкуренція рослин, площа живлення, нітроамофоска, водозабезпечення, ресурсні обмеження.

Tsyliuryk O.I., Tyshchenko V.O. Agrobiological adaptability of maize hybrids under different stand densities and mineral nutrition in the Northern Steppe of Ukraine

Purpose. To establish the grain yield responses of maize hybrids to stand density and mineral nutrition under rainfed conditions in the Northern Steppe of Ukraine and identify agronomic conditions for realizing their productive potential.

Methods. Field experiments were conducted in 2022–2024 at the Yuliia i K farm in Mariivka, Dnipropetrovsk region, on an ordinary low-humus chernozem following winter wheat. DMS Lord, DMS Praim, DMS 3015 and DMS Shatl were studied without fertilizer and with $N_{30}P_{30}K_{30}$ or $N_{60}P_{60}K_{60}$ at densities of 30,000, 40,000, 50,000 and 60,000 plants per hectare. Grain yields were adjusted to 14% moisture. Treatment means and absolute and relative changes against the respective controls were calculated. Comparisons accounted for the reported least significant difference thresholds. Ecological stability parameters and new analysis of variance models were not estimated.

Results. The highest mean yields for each hybrid were obtained with $N_{60}P_{60}K_{60}$ at 50,000 plants per hect-

are: 4.60 tonnes per hectare for DMS Lord, 5.97 for DMS Praim, 6.02 for DMS 3015 and 6.01 for DMS Shatl. The overall means of the latter three hybrids exceeded DMS Lord by 1.04-1.25 tonnes per hectare, or 24.6–29.7%. Increasing stand density from 30,000 to 50,000 plants per hectare raised the overall mean yield from 4.45 to 5.48 tonnes per hectare, an increase of 1.03 tonnes per hectare (23.1%). At 60,000 plants per hectare, the mean yield was 5.23 tonnes per hectare; the reduction of 0.25 tonnes per hectare (4.5%) remained below the density threshold. At 50,000 plants per hectare, DMS 3015 showed the largest numerical fertilizer responses: 0.62 and 0.82 tonnes per hectare (11.9 and 15.8%) for $N_{30}P_{30}K_{30}$ and $N_{60}P_{60}K_{60}$, respectively. Individual treatment differences remained below the three-factor threshold. In the dry year 2024, the overall mean yield was 2.39 tonnes per hectare (39.3%) lower than in 2022.

Conclusions. Hybrid responses to stand density and fertilization differed in the balance between unfertilized yield and fertilizer-induced increments. A density of 50,000 plants per hectare produced the highest overall mean within the tested range. At this density, DMS 3015 showed the largest numerical fertilizer responses, whereas DMS Shatl combined a high unfertilized yield with small fertilizer increments. For farm practice, stand density and mineral nutrition should be selected according to soil water availability, nutrient status and the response of the individual hybrid. Ecological stability and drought tolerance of the genotypes were not independently established.

Key words: Zea mays L., grain productivity, plant competition, growing area, compound fertilizer, water availability, resource limitations.

Дата першого надходження статті до видання: 05.10.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 26.10.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.11.2026

Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0