УДК 633.15:631.5:631.432
DOI https://doi.org/10.32848/0135-2369.2026.86.1

ОПТИМІЗАЦІЯ ГУСТОТИ РОСЛИН КУКУРУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД ВОЛОГОЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

ДОВГЕЛЯ О.М. – кандидат сільськогосподарських наук, докторант
orcid.org/0009-0006-7000-0358
Інститут водних проблем і меліорації
Національної академії аграрних наук України
ШАТКОВСЬКИЙ А.П. – доктор сільськогосподарських наук, професор,
член-кореспондент НААН України
orcid.org/0000-0002-4366-0397
Інститут водних проблем і меліорації
Національної академії аграрних наук України
МЕЛЬНИЧУК Ф.С. – доктор сільськогосподарських наук, с.н.с.
orcid.org/0000-0003-2711-5185
ДП «Науковий Центр превентивної токсикології,
харчової та хімічної безпеки імені академіка Л.І. Медведя МОЗ України»
АЛЄКСЄЄВА С.А. – кандидат сільськогосподарських наук
orcid.org/0000-0001-8463-4614
ТОВ «Зелений Дім 2025»
АНТОНЕНКО О.О. – аспірант
orcid.org/0009-0005-5488-896X
Національний університет біоресурсів і природокористування України
ВЛАСЕНКО О.В. – аспірант
orcid.org/0009-0006-9229-9872
Інститут водних проблем і меліорації
Національної академії аграрних наук України
БОРОДІН І.Д. – фахівець
orcid.org/0009-0002-8524-2967
ТОВ «Зелений Дім 2025»

Постановка проблеми. Кукурудза належить до провідних зернових культур світового землеробства і має ключове значення для забезпечення продовольчої, кормової та енергетичної безпеки. Її висока потенційна продуктивність дає змогу отримувати стабільно високі урожаї, однак реалізація генетичного потенціалу сучасних гібридів дедалі більше залежить від гідротермічних умов вегетаційного періоду, які в останні десятиліття характеризуються вираженою нестабільністю. Клімат України змінюється швидкими темпами, при цьому потепління супроводжується зростанням повторюваності посушливих явищ та нерівномірністю розподілу опадів упродовж вегетації. Недобір урожаю зернових культур в Україні дедалі частіше зумовлюється саме зміною температурного режиму повітря та недостатньою кількістю опадів [1].

Аналіз останніх джерел та публікацій. Вплив погодного стресу на кукурудзу є різноманітним: дефіцит вологи пригнічує формування сходів, ранній ріст, фотосинтетичну діяльність і репродуктивний розвиток рослин, а високі температури у критичний період можуть порушувати процеси цвітіння чоловічих суцвіть і запліднення, що безпосередньо позначається на формуванні зернівок. Саме посуха є головним чинником втрат урожаю кукурудзи у роки з найнижчою урожайністю культури. При цьому в посушливі роки відбуваються різкі падіння валових зборів культури та завдаються значні економічні збитки [2, 3]. В умовах підвищеної посушливості особливого значення набуває пошук агротехнічних прийомів, здатних пом'якшити негативний вплив погодних чинників на продуктивність посівів.

Серед таких прийомів ключове місце належить оптимізації густоти рослин – одному з головних чинників одержання стабільно високих урожаїв кукурудзи. Існує залежність урожайності зерна від густоти, причому гібриди істотно різняться за реакцією на цей фактор [4, 5]. Перевищення оптимальної густоти посилює внутрішньовидову конкуренцію за світло, вологу та елементи живлення, унаслідок чого приріст урожаю за рахунок додаткових рослин нівелюється стресом окремих особин, а продуктивність рослин знижується [6, 7].

Із загущенням посівів підвищується висота прикріплення продуктивного качана, зростає вологість

зерна під час збирання та збільшується ризик вилягання. Водночас недостатня густота не забезпечує повного використання продуктивної вологи, поживних речовин і сонячної радіації, що також обмежує рівень урожайності [8, 9]. Більш загущені посіви забезпечують вищу врожайність у роки з кращою вологозабезпеченістю, тоді як зріджені мають перевагу у посушливі роки. Це зумовлює необхідність диференційованого підходу до визначення густоти для окремих гібридів, а також коригування густоти залежно від погодних умов у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах [10, 11].

Метою досліджень було встановлення впливу густоти рослин на морфологічні особливості та продуктивність гібриду кукурудзи P8436AQ у різні за погодними умовами роки та визначення оптимальної густоти для умов Бориспільського району Київської області.

Матеріали та методи. Польові дослідження проведено впродовж 2023–2025 рр. згідно із загальноприйнятими методиками ведення польових дослідів у землеробстві та рослинництві в умовах господарства СТОВ «Любарецьке» Бориспільського району Київської області [12, 13, 14]. Ґрунтовий покрив дослідного поля представлений чорноземом опідзоленим малогумусним із вмістом гумусу 3,8%, вмістом рухомих форм NO_3^- 2,05 мг/100 г ґрунту, P_2O_5 7,3 мг/100 г, K_2O 14,0 мг/100 г, pH 6,2, щільністю ґрунту 1,2 г/см³. Агротехніка вирощування кукурудзи була загальноприйнятою для зони Лісостепу України, за винятком елементів, що вивчали [15].

У схемі польового досліду передбачено вивчення трьох варіантів густоти рослин середньораннього гібриду кукурудзи P8436AQ бренду Pioneer: 70, 75 та 80 тис. рослин/га. Повторність досліду чотириразова, розміщення варіантів – послідовне багатоярусне. Обліки та спостереження проводили згідно із загальноприйнятими методиками [16, 17], а також методикою польового досліду [13].

Біометричні вимірювання здійснювали на 10 типових рослинах кожної облікової ділянки: висоту рослин вимірювали від поверхні ґрунту до місця кріплення верхнього листка, висоту кріплення продуктивного качана – від поверхні ґрунту до місця прикріплення качана. Збирання та облік урожаю проводили у фазу повної стиглості зерна вручну шляхом обмолочування та зважування зерна з усієї облікової площі ділянки [18]. Вологість зерна визначали одночасно зі зважуванням, масу зерна з одного качана встановлювали за середньою пробою. Урожайність зерна перераховували на стандартну вологість 14%.

Метеорологічні умови вегетаційних періодів проаналізовано за даними вимірювань інтернет–метеостанції i-Metos. Погодні умови кожного року оцінювали за сумою активних температур, сумою ефективних температур понад +10°C, сумою опадів за квітень–вересень та гідротермічним коефіцієнтом (ГТК), який розраховували як відношення суми опадів за період до суми активних температур понад +10°C, зменшеної у 10 разів. Градації значень ГТК (1,3–1,5 – достатнє зволоження, 1,0–1,3 – помірне (забезпечене) зволоження, 0,5–1,0 – недостатнє зволоження) використовували відповідно до загальноприйнятої шкали [19].

Сумарне водоспоживання посівів кукурудзи за період від сівби до збирання розраховано за методикою FAO–56 як ETc = Kc×ETo, де ETo – еталонна евапотранспірація, розрахована за методом Пенмана-Монтейта за даними метеостанції i-Metos, а Kc – коефіцієнт культури, прийнятий за табличними значеннями FAO-56 для кукурудзи: 0,30 у початковій фазі, 1,20 у середній (цвітіння–молочна стиглість) та 0,35 у кінцевій фазі [20, 21]. Щорічні дати фаз розвитку встановлено фенологічними спостереженнями.

Статистичну обробку експериментальних даних проводили методами дисперсійного аналізу за загальноприйнятими методиками, зокрема за методикою Ушкаренка В. О. та ін. [4, 13]. При цьому застосовували двофакторний дисперсійний аналіз. Фактор А – густота рослин, фактор В – рік досліджень. Істотність відмінностей між середніми оцінено за найменшою істотною різницею HIP_{05}. Розрахунки виконано із застосуванням програмного забезпечення Microsoft Office Excel та Statistica.

Результати досліджень. У результаті досліджень виявлено, що всі три вегетаційні періоди виявилися теплішими за багаторічну норму: СЕТ(>10°C) становила 1463,6°C у 2023 р. (+12,6%), 1739,3°C у 2024 р. (+33,8%) та 1377,5°C у 2025 р. (+6,0%) проти норми 1300,0°C (табл. 1). Найбільшу теплозабезпеченість зафіксовано у 2024 р., найближчу до норми – у 2025 р.

Підвищена теплозабезпеченість сприяє прискоренню проходження фенологічних фаз і є загалом сприятливою для кукурудзи як культури з високою вимогою до тепла. Тоді як у 2024 р. тепловий профіцит поєднувався з періодами гострого дефіциту вологи, що створювало стресовий гідротермічний фон. При цьому максимальні температури повітря у липні досягали +38,3°C (у II декаді середній показник сягав +27,0°C), а у 2023 і 2025 рр. – +36,8°C. Висока температура за низької вологості повітря у найбільш відповідальні фази розвитку (цвітіння, запилення) є типовим чинником зниження продуктивності кукурудзи у регіонах із нестабільним зволоженням [22].

За показниками суми опадів впродовж вегетаційного періоду простежувалася стала тенденція до

Таблиця 1 – Метеорологічні показники вегетаційного періоду (квітень–вересень), Бориспільський район

Показник	2023 р.	2024 р.	2025 р.	Середнє багаторічне
Сума активних температур, °C	3063,6	3439,3	2967,5	2825,0
Сума ефективних температур (>10°C), °C	1463,6	1739,3	1377,5	1300,0
Сума опадів, мм	375,4	329,2	305,4	343,0
ГТК	1,23	0,96	1,03	1,21

зниження сезонної вологозабезпеченості від достатньої (2023 р.) до дефіцитної (2025 р.). Загалом, кількість опадів упродовж усіх трьох вегетаційних періодів була переважно достатньою для формування високих урожаїв кукурудзи. Водночас місячний та декадний розподіл опадів (табл. 2), який зумовлює внутрішньосезонну нерівномірність зволоження, був визначальним для рівня посухостійкості посівів у конкретному році.

ГТК вегетаційного періоду у 2023 р. становив 1,23, що практично збігається з багаторічною нормою (1,21) та відповідає умовам достатнього зволоження. У 2024 р. цей показник знизився до 0,96, а у 2025 р. становив 1,03, що свідчить про слабку посуху. Відповідно, впродовж вегетаційного періоду 2024–2025 рр. відбувалося переважання випаровування над атмосферними опадами [24]. Тобто, навіть за близьких до норми сезонних сум опадів для рослин спостерігався дефіцит вологи. Таким чином, за гідротермічним критерієм найбільш сприятливим для росту і розвитку рослин кукурудзи був 2023 р., тоді як в інші роки спостерігалися слабко посушливі умови.

За результатами аналізу встановлено, що погодні умови не були однаково сприятливими за роками. У 2023 р. за ГТК 1,23 відбувалися травнева та серпнева посухи, 2024 рік за ГТК 0,96 характеризувався слабкою посухою, а 2025 р. за ГТК 1,03 вирізнявся дефіцитом тепла і нерівномірністю зволоження. Сумарне водоспоживання посівів гібриду Р8436AQ перевищувало суму опадів за вегетацію: дефіцит атмосферного зволоження становив 78,5 мм у 2023 р., 110,2 мм у 2024 р. та 94,0 мм у 2025 р., тобто опади покривали потребу посіву лише на 82,7, 74,9 і 76,5% відповідно (табл. 3). При цьому зниження суми опадів впродовж років (на 70,0 мм з 2023 до 2025 р.) було помітно стрімкішим, ніж зменшення самого ЕТс (на 54,5 мм), тому дефіцит вологозабезпечення не лише зберігався, а й поглиблювався. Максимальний дефіцит зафіксовано у 2024 р. (110,2 мм), коли за високої теплозабезпеченості вегетації випало найменше опадів у критичну фазу цвітіння.

Поглиблення дефіциту у 2024–2025 рр. узгоджується з результатами урожайності: за погіршення вологозабезпеченості знижується здатність середовища підтримувати високу густоту [25], тож перевага загущених посівів 80 тис. рослин/га, яка проявилася у 2023 р., у 2024–2025 рр. змінилася на достовірне зниження врожайності порівняно з іншими варіантами. Отримані суми ЕТс (399,4–453,9 мм) узгоджуються з літературними даними для кукурудзи – 452,7–483,7 мм за дощування [26], що підтверджує коректність розрахунку.

Встановлено переважання чинника погодних умов над фактором густоти, що визначав висоту рослин. У межах року зміна густоти від 70 до 80 тис. рослин/га супроводжувалася зміною висоти лише на ±5 см. Натомість різниця за роками досягала близько 50 см за середніми показниками висоти рослин (до 70 см за окремими повторностями: від 190 см у 2025 р. до 260 см у 2024 р.) (табл. 4). Така слабка та неоднозначна реакція висоти на загущення узгоджується з даними літератури [7, 27].

Максимальна висота сформувалася у 2024 р. за найвищої теплозабезпеченості (САТ – 3439,3°С, СЕТ>10°С – 1739,3°С) у поєднанні з рясними червневими опадами (102,2 мм), що забезпечило інтенсивний лінійний ріст стебла. Найнижчі рослини відзначено у 2025 р., коли травень був прохолодним (13,9°С) і стимулюючий тепловий фон вегетації послаблювався (СЕТ > 10°С лише 1377,5°С). У 2023 р. ріст стримувала травнева посуха, тому висота рослин зайняла проміжне положення, попри найвищий ГТК вегетаційного сезону (1,23). Таким чином, встановлено, що саме декадний розподіл опадів і температур визначав висоту рослин.

Кріплення качана зі збільшенням густоти рослин підвищувалося у 2023 р. (з 97,5 до 100,0 см) та 2024 р. (з 106,3 до 108,8 см), тобто на 2,4–2,6%. Тоді як у 2025 р. цей показник практично не змінювався (102,5 см). Тобто, висота рослин і рівень прикріплення качана залежали від густоти та генетичних особливостей гібрида, зростаючи із загущенням [28], а збільшення густоти підвищувало висоту прикріплення качана на 9,7–13,0% [7, 28].

Таблиця 2 – Місячна динаміка середньої температури повітря та суми опадів за вегетаційний період

Місяць	2023 р.		2024 р.		2025 р.	
	t,°C	опади, мм	t,°C	опади, мм	t,°C	опади, мм
Квітень	9,5	91,0	12,7	86,0	10,8	29,0
Травень	15,5	23,4	15,7	8,8	13,9	71,6
Червень	19,7	58,0	21,7	102,2	19,2	59,4
Липень	21,1	172,0	24,4	43,0	22,5	69,4
Серпень	23,0	14,6	22,0	64,8	19,8	29,0
Вересень	17,7	16,4	19,7	24,4	15,8	47,0

Таблиця 3 – Дефіцит вологозабезпечення посівів гібриду кукурудзи Р8436AQ

Показник	2023 р.	2024 р.	2025 р.
Опади (квітень–вересень), мм	375,4	329,2	305,4
ЕТс, FAO–56 (сівба–збирання), мм	453,9	439,4	399,4
Дефіцит ЕТс − опади, мм	78,5	110,2	94,0
Покриття потреби опадами, %	82,7	74,9	76,5

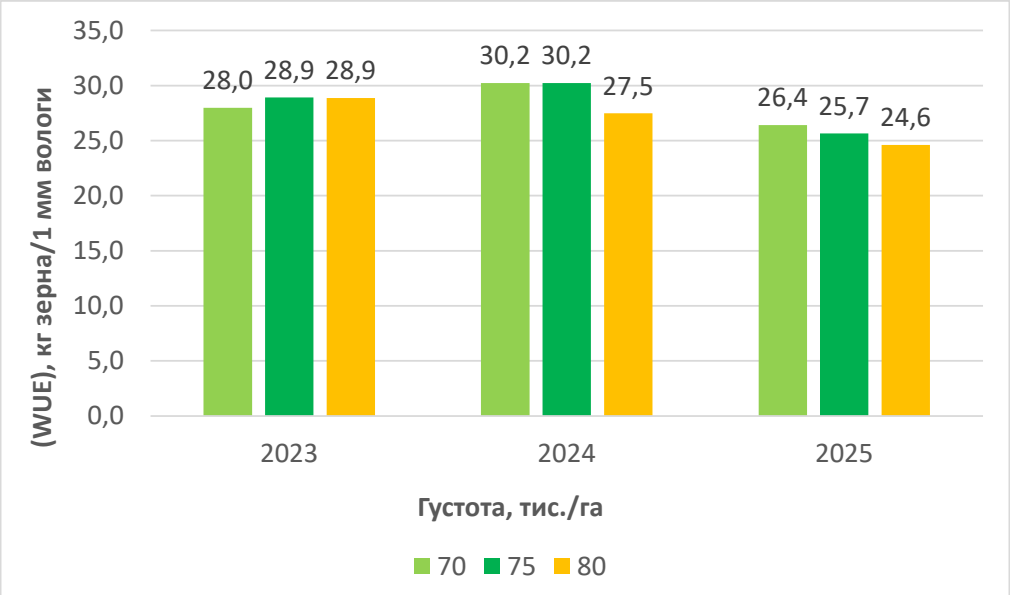


Рис. 1. Ефективність використання вологи (WUE)

Таблиця 4 – Морфологічні показники гібриду P8436AQ залежно від густоти

Рік	Густота, тис. рослин/га	Висота рослин, см	Висота кріплення качана, см
2023	70	210,0	97,5
	75	203,8	96,3
	80	205,0	100,0
2024	70	247,5	106,3
	75	247,5	105,0
	80	242,5	108,8
2025	70	197,5	102,5
	75	196,3	98,8
	80	196,3	102,5
$НІР_{05}$		6,8	5,6
Точність досліду ($S\bar{x}$), %		1,1	1,9
Коефіцієнт варіації (V), %		3,8	6,5

Таблиця 5 – Показники продуктивності гібриду P8436AQ залежно від густоти

Рік	Густота, тис. рослин/га	Маса зерна з 1 качана, кг	Урожайність (за 14% вологості), т/га	Вологість зерна при збиранні, %
2023	70	0,200	12,70	13,3
	75	0,194	13,13	13,0
	80	0,186	13,10	14,5
2024	70	0,215	13,28	16,7
	75	0,203	13,28	16,7
	80	0,178	12,08	18,2
2025	70	0,184	10,55	23,8
	75	0,169	10,25	23,2
	80	0,155	9,83	24,6
$НІР_{05}$		0,004	0,27	1,1
Точність досліду ($S\bar{x}$), %		0,8	0,8	2,0
Коефіцієнт варіації (V), %		2,8	2,7	6,9

Проте у наших даних інтенсивність реакції P8436AQ помітно була нижчою (2–3% порівняно з 10–13% у наведених дослідженнях), що підтверджує генотипову специфіку, оскільки у цього гібрида відмічено стабільну висоту кріплення качана за досліджуваних густот.

За погодних умов років досліджень встановлено різний рівень кріплення, який був найвищим у 2024 р. (105–109 см), а найнижчим у 2023 р. (96–100 см). При цьому співвідношення висоти кріплення качана до висоти рослини у 2023 р. складало 0,47, у 2024 р. – 0,43, а у 2025 р. – 0,52. Це пояснюється негативним впливом на висоту кріплення качана сум ефективних температур.

Відмічено, що зі збільшенням густоти рослин, маса зерна з одного качана знижувалася: у 2023 р. – з 0,200 до 0,186 кг (–6,6%), у 2024 р. – з 0,215 до 0,178 кг (–17,3%), у 2025 р. – з 0,184 до 0,155 кг (–15,9%) (табл. 5). Це зумовлено внутрішньовидовою конкуренцією за світло, вологу й елементи живлення. Так, продуктивність окремої рослини падає із загущенням [27], а найвищі показники маси зерна забезпечуються за низької густоти [29]. Встановлено, що маса качана визначалася сумою опадів впродовж вегетаційного періоду. У 2024 р. цей показник був найвищим (0,178–0,215 кг) завдяки сприятливому червневому зволоженню, у посушливому 2025 р. – найнижчим (0,155–0,184 кг).

Урожайність зерна визначалася чіткою взаємодією «густота × погодні умови». У 2023 р. всі три густоти забезпечили близький рівень урожайності з максимумом 13,13 т/га за густоти 75 тис. рослин/га. Найвищу урожайність, яка сягала 13,28 т/га, одержано у спекотному 2024 р. за густоти 70–75 тис. рослин/га, тоді як за густоти 80 тис. рослин/га цей показник знизився на 9,0%. У посушливо–прохолодному 2025 р. урожайність знижувалася на 6,8% зі збільшенням густоти до 80 тис., порівняно з 70 тис. рослин/га.

Ефективність використання вологи (WUE) визначалася взаємодією густоти рослин із річними показниками зволоження. Найвищі значення ефективності використання волог, які сягали 28,9–30,2 кг/мм у 2023–2024 рр. одержано за густот 70–75 тис. рослин/га (рис. 1).

Тоді як загущення до 80 тис. рослин/га знижувало цей показник, зокрема у роки з дефіцитом вологи: до 27,5 кг/мм у 2024 р. (−9,0%) та з 26,4 до 24,6 кг/мм у 2025 р. (−6,8%), що узгоджується з даними про зниження ефективності використання вологи кукурудзою за надмірної густоти в незрошуваних умовах [30].

Висновки. Вегетаційні періоди 2023–2025 рр. істотно різнилися за гідротермічними умовами: за помірного зволоження 2023 р. (ГТК 1,23 за норми 1,21) спостерігалися травнева та серпнева посухи, тоді як у 2024–2025 рр. зволоження було слабко дефіцитним (ГТК 0,96 та 1,03) з посушливими періодами у травні та липні 2024 р. та квітні та серпні 2025 р. Така контрастність умов забезпечила об'єктивне оцінювання адаптивності досліджуваного гібрида.

Морфологічні показники рослин гібриду P8436AQ визначалися переважно погодними умовами року. Відмінності між варіантами за висотою рослин та кріплення качана при 70–80 тис. рослин/га (2–4 см) не перевищували $НІР_{05}$ (6,8 і 5,6 см). Найвищі значення висоти рослин отримано у теплому 2024 р. (245,8 см), найнижчі – у прохолодному 2025 р. (196,7 см).

Зіставлення сумарного водоспоживання посіву за FAO–56 із сезонними сумами опадів виявило стійкий дефіцит вологозабезпечення 78,5–110,2 мм, поглиблення якого у 2024–2025 рр. зумовило достовірну перевагу розріджених посівів 70–75 тис. рослин/га над загущеним варіантом 80 тис. рослин/га.

Загущення посівів від 70 до 80 тис. рослин/га достовірно знижувало масу зерна з одного качана у всі роки досліджень: у середньому з 0,200 до 0,173 кг за $НІР_{05}$ = 0,004 кг, що підтверджує посилення внутрішньовидової конкуренції за ресурси. Водночас, воно підвищувало вологість зерна при збиранні з 17,6–17,9 до 19,1% ($НІР_{05}$ = 1,1%).

Урожайність зерна формувалася під істотним впливом взаємодії факторів «густота × рік», що підтверджує необхідність її коригування залежно від ґрунтово-кліматичних умов. Для стабілізації продуктивності гібриду P8436AQ в умовах Лісостепу України рекомендовано у роки з прогнозованим дефіцитом вологи формувати густоту 70–75 тис. рослин/га, а за сприятливого зволоження допускати загущення до 80 тис. рослин/га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Litvinov D. V., Litvinova O., Borys N., Masyk I., Butenko A., Onychko V., Khomenko L., Terokhina N., Kharchenko S. The Typicality of Hydrothermal Conditions of the Forest Steppe and Their Influence on the Productivity of Crops. Environmental Research Engineering and Management. *2020. Vol. 76, № 3. P. 84–95. https://doi.org/10.5755/j01.erem.76.3.25365.*

2. Balabukh V. Yield shortfall of cereals in Ukraine caused by the change in air temperature and precipitation amount. Agricultural Science and Practice. *2023. Vol. 10, no. 1. P. 31–53. https://doi.org/10.15407/agrisp10.01.031.*

3. Barna F. M., Manescu A. The Impact of Drought Risk on Maize Crop in Romania. Sustainability. *2025. Vol. 17, № 19. P. 1–21. https://doi.org/10.3390/su17198870.*

4. Білявська Л. Г., Ванжула Д. В. Урожайність гібридів різних ФАО та груп стиглості в умовах Лівобережного Лісостепу України залежно від норми висіву та вологості зерна. Аграрні інновації. *2024. № 27. С. 13–22. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.27.2.*

5. Matteo J. A. D., Ferreyra J. M., Cerrudo A., Echarte L., Andrade F. H. Yield potential and yield stability of Argentine maize hybrids over 45 years of breeding. Field Crops Research. *2016. Vol. 197. P. 107–116. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.023.*

6. Azrai M., Aqil M., Efendi R., Zainuddin B., Syam'un E., Anshori M. F., Riadi M., Priyanto S. B., Andayani N. N., Yasin M., Laurenze R., Syam A. Canopy architectural and physiological traits for optimizing maize yield under high planting density. Frontiers in Sustainable Food Systems. *2025. Vol. 9. P. 1–15. https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1469305.*

7. Багатченко В. В., Таганцова М. М., Стефківська Ю. Л. Вплив густоти рослин кукурудзи на

насіннєву продуктивність батьківських компонентів гібридів Zea mays L. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. *2018, № 26. С. 56–66. https://doi.org/10.47414/np.26.2018.211195.*

8. Cui J., Cui Z., Yang L., Lv X., Cao Q., Hou Y., Yang X., Yan G. Maize grain yield enhancement in modern hybrids associated with greater stalk lodging resistance at a high planting density: a case study in northeast China. Scientific Reports. *2022. Vol. 12, № 1. P. 1–12. https://doi.org/10.1038/s41598–022–18908–z.*

9. Yan P., Pan J., Zhang W., Shi J., Chen X., Cui Z. A high plant density reduces the ability of maize to use soil nitrogen. PLoS ONE. *2017. Vol. 12, № 2. P. 1–12. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172717.*

10. Madić M., Bokan N., Živić M., Đurović D., Paunović A., Tomić D. Grain yield of maize hybrids at different plant densities. Acta Agriculturae Serbica. *2017. Vol. 22, № 44. P. 157–167. https://doi.org/10.5937/aaser1744157m.*

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

12. Лісовал А. П. Методи агрохімічних досліджень. Київ : Вид–во НАУ, 2001. 247 с.

13. Ушкаренко В. О., Вожегова Р. А. Методика польового досліду. Зрошуване землеробство. Одеса : Олді Плюс+, 2024. 448 с.

14. Юрченко С. О., Степаненко Б. В., Хачатурян А. Е. Урожайність гібридів кукурудзи на зерно залежно від їх групи стиглості. Scientific Progress & Innovations. *2024. Т. 27, № 4. С. 66–71. https://doi.org/10.31210/spi2024.27.04.11.*

15. Гангур В. В., Руденко В. В. Біометричні параметри рослин та продуктивність кукурудзи (Zea mays L.) залежно від строків сівби. Scientific Progress & Innovations. *2023. Т. 26. С. 36–41. https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.07.*

16. Лебідь Є. М., Циков В. С., Пащенко Ю. М., Шевченко М. С. Методика проведення польових дослідів з кукурудзою. Дніпропетровськ, 2008. 27 с.

17. Мельник С. І. Методика проведення експертизи сортів рослин групи зернових, круп'яних та зернобобових. Міністерство аграрної політики та продовольства України; Український інститут експертизи сортів рослин. 2016. 81 с. URL: https://sops.gov.ua/uploads/page/5a5f4147d3595.pdf (дата звернення: 22.08.2026).

18. Мащенко Ю. В., Соколовська І. М. Продуктивність кукурудзи залежно від її частки в сівозміні та удобрення. Аграрні інновації. *2023. № 21. С. 57–63. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.21.8.*

19. Niewiadomska A., Sulewska H., Wolna–Maruwka A., Waraczewska Z., Budka A., Ratajczak K. An assessment of the influence of selected herbicides on the microbial parameters of soil in maize (Zea mays) cultivation. Applied Ecology and Environmental Research. *2018. Vol. 16, № 4. P. 4735–4752. https://doi.org/10.15666/aeer/1604_47354752.*

20. Er–Raki S., Chehbouni A., Guemouria N., Duchemin B., Ezzahar J., Hadria R. Combining FAO–56 model and ground–based remote sensing to estimate water consumptions of wheat crops in a semi–arid region. Agricultural Water Management. *2006. Vol. 87, № 1. P. 41–54. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.02.004.*

21. Tarnavsky E., Chavez E., Boogaard H. Agrometeorological risks to maize production in Tanzania: Sensitivity of an adapted Water Requirements Satisfaction Index model to rainfall. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2018. Vol. 73. P. 77–87. https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.04.008.

22. Prasanna B. M., Cairns J. E., Zaidi P. H., et al. Beat the stress: breeding for climate resilience in maize for the tropical rainfed environments. Theoretical and Applied Genetics. *2021. Vol. 134, № 6. P. 1729–1752. https://doi.org/10.1007/s00122–021–03773–7.*

23. Dovhelia O., Antonenko O., Bachinsky O., Melnychuk F., Alekseeva S. Effect of mineral nutrition and nitrogen–fixing agent on maize yield in the Central Forest–Steppe of Ukraine. Naukovì Dopovìdì Nacìonal'nogo Unìversitetu Bìoresursiv ì Prirodokoristuvannâ Ukraïni. *2025. Vol. 21, No. 3. P. 37–48. https://doi.org/10.31548/dopovidi/3.2025.37.*

24. Маренич М. М., Ласло О. О., Драч В. С. Адаптивні властивості гібридів кукурудзи до несприятливих кліматичних умов. Зрошуване землеробство. Збірник наукових праць. *2024. Т. 82. С. 43–47. https://doi.org/10.32848/0135–2369.2024.82.7.*

25. Assefa Y., Carter P., Hinds M., et al. 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, № 4937. P. 1–11. https://doi.org/10.1038/s41598–018–23362–x.

26. Alberto Ma. C., Quilty J. R., Buresh R. J., Waßmann R., Haidar S. A., Correa T. Q., Sandro J. M. Actual evapotranspiration and dual crop coefficients for dry-seeded rice and hybrid maize grown with overhead sprinkler irrigation. Agricultural Water Management. *2014. Vol. 136. P. 1–12. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.01.005.*

27. El–Metwally E., El–Deeb A. A., Safina S., Rabbani B. Behavior of some maize hybrids cultivated with different plant densities. Journal of Plant Production. *2011. Vol. 2, № 3. P. 479–490. https://doi.org/10.21608/jpp.2011.85582.*

28. Богомаз С. О. Оцінка взаємодії густоти та добрив на врожайність сучасних гібридів кукурудзи. Матеріали Міжнародної науково–практичної конференції «Продовольча безпека України. Збереження та відновлення ґрунтових і рослинних ресурсів» (м. Київ, 22–23 травня 2025 року), НУБІП України. *2025. С. 39–43. URL: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/rich_text_files/mizhnarodna_naukovo–praktichna_konferenciya_prodovolcha_1.pdf.*

29. Greveniotis V., Zotis S., Sioki E., Ipsilandis C. G. Field Population Density Effects on Field Yield and Morphological Characteristics of Maize. Agriculture. *2019. Vol. 9, № 7. P. 1–11. https://doi.org/10.3390/agriculture9070160.*

30. Hao B., Ma J., Si S., Wang X., Wang S., Li F., Jiang L. Response of grain yield and water productivity to plant density in drought–tolerant maize cultivar under irrigated and rainfed conditions. Agricultural Water Management. *2024. Vol. 298. P. 1–12. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108880.*

REFERENCES:

1. Litvinov D. V., Litvinova O., Borys N., Masyk I., Butenko A., Onychko V., Khomenko L., Terokhina N., & Kharchenko, S. (2020). The Typicality of Hydrothermal Conditions of the Forest Steppe and Their Influence on the Productivity of Crops. *Environmental Research Engineering and Management*, *76*(3), 84–95. https://doi.org/10.5755/j01.erem.76.3.25365

2. Balabukh, V. (2023). Yield shortfall of cereals in Ukraine caused by the change in air temperature and precipitation amount. *Agricultural Science and Practice*, *10*(1), 31–53. https://doi.org/10.15407/agrisp10.01.031

3. Barna, F. M., & Manescu, A. (2025). The Impact of Drought Risk on Maize Crop in Romania. *Sustainability*, *17*(19), 1–21. https://doi.org/10.3390/su17198870

4. Biliavska, L. H., & Vanzhula, D. V. (2024). Urozhainist hibrydiv (*Zea mays* L.) riznykh FAO ta hrup styhlosti v umovakh Livoberezhnoho Lisostepu Ukrainy zalezhno vid normy vysivu ta volohosti zerna [Yield of maize (*Zea mays* L.) hybrids of various FAO ratings and maturity groups in the Left–Bank Forest–Steppe of Ukraine, depending on seeding rate and grain moisture content]. *Ahrarni innovatsii*, 27, 13–22. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.27.2 [in Ukrainian].

5. Matteo J. A. D., Ferreyra J. M., Cerrudo A., Echarte L., & Andrade, F. H. (2016). Yield potential and yield stability of Argentine maize hybrids over 45 years of breeding. *Field Crops Research*, *197*, 107–116. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.023

6. Azrai M., Aqil M., Efendi R., Zainuddin B., Syam'un E., Anshori M. F., Riadi M., Priyanto S. B., Andayani N. N., Yasin M., Laurenze R., & Syam, A. (2025). Canopy architectural and physiological traits for optimizing maize yield under high planting density. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *9*. https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1469305

7. Bahatchenko, V. V., Tahantsova, M. M., & Stefkivska, Yu. L. (2018). Vplyv hustoty stoiannia roslyn kukurudzy na nasinnievu produktyvnist batkivskykh komponentiv hibrydiv *Zea mays* L. [Effect of maize plant density on the seed productivity of parental components of *Zea mays* L. hybrids]. *Naukovi Pratsi Instytutu Bioenerhetychnykh Kultur i Tsukrovykh Buriakiv*, 26, 56–66. https://doi.org/10.47414/np.26.2018.211195 [in Ukrainian].

8. Cui J., Cui Z., Yang L., Lv X., Cao Q., Hou Y., Yang X., & Yan, G. (2022). Maize grain yield enhancement in modern hybrids associated with greater stalk lodging resistance at a high planting density: a case study in northeast China. *Scientific Reports*, *12*(1), 12(1). 1–12. https://doi.org/10.1038/s41598–022–18908–z

9. Yan P., Pan J., Zhang W., Shi J., Chen X., & Cui, Z. (2017). A high plant density reduces the ability of maize to use soil nitrogen. *PLoS ONE*, *12*(2). 1–12. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172717

10. Madić M., Bokan N., Živić M., Đurović D., Paunović A., & Tomić, D. (2017). Grain yield of maize hybrids at different plant densities. *Acta Agriculturae Serbica*, *22*(44), 157–167. https://doi.org/10.5937/aaser1744157m

11. Tsyliuryk, O. I., & Tyshchenko, V. O. (2024). Vplyv hustoty stoiannia roslyn ta rivnia mineralnoho zhyvlennia na urozhainist zerna kukurudzy v umovakh Pivnichnoho Stepu Ukrainy [Influence of plant density and mineral nutrition level 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].

12. Lisoval, A. P. (2001). *Metody ahrokhimichnykh doslidzhen [Methods of Agro–chemical Research].* Kyiv: Vyd–vo NAU, 247 [in Ukrainian].

13. Ushkarenko, V. O., & Vozhehova, R. A. (2024). *Metodyka polovoho doslidu. Zroshuvane zemlerobstvo [Methodology of Field Experiments. Irrigated Agriculture].* Odesa: Oldi Plius+ (pp. 1–448) [in Ukrainian].

14. Iurchenko, S. O., Stepanenko, B. V., & Khachaturian, A. E. (2024). Urozhainist hibrydiv kukurudzy na zerno zalezhno vid yikh hrupy styhlosti [Grain yield of maize hybrids depending on their maturity group]. *Scientific Progress & Innovations*, 27(4), 66–71. https://doi.org/10.31210/spi2024.27.04.11 [in Ukrainian].

15. Hanhur, V. V., & Rudenko, V. V. (2023). Biometrychni parametry roslyn ta produktyvnist kukurudzy (*Zea mays* L.) zalezhno vid strokiv sivby [Biometric parameters of plants and productivity of maize (*Zea mays* L.) depending on sowing dates]. *Scientific Progress & Innovations*, *26*, 36–41. https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.07 [in Ukrainian].

16. Lebid, Ye. M., Tsykov V. S., Pashchenko Yu. M., & Shevchenko M. S. (2008). *Metodyka provedennia polovykh doslidiv z kukurudzoiu [Methodology of conducting field experiments with corn].* Dnipropetrovsk, 27 [in Ukrainian].

17. Melnyk, S. I. (2016). Metodyka provedennia ekspertyzy sortiv roslyn hrupy zernovykh, krupianykh ta zernobobovykh [Methodology for the examination of plant varieties of the cereal, groat, and grain legume groups]. Ministerstvo ahrarnoi polityky ta prodovolstva Ukrainy. Ukrainskyi Instytut Ekspertyzy Sortiv Roslyn, 1–81. URL: https://sops.gov.ua/uploads/page/5a5f4147d3595.pdf [in Ukrainian].

18. Mashchenko, Yu. V., & Sokolovska, I. M. (2024). Produktyvnist kukurudzy zalezhno vid yii chastky v sivozmini ta udobrennia [Maize productivity depending on its share in crop rotation and fertilization]. *Ahrarni innovatsii*, 21, 57–63. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.21.8 [in Ukrainian].

19. Niewiadomska A., Sulewska H., Wolna–Maruwka A., Waraczewska Z., Budka A., & Ratajczak, K. (2018). An assessment of the influence of selected herbicides on the microbial parameters of soil in maize (*Zea mays*) cultivation. *Applied Ecology and Environmental Research*, *16*(4), 4735–4752. https://doi.org/10.15666/aeer/1604_47354752

20. Er–Raki S., Chehbouni A., Guemouria N., Duchemin B., Ezzahar J., & Hadria, R. (2006). Combining FAO–56 model and ground–based remote sensing to estimate water consumptions of wheat crops in a semi–arid region. *Agricultural Water Management*, *87*(1), 41–54. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.02.004

21. Tarnavsky E., Chavez E., & Boogaard, H. (2018). Agro–meteorological risks to maize production in Tanzania: Sensitivity of an adapted Water Requirements Satisfaction Index (WRSI) model to rainfall. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *73*, 77–87. https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.04.008

22. Prasanna B. M., Cairns J. E., Zaidi P. H., Beyene Y., Makumbi D., Gowda M., Magorokosho C., Zaman–Allah M., Olsen M., Das A., Worku M., Gethi J., Vivek B., Nair S., Rashid Z., Vinayan M. T., Issa A. B., Vicente F. S., Dhliwayo T., & Zhang, X. (2021). Beat the stress: breeding for climate resilience in maize for the tropical rainfed environments. *Theoretical and Applied Genetics*, *134*(6), 1729–1752. https://doi.org/10.1007/s00122–021–03773–7

23. Dovhelia O., Antonenko O., Bachinsky O., Melnychuk F., & Alekseeva, S. (2025). Effect of mineral nutrition and nitrogen–fixing agent on maize yield in the Central Forest–Steppe of Ukraine. *Naukovì Dopovidì Nacìonal'nogo Unìversitetu Bìoresursiv ì Prirodokoristuvannâ Ukraïni*, 37–48. https://doi.org/10.31548/dopovidi/3.2025.37

24. Marenych, M. M., Laslo, O. O., & Drach, V. S. (2024). Adaptyvni vlastyvosti hibrydiv kukurudzy do nespryiatlyvykh klimatychnykh umov [Adaptive properties of maize hybrids to adverse climatic conditions]. *Zroshuvane Zemlerobstvo. Zbirnyk Naukovykh Prats*, 82, 43–47. https://doi.org/10.32848/0135–2369.2024.82.7 [in Ukrainian].

25. Assefa Y., Carter P., Hinds M., Bhalla G., Schon R., Jeschke M. R., Paszkiewicz S., Smith S. J., & 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(4937). 1–11 https://doi.org/10.1038/s41598–018–23362–x

26. Alberto Ma. C., Quilty J. R., Buresh R. J., Waßmann R., Haidar S. A., Correa T. Q., & Sandro, J. M. (2014). Actual evapotranspiration and dual crop coefficients for dry–seeded rice and hybrid maize grown with overhead sprinkler irrigation. *Agricultural Water Management*, *136*, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.01.005

27. El–Metwally E., El–Deeb A. A., Safina S., & Rabbani, B. (2011). Behavior of some maize hybrids cultivated with different plant densities. *Journal of Plant Production*, *2*(3), 479–490. https://doi.org/10.21608/jpp.2011.85582

28. Bohomaz, S. O. (2025). Otsinka vzaiemodii hustoty stoiannia ta dobryv na vrozhainist suchasnykh hibrydiv kukurudzy [Assessment of the interaction between plant density and fertilizers on the yield of modern maize hybrids]. *Materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Prodovolcha bezpeka Ukrainy. Zberezhennia ta vidnovlennia gruntovykh i roslynnykh resursiv» (m. Kyiv, 22–23 travnia 2025 roku) NUBIP Ukrainy*. 39–43 URL: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/rich_text_files/mizhnarodna_naukovo–praktichna_konferenciya_prodovolcha_1.pdf [in Ukrainian].

29. Greveniotis V., Zotis S., Sioki E., & Ipsilandis, C. G. (2019). Field Population Density Effects on Field Yield and Morphological Characteristics of Maize. *Agriculture*, *9*(7), 160. 1–11. https://doi.org/10.3390/agriculture9070160

30. Hao B., Ma J., Si S., Wang X., Wang S., Li F., & Jiang, L. (2024). Response of grain yield and water productivity to plant density in drought–tolerant maize cultivar under irrigated and rainfed conditions. *Agricultural Water Management*, *298*, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108880

Довгеля О.М., Шатковський А.П., Мельничук Ф.С., Алєксєєва С.А., Антоненко О.О., Власенко О.В., Бородін І.Д. Оптимізація густоти рослин кукурудзи залежно від вологозабезпеченості в умовах Лісостепу України

Мета. Встановити вплив густоти рослин (70, 75 та 80 тис. рослин/га) на морфологічні особливості та продуктивність середньораннього гібриду кукурудзи P8436AQ у різні за гідротермічними умовами роки і визначити оптимальну густоту для умов Бориспільського району Київської області. Методи. Польові дослідження проведено впродовж 2023–2025 рр. у СТОВ «Любарецьке» Бориспільського району Київської області на чорноземі опідзоленому малогумусному (уміст гумусу 3,8%; pH 6,2). Повторність чотириразова, розміщення варіантів послідовне багатоярусне. Біометричні вимірювання виконували на 10 типових рослинах облікової ділянки; урожай збирали у фазу повної стиглості вручну, урожайність перераховували на 14% вологість. Погодні умови оцінювали за сумами активних та ефективних температур, сумою опадів і гідротермічним коефіцієнтом; сумарне водоспоживання розраховували за методикою FAO–56 (ETc = Kc × ETo, метод Пенмана-Монтейта). Дані обробляли двофакторним дисперсійним аналізом (фактор А – густота, фактор В – рік), істотність відмінностей оцінювали за $НІР_{05}$. Результати. Гідротермічний коефіцієнт вегетаційних періодів становив 1,23 у 2023 р., 0,96 у 2024 р. та 1,03 у 2025 р. за багаторічної норми 1,21. Висота рослин і висота кріплення качана визначалися переважно погодними умовами року за неістотного впливу густоти. Загущення посівів істотно знижувало масу зерна з одного качана (з 0,200 до 0,173 кг, $НІР_{05}$ = 0,004 кг) та підвищувало вологість зерна при збиранні (до 19,1% проти 17,6–17,9% за густоти 70–75 тис. рослин/га, $НІР_{05}$ = 1,1%). Дефіцит вологозабезпечення посівів за FAO–56 становив 78,5–110,2 мм. Найвищу ефективність використання вологи (28,9–30,2 кг/мм) отримано за густоти 70–75 тис. рослин/га. У сприятливому за зволоженням 2023 р. урожайність за всіх густот була рівноцінною (12,70–13,13 т/га), тоді як у 2024–2025 рр. густота 80 тис. рослин/га істотно поступалася варіантам 70–75 тис. рослин/га (12,08 та 9,83 порівняно з 13,28 та 10,55 т/га, $НІР_{05}$ = 0,27 т/га). Висновки. Для стабілізації продуктивності гібриду P8436AQ в умовах Лісостепу України рекомендовано у роки з прогнозованим дефіцитом вологи формувати густоту 70–75 тис. рослин/га, а за сприятливого зволоження допускати загущення до 80 тис. рослин/га.

Ключові слова: гібрид P8436AQ, гідротермічний коефіцієнт, евапотранспірація, ефективність використання вологи, морфометричні показники, продуктивність, дисперсійний аналіз.

Dovhelia O.M., Shatkovskyi A.P., Melnychuk F.S., Alekseeva S.A., Antonenko O.O., Vlasenko O.V., Borodin I.D. Optimizing plant stand density of maize depending on the moisture supply in the Forest-Steppe of Ukraine

Purpose. To establish the effect of plant density (70, 75, and 80 thousand plants/ha) on the morphological characteristics and productivity of the mid-early maize hybrid P8436AQ in years contrasting in hydrothermal conditions and to determine the optimal plant density for the conditions of Boryspil district of Kyiv region. **Methods.** Field trials were conducted in 2023–2025 at the farm «Lyubaretske» ALLC on low-

humus podzolized chernozem (humus content 3.8%; pH 6.2). The trial had four replications with successive multistory plot arrangement. Biometric measurements were performed on 10 typical plants per plot; the crop was harvested manually at full grain maturity, and the yield was recalculated to 14% moisture. Weather conditions were assessed by the sums of active and effective temperatures, precipitation, and the hydrothermal coefficient; total water consumption was calculated using the FAO–56 methodology (ETc = Kc × ETo, Penman–Monteith method). Data were processed by two–way analysis of variance (factor A – plant density, factor B – year), with significance assessed by $LSD_{0.05}$. **Results.** The hydrothermal coefficient of the growing seasons was 1.23 in 2023, 0.96 in 2024, and 1.03 in 2025 vs the long–term average of 1.21. Plant height and ear attachment height were determined mainly by weather conditions of the year, with a non-significant effect of density. Thickening of stands significantly reduced grain weight per ear (from 0.200 to 0.173 kg, $LSD_{0.05}$ = 0.004 kg) and increased grain moisture at harvest (up to 19.1% vs 17.6–17.9% at 70–75 thousand plants/ha, $LSD_{0.05}$ = 1.1%). The moisture deficit of the crops by FAO–56 amounted to 78.5–110.2 mm. The highest water use efficiency (28.9–30.2 kg/mm) was obtained at 70–75 thousand plants/ha. In the moisture-favourable year of 2023, all densities provided equal yields (12.70–13.13 t/ha), whereas in 2024–2025 the density of 80 thousand plants/ha was significantly inferior to 70–75 thousand plants/ha (12.08 and 9.83 compare to 13.28 and 10.55 t/ha, $LSD_{0.05}$ = 0.27 t/ha). **Conclusions.** To stabilize the productivity of the hybrid P8436AQ under the Forest–Steppe conditions of Ukraine, plant density should be set at 70–75 thousand plants/ha in years with a predicted moisture deficit, while thickening up to 80 thousand plants/ha is acceptable in years with favourable moisture supply.

Key words: hybrid P8436AQ, hydrothermal coefficient, evapotranspiration, water use efficiency, morphometric parameters, productivity, analysis of variance.



Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 23.09.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 26.10.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.11.2026