

УДК 633.15:631.8:581.132.4(477.7)

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.145.1.16>

ФОРМУВАННЯ ПЛОЩІ ЛИСТКОВОЇ ПОВЕРХНІ ПОСІВІВ КУКУРУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД АГРОБІОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ В УМОВАХ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

Іванів М.О. – к.с.-г.н., доцент,

в.о. завідувача кафедри рослинництва та агроінженерії,

Херсонський державний аграрно-економічний університет

orcid.org/0000-0002-4793-6194

Сидякіна О.В. – к.с.-г.н., доцентка,

доцентка кафедри рослинництва та агроінженерії,

Херсонський державний аграрно-економічний університет

orcid.org/0000-0001-8812-6078

Гамула Є.А. – аспірант кафедри рослинництва та агроінженерії,

Херсонський державний аграрно-економічний університет

orcid.org/0009-0007-5214-7599

У статті наведено результати дослідження впливу густоти стояння рослин і позакореневих підживлень мікродобривами на формування площі листової поверхні гібридів кукурудзи марки DEKALB у ґрунтово-кліматичних умовах Північного Степу України. Дослідження проводили у 2022–2024 рр. на чорноземі звичайному малогумусному в Кропивницькому районі Кіровоградської області. Гібриди ДКС 4098–5206 різних груп стиглості (ФАО 310–420) вирощували за різної густоти стояння рослин (55–110 тис./га), на трьох варіантах позакореневих підживлень: контроль (обробка посівів водою), Аміно Ультра Кукурудза та Мікро-Мінераліс Кукурудза. Позакореневі підживлення мікродобривами проводили у фази 3–5 та 7–9 листків.

У мікростадії ВВСН 65 (фаза цвітіння) площа листової поверхні варіювала в межах 22,1–36,2 тис. м²/га. Отримані результати засвідчують істотний вплив на показник асиміляційної поверхні всіх досліджуваних факторів – гібриду, густоти стояння рослин та позакореневих підживлень мікродобривами. Максимальну площу листової поверхні сформував гібрид ДКС 4712 за густоти стояння рослин 80 тис./га з дворазовим підживленням посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза. Зі збільшенням густоти з 55 до 80 тис./га площа листової поверхні зростала, а подальше загущення посівів (до 90–110 тис./га) призводило до зниження цього показника через посилену внутрішньовидову конкуренцію. Позакореневі підживлення мікродобривами значно збільшували площу листової поверхні порівняно з контролем. Найбільшу ефективність отримали від застосування мікродобрива Аміно Ультра Кукурудза (приріст площі листової поверхні становив 17,5%). Деяко нижчу ефективність визначено за використання мікродобрива Мікро-Мінераліс Кукурудза (площа листової поверхні зросла на 12,3%).

Дисперсійним аналізом визначено, що 95,5% варіації ознаки обумовлено досліджуваними факторами та їх взаємодією. Найбільшу частку у формуванні листового апарату забезпечила трифакторна взаємодія $A \times B \times C$ – 21,9%. Встановлено сильний і дуже сильний кореляційний зв'язок між площею листової поверхні та врожайністю зерна, що обґрунтовує важливе значення формування асиміляційної поверхні в технологіях вирощування кукурудзи.

Ключові слова: кукурудза, гібриди, площа листової поверхні, густота стояння рослин, позакореневі підживлення, мікродобрива.

Ivaniv M.O., Sydiakina O.V., Hamula Ye.A. Formation of leaf surface area of maize crops depending on agrobiological factors in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine

The article presents the results of a study on the impact of plant density and foliar feeding with micronutrients on the formation of leaf area in DEKALB corn hybrids under the soil and climatic conditions of the Northern Steppe of Ukraine. The research was conducted from 2022 to 2024 in low-humus ordinary chernozem in the Kropyvnytskyi district of Kirovohrad region.

Hybrids DKC 4098–5206 of different maturity groups (FAO 310–420) were grown at various plant densities (55–110 thousand/ha) with three variants of foliar feeding: control (treatment with water), Amino Ultra Maize, and Micro-Mineralis Maize. Foliar feeding with micronutrients was carried out during the 3–5 and 7–9 leaf stages.

At the micro-stage BBCH 65 (flowering phase), the leaf area varied between 22.1–36.2 thousand m²/ha. The results obtained demonstrate a significant influence of all studied factors – hybrid, plant density, and foliar feeding with micronutrients – on the assimilation surface indicator. The maximum leaf area was formed by hybrid DKC 4712 at a plant density of 80 thousand/ha with double foliar feeding using the micronutrient Amino Ultra Maize. As the density increased from 55 to 80 thousand/ha, the leaf area increased, while further densification of the crops (up to 90–110 thousand/ha) led to a decrease in this indicator due to intensified intra-species competition. Foliar feeding with micronutrients significantly increased leaf area compared to the control. The highest effectiveness was achieved with the application of the micronutrient Amino Ultra Maize (the increase in leaf area was 17.5%). A slightly lower effectiveness was noted for the use of the micronutrient Micro-Mineralis Maize (the leaf area increased by 12.3%).

The analysis of variance determined that 95.5% of the variation in the trait was explained by the studied factors and their interactions. The largest share in the formation of the leaf apparatus was provided by the three-factor interaction $A \times B \times C$ – 21.9%. A strong and very strong correlation was established between leaf area and grain yield, which justifies the important role of forming the assimilation surface in corn cultivation technologies.

Key words: maize, hybrids, leaf area, plant density, foliar feeding, micronutrient fertilizers.

Постановка проблеми. Кукурудза є провідною зерновою культурою в Україні, зокрема в умовах Північного Степу, де забезпечення її високої продуктивності вимагає оптимального поєднання біологічного потенціалу гібридів і сучасних елементів технології вирощування. Одним із важливих показників, що визначає фотосинтетичну активність посівів і, відповідно, рівень продуктивності, є площа листової поверхні.

На фоні зростаючих кліматичних ризиків та посилення потреб у ресурсозберігаючому виробництві виникає необхідність в удосконаленні агротехнічних заходів, які забезпечують ефективну реалізацію потенціалу рослин. Зокрема, вивчення впливу густоти стояння рослин, добору адаптованих гібридів і застосування мікродобрив дозволяє регулювати морфогенез, стимулювати розвиток асиміляційної поверхні та забезпечити стабільне формування врожаю навіть за умов нестачі вологи.

Позакореневі підживлення мікроелементами у поєднанні з оптимальною густотою рослин дозволяють компенсувати фізіологічні обмеження у критичні фази росту і розвитку рослин кукурудзи за рахунок підвищення ефективності використання посівами світла, вологи та елементів живлення. Проте системне вивчення комплексної дії зазначених факторів на площу листової поверхні у ґрунтово-кліматичних умовах Північного Степу України залишається недостатнім. Тому дослідження взаємозв'язку між біологічними особливостями гібридів, елементами технології вирощування та формуванням асиміляційної поверхні кукурудзи є актуальним для обґрунтування сучасних підходів до інтенсифікації зерновиробництва, особливо в умовах кліматичних змін і зростаючих потреб у підвищенні ефективності сільськогосподарської галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Понад 90% сухої речовини врожаю утворюється завдяки фотосинтезу – процесу, який відбувається переважно в листках, за участі світла, CO₂ і води, а також частково у стеблах і генеративних органах. Підвищити фотосинтетичну активність посівів можливо шляхом збільшення площі листової поверхні до оптимальних параметрів [1].

Оптимальна щільність посівів забезпечує баланс між площею листової поверхні та засвоєнням ФАР. У загущених посівах листкова поверхня окремої рослини

зменшується внаслідок конкуренції за ресурси, але площа листової поверхні на одиницю площі зростає [2–4]. Надмірна щільність посівів призводить до взаємозатіннення рослин та передчасного старіння листків [5, 6]. Гібриди з еректоїдними листками краще адаптовані до таких умов [7]. У зріджених посівах зростає площа листків однієї рослини, але зменшується сумарна фотосинтетична поверхня посівів, що послаблює використання ФАР і знижує рівень урожайності [8].

Позакореневі підживлення мікродобривами також є впливовим чинником у формуванні листової поверхні та загальної продуктивності. Застосування мікродобрив у критичні фази росту і розвитку сприяє активації ферментативних процесів, покращенню обміну речовин і підвищенню індексу листової поверхні [9, 10].

Особливо важливими для кукурудзи є такі мікроелементи, як цинк, бор, марганець і мідь. Цинк – важливий кофактор ферментів, який сприяє підвищенню врожайності до +17% і концентрації Zn в зерні до +25% [11]. Позакореневі підживлення Zn разом з Fe та Se активізують засвоєння рослинами мікроелементів та накопичення їх у зерні кукурудзи [12]. Комплексне використання Zn і B значно збільшує концентрацію Fe у листках та накопичення мікроелементів (Fe, Mn, Cu) у зерні [13]. Позакореневе внесення наночастинок ZnO і MnO сприяє збереженню зеленої листової поверхні в умовах посухи, підтримує фотосинтетичну активність завдяки антиоксидантним властивостям і уповільнює процес старіння листків [14]. Оптимальні дози позакореневих підживлень Cu (100 г/га) підвищують вміст хлорофілу, площу листової поверхні, масу качана, масу 1000 зерен і врожайність з подальшим токсичним ефектом за більших концентрацій [15].

Таким чином, оптимізація щільності посівів та позакореневі підживлення мікродобривами є важливими чинниками підвищення фотосинтетичної активності сучасних гібридів кукурудзи. Вони сприяють формуванню потужної листової поверхні, покращенню обміну речовин та накопиченню мікроелементів у рослинах і зерні, підвищують урожайність, покращують якість зерна та адаптивність рослин до стресових умов.

Постановка завдання. Мета дослідження – визначити вплив густоти стояння рослин та позакореневих підживлень мікродобривами на формування площі листової поверхні гібридами кукурудзи марки DEKALB в умовах Північного Степу України.

Дослідження проводили на дослідному полі ТОВ АФ «Агротехнологія-Плюс» у Кропивницькому районі Кіровоградської області впродовж 2022–2024 рр. Ґрунт дослідної ділянки представлений чорноземом звичайним малогумусним глибоким із середнім вмістом рухомих форм азоту, фосфору та калію.

Дослід трифакторний. Фактор А – гібриди марки DEKALB різних груп ФАО: ДКС 4098 (ФАО 310), ДКС 4109 (ФАО 320), ДКС 4391 (ФАО 350), ДКС 4598 (ФАО 360), ДКС 4712 (ФАО 370), ДКС 5075 (ФАО 410), ДКС 5206 (ФАО 420). Фактор В – густина стояння рослин: 55, 60, 65, 70, 75, 80, 90 і 110 тис./га. Фактор С – позакореневі підживлення: обробка водою (контроль), Аміно Ультра Кукурудза (0,75 кг/га), Мікро-Мінераліс Кукурудза (1,5 л/га). Підживлення проводили у фази 3–5 і 7–9 справжніх листків.

У процесі досліджень дотримувалися загальноприйнятих методичних підходів [16–18] та застосовували базову агротехніку, рекомендовану для зони, за винятком варіативних елементів, передбачених дослідом.

Для статистичного аналізу експериментальних даних використовували програмний пакет Microsoft Office Excel та програмно-інформаційний комплекс Agrostat [19]. Значення коефіцієнту кореляції інтерпретували за шкалою Чеддока, відповідно

Виклад основного матеріалу дослідження. За результатами досліджень встановлено істотний вплив гібриду, густоти стояння рослин та позакоренових підживлень мікродобривами на формування площі листової поверхні посівів кукурудзи. Відповідно до отриманих даних, у мікростадії BBCH 65 вона варіювала в межах 22,1–36,2 тис. м²/га (табл. 1).

Вплив досліджуваних факторів на площу листової поверхні посівів кукурудзи у мікростадії ВВСН 65 (фаза цвітіння) (середнє за 2022–2024 рр.), тис. м²/га

[illegible]

Усереднені за факторами дані свідчать про істотні відмінності між досліджуваними гібридами кукурудзи за показником площі листової поверхні, який знаходився в межах від 27,7 до 31,8 тис. м²/га (рис. 1). Найнижчі його значення сформували гібриди ДКС 5206 (ФАО 420) та ДКС 4109 (ФАО 320) – 27,7 та 27,8 тис. м²/га відповідно. Такий результат обумовлений як генетичними особливостями даних гібридів, так і їх менш вираженою адаптивною реакцією на елементи технології, зокрема густоту стояння рослин та позакореневі підживлення.

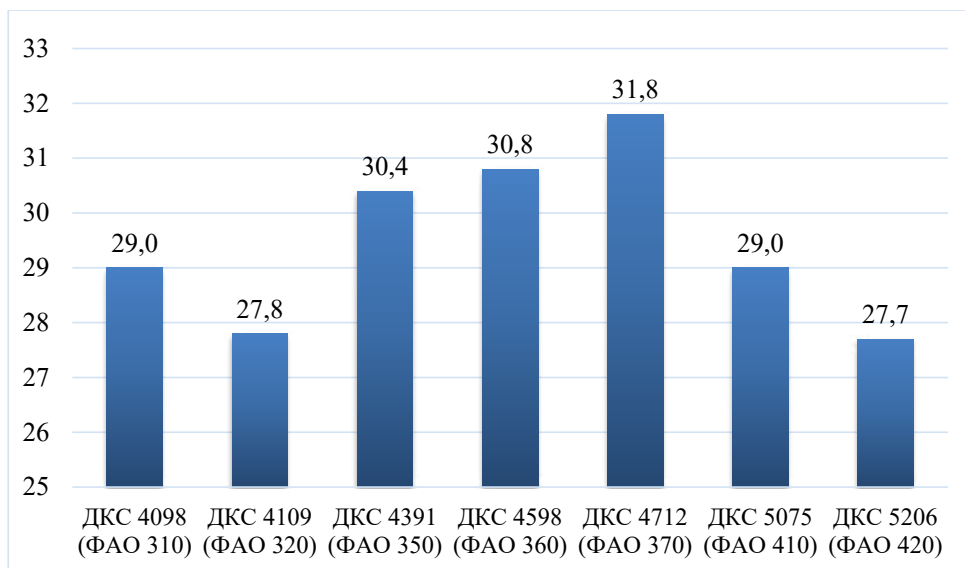


Рис. 1. Площа листової поверхні гібридів кукурудзи у мікростадії BBCH 65 у середньому за факторами В і С (середнє за 2022–2024 рр.), тис. м²/га

Максимальну площу листової поверхні сформував гібрид ДКС 4712 (ФАО 370) – 31,8 тис. м²/га, що на 4,1 тис. м²/га перевищило показник гібрида ДКС 5206 (ФАО 420). Гібриди ДКС 4391 (ФАО 350) та ДКС 4598 (ФАО 360) також сформували досить високі показники площі листової поверхні – 30,4 і 30,8 тис. м²/га відповідно, що вказує на їх високий потенціал для інтенсивних технологій вирощування.

Гібриди ДКС 4098 (ФАО 310) і ДКС 5075 (ФАО 410), попри істотну різницю в групі ФАО, мають однакові значення площі листової поверхні (29,0 тис. м²/га), що свідчить про важливість не лише групи ФАО, а й генетичної пластичності гібридів.

За результатами досліджень встановлено, що густота стояння рослин є важливим елементом технології, який суттєво впливає на формування площі листової поверхні посівів кукурудзи. Із загущенням посівів з 55 до 80 тис. рослин/га спостерігали поступове зростання площі асиміляційної поверхні, що зумовлено кращим використанням посівної поверхні та збільшенням кількості листків на одиниці площі (рис. 2).

Мінімальним значення показника визначено за густоти стояння рослин 55 тис./га – 26,3 тис. м²/га, максимальним – за густоти 80 тис./га – 31,7 тис. м²/га.

Це свідчить про позитивну кореляцію між нормою висіву та сумарною листковою поверхнею на гектар у межах оптимального діапазону.



Рис. 2. Вплив густоти стояння рослин на площу листкової поверхні гібридів кукурудзи у мікростадії BBSH 65 у середньому за факторами А і С (середнє за 2022–2024 рр.), тис. м²/га

Проте подальше збільшення густоти стояння до 90 і 110 тис./га супроводжувалося зниженням площі листкової поверхні до 31,2 та 29,6 тис. м²/га відповідно, що обумовлюється посиленням конкуренції рослин за світло, воду та поживні речовини, затіненням нижніх ярусів листків і зменшенням загальної ефективності фотосинтезу.

Таким чином, оптимальною густотою стояння рослин для досягнення максимальної площі листкової поверхні є 80 тис./га, що може бути важливим показником для оптимізації структури посівів кукурудзи у зоні досліджень. Отримані результати свідчать про наявність нелінійного зв'язку між густотою стояння рослин та площею листкової поверхні. Надмірне загущення посівів призводить до зменшення асиміляційної поверхні, тоді як збільшення густоти стояння рослин до певної межі сприяє більш оптимальному формуванню листкового апарату. За результатами досліджень обґрунтовано необхідність ретельного добору густоти стояння рослин з урахуванням біологічних особливостей гібридів кукурудзи та умов вирощування.

Отримані експериментальні дані засвідчують суттєвий вплив позакоренових підживлень мікродобривами на формування листкового апарату кукурудзи. У мікростадії BBSH 65 площа листкової поверхні у варіанті з обробкою посівів водою (контроль) становила 26,8 тис. м²/га, що характеризує базовий рівень розвитку рослин за умов традиційної технології вирощування.

Застосування мікродобрив дозволило істотно підвищити інтенсивність розвитку асиміляційної поверхні. Найбільшу ефективність забезпечили позакореневі підживлення мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза, у середньому за факторами площа листкової поверхні зросла до 31,5 тис. м²/га, що на 4,7 тис. м²/га (або 17,5%)

перевищило контрольний варіант досліджу. Це свідчить про високий біологічний потенціал даного мікродобрива та його здатності стимулювати фотосинтетичні процеси рослин.

Варіант із використанням мікродобрива Мікро-Мінераліс Кукурудза забезпечив дещо нижчий, але також достовірно більший від контролю показник площі листової поверхні – 30,1 тис. м²/га (+3,3 тис. м²/га або 12,3% до контролю).

Найвищими значення площі листової поверхні рослин кукурудзи у досліді формували гібрид ДКС 4712 (ФАО 370) за густоти стояння рослин 80 тис./га з проведенням двох позакоренових підживлень мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза – 36,2 тис. м²/га.

Результати дисперсійного аналізу засвідчують комплексну залежність формування асиміляційної поверхні посівів кукурудзи від взаємодії досліджуваних факторів. Загальна варіація площі листової поверхні на 95,5% залежить від досліджуваних факторів та їх взаємодії, що вказує на високу достовірність моделі, тоді як лише 4,5% припадає на інші (неконтрольовані) фактори, включно з природнім агрофоном, погодними умовами та похибкою визначень (рис. 3).

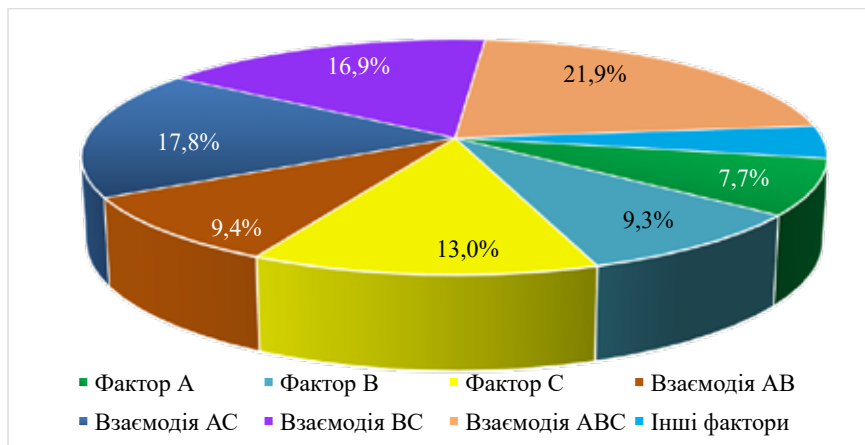


Рис. 3. Частка впливу досліджуваних факторів на формування площі листової поверхні посівами кукурудзи (середнє за 2022–2024 рр.), %

Найбільшу частку варіації становить трикомпонентна взаємодія $A \times B \times C$ (21,9%), що свідчить про тісну залежність формування листового апарату від комплексного впливу гібриду (фактор А), густоти стояння рослин (фактор В) та позакоренових підживлень мікродобривами (фактор С). Це обґрунтовує необхідність комплексного підходу до розробки технологій вирощування, орієнтованих на оптимізацію асиміляційної поверхні.

Вагомими визначено і двохфакторні взаємодії, зокрема $A \times C$ (17,8%) та $B \times C$ (16,9%), які свідчать про диференційовану реакцію гібридів та густоти стояння рослин на застосування мікродобрив, що показує залежність ефективності позакоренових підживлень як від біологічних особливостей гібридів, так і від щільності їх розміщення у посіві.

Фактори А, В і С були менш впливовими, але вносили достовірну частку у загальну варіацію. Це свідчить про те, що жоден із факторів не може забезпечити

максимальний ефект ізольовано – їх оптимальне поєднання має найбільш виражений вплив на розвиток листової поверхні рослин.

Між урожайністю зерна та площею листової поверхні кукурудзи встановлено сильний і дуже сильний кореляційний зв'язок: $R^2 = 0,8118-0,8621$ (рис. 4) для густоти стояння рослин та $R^2 = 0,9163-0,9856$ (рис. 5) для гібридів марки DEKALB (рис. 5).

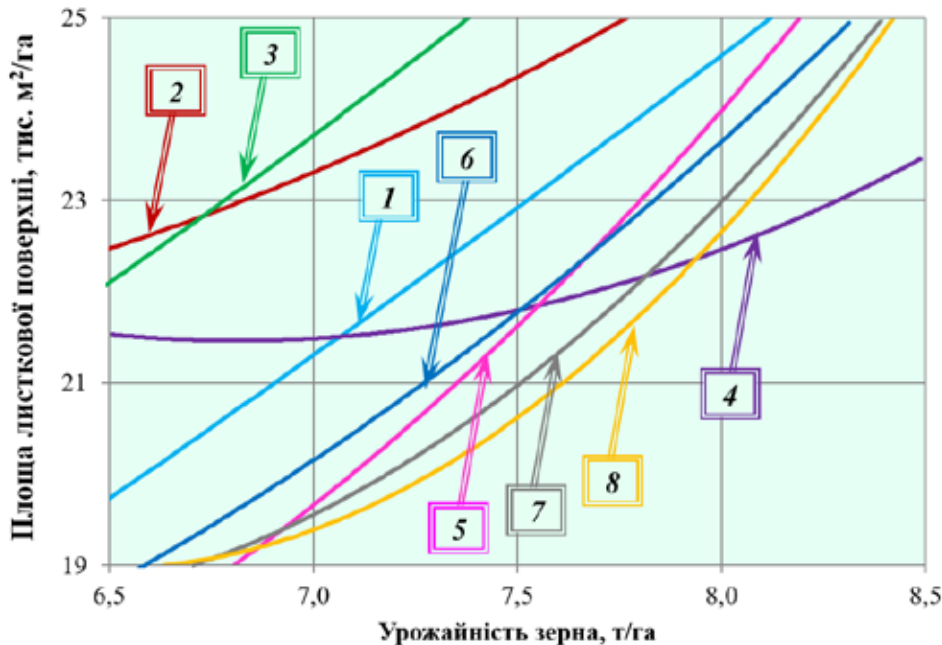


Рис. 4. Кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зерна кукурудзи та площею листової поверхні посівів за різної густоти стояння рослин (середнє за 2022–2024 рр.):

- 1 – 55 тис./га: $y = 0,0964x^2 + 1,8372x + 3,7137$; $R^2 = 0,8153$;
- 2 – 60 тис./га: $y = 0,4105x^2 - 3,8665x + 30,273$; $R^2 = 0,8142$;
- 3 – 65 тис./га: $y = 0,1569x^2 + 0,7366x + 11,001$; $R^2 = 0,8463$;
- 4 – 70 тис./га: $y = 0,6549x^2 - 8,2205x + 51,806$; $R^2 = 0,8118$;
- 5 – 75 тис./га: $y = 1,2373x^2 - 17,54x + 89,318$; $R^2 = 0,8515$;
- 6 – 80 тис./га: $y = 1,9787x^2 - 35,89x + 129,33$; $R^2 = 0,8621$;
- 7 – 90 тис./га: $y = 0,6142x^2 - 6,7459x + 45,298$; $R^2 = 0,8234$;
- 8 – 110 тис./га: $y = 2,1794x^2 - 32,061x + 144,86$; $R^2 = 0,8547$.

Про тісний кореляційний зв'язок та істотний вплив площі листової поверхні на врожайність зерна кукурудзи повідомляють й інші дослідники [20].

Висновки і пропозиції. За результатами досліджень встановлено суттєвий вплив гібриду, густоти стояння рослин і позакоренових підживлень мікродобривами на формування площі листової поверхні посівів кукурудзи. Поєднання зазначених факторів забезпечує найбільш оптимальний розвиток асиміляційної поверхні рослин кукурудзи. Найвищі значення даного показника (36,2 тис. м²/га)

забезпечив гібрид ДКС 4712 (ФАО 370) за густоти стояння рослин 80 тис./га з дворазовим підживленням посівів мікродобривом Аміно Ультра Кукурудза. Рекомендується впровадження комплексного підходу з урахуванням взаємодії факторів для підвищення продуктивності посівів кукурудзи у Північному Степу України.

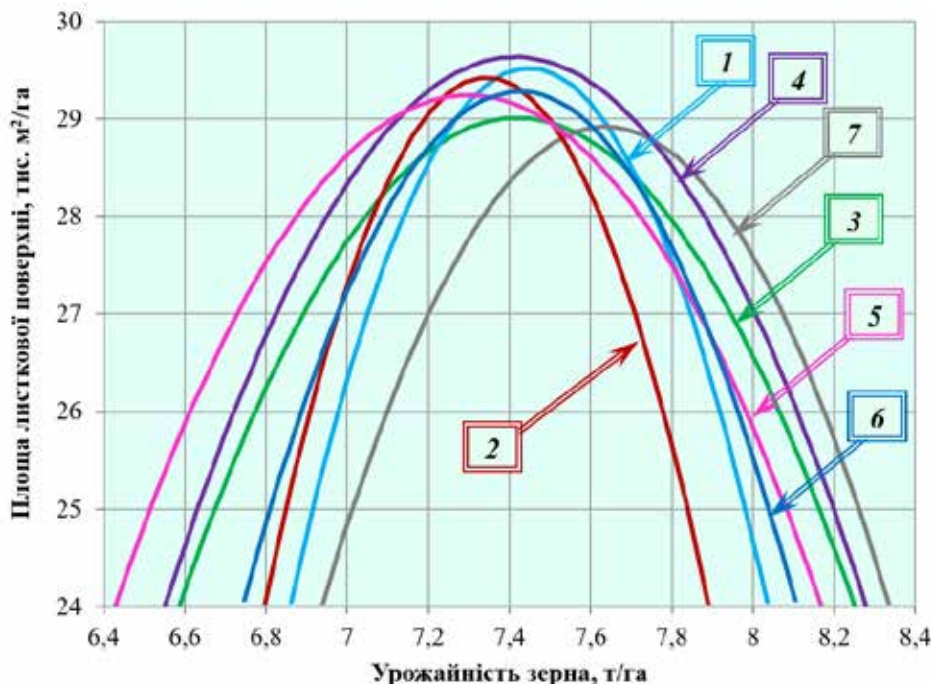


Рис. 5. Кореляційно-регресійна залежність між урожайністю зерна кукурудзи та площею листкової поверхні досліджуваних гібридів (середнє за 2022–2024 рр.):

- 1 – ДКС 4098 (ФАО 310): $y = -19,31x^2 + 296,66x - 1165$; $R^2 = 0,9623$;
- 2 – ДКС 4109 (ФАО 320): $y = -34,703x^2 + 536,7x - 2048,5$; $R^2 = 0,9682$;
- 3 – ДКС 4391 (ФАО 350): $y = -7,2275x^2 + 107,24x - 368,79$; $R^2 = 0,9774$;
- 4 – ДКС 4598 (ФАО 360): $y = -11,109x^2 + 157,88x - 530,98$; $R^2 = 0,9163$;
- 5 – ДКС 4712 (ФАО 370): $y = -4,7013x^2 + 69,434x - 226,25$; $R^2 = 0,9856$;
- 6 – ДКС 5075 (ФАО 410): $y = -41,15x^2 + 627,65x - 2418,8$; $R^2 = 0,9261$;
- 7 – ДКС 5206 (ФАО 420): $y = -10,261x^2 + 152,86x - 542,83$; $R^2 = 0,9585$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Simkin A. J., Lopez-Calcano R. E. Raines C. A. Feeding the world: improving photosynthetic efficiency for sustainable crop production photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*. 2019. Vol. 70(4). P. 1119–1140. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/ery445>.
2. Andrade F. H., Calviño P., Cirilo A., Barbieri P. Yield Responses to Narrow Rows Depend on Increased Radiation Interception. *Agronomy Journal*. 2002. Vol. 94. P. 975–980. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2002.9750>.

3. Shah P., Khan A., Rahman H. U., Shah Z. Plant density and nitrogen effects on growth dynamics, light interception and yield of maize. *Agronomy and Soil Science*. 2008. Vol. 54(4). P. 401–411. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/03650340801998623>.
4. Song Yo., Rui Yu., Bedane G., Li J. Morphological Characteristics of Maize Canopy Development as Affected by Increased Plant Density. *PLoS One*. 2016. Vol. 11(4). P. 0154084. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154084>.
5. Паламарчук В. Д., Колісник О. М. Сучасна технологія вирощування кукурудзи для енергоефективного та екологічнобезпечного розвитку сільських територій. Вінниця : Друкарня «Друк», 2022. 376 с.
6. Zhai L., Li H., Song S., Zhai L., Ming B., Li S., Xie R., Jia X., Zhang L. Intra-specific competition affects the density tolerance and grain yield of maize hybrids. *Agronomy Journal*. 2021. Vol. 113(1). P. 224–235. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.20438>.
7. Мурач О. М., Лемешев Д. Р., Бердін С. І. Реалізація генетичного потенціалу сучасних гібридів кукурудзи за рахунок оптимізації густоти рослин. *Популяційна екологія рослин: сучасний стан, точки росту* : матеріали Другого міжнародного симпозіуму до 90-річчя з дня народження Злобіна Юліана Андрійовича, доктор біологічних наук, професора, Заслуженого діяча науки і техніки України, 16 червня 2022 р. Суми, 2022. С. 116–118.
8. Boomsma C. R., Santini J. B., Tollenaar M., Vyn T. J. Maize Morphophysiological Responses to Intense Crowding and Low Nitrogen Availability: An Analysis and Review. *Agronomy Journal*. 2009. Vol. 101(6). P. 1426–1452. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2009.0082>.
9. Мазур В. А., Шевченко Н. В. Формування площі листової поверхні рослин гібридів кукурудзи залежно від технологічних прийомів вирощування. 2018. Т. 10, № 12. С. 108–114.
10. Сидякіна О. В., Гамула Є. А. Мікродобрива у технологіях вирощування кукурудзи як елемент екологоорієнтованого та ресурсозберігаючого землеробства. *Продовольча безпека України в умовах післявоєнного відновлення: глобальні та національні виміри. Міжнародний форум* : доповіді учасників міжнародної науково-практичної конференції, 28–30 травня 2025 р. Миколаїв : МНАУ, 2025. С. 166–169. DOI: <https://doi.org/10.31521/978-617-7149-86-5-54>.
11. Mutambu D., Kihara J., Mucheru-Muna M., Bolo P., Kinyua M. Maize grain yield and grain zinc concentration response to zinc fertilization: A meta-analysis. *Heliyon*. 2023. Vol. 9(5). P. 16040. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16040>.
12. Xue Ya. -F., Li X.-J., Yan W., Miao Q., Zhang C.-Ya., Huang M. H., Sun J.-B., Qi S.-J., Ding Z.-H., Cui Z.-L. Biofortification of different maize cultivars with zinc, iron and selenium by foliar fertilizer applications. *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. P. 1144514. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1144514>.
13. Aref F. Manganese, iron and copper contents in leaves of maize plants (*Zea mays* L.) grown with different boron and zinc micronutrients. *African Journal of Biotechnology*. 2012. Vol. 11(4). P. 896–903. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJB11.165>.
14. Kathirvelan P., Vaishnavi S., Manivannan V., Djanaguiraman M., Thiyageshwari S., Parasuraman P., Kalarani M. K. Response of Maize (*Zea mays* L.) to Foliar-Applied Nanoparticles of Zinc Oxide and Manganese Oxide Under Drought Stress. *Plants*. 2025. Vol. 14(5). P. 732. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants14050732>.
15. Barbosa R. H., Tabaldi L. A., Miyazaki F. R., Pilecco M., Kassab S. O., Bigaton D. Foliar copper uptake by maize plants: effects on growth and yield. *Ciência Rural, Santa Maria*. 2013. Vol. 43(9). P. 1561–1568.
16. Дідора В. Г., Смаглій О. Ф., Ермантраут Е. Р. Методика наукових досліджень в агрономії : навчальний посібник. К. : Центр учбової літератури, 2013. 264 с.
17. Дослідна справа в агрономії : навчальний посібник. Кн. 1. Теоретичні аспекти дослідної справи / Рожков А. О., Пузік В. К., Каленська С. М. та ін. Харків, 2016. 316 с.

18. Дослідна справа в агрономії : навчальний посібник. Кн. 2. Статистична обробка результатів агрономічних досліджень / Рожков А. О., Пузік В. К., Каленська С. М. та ін. Харків, 2016. 342 с.

19. Дисперсійний і кореляційний аналіз у землеробстві та рослинництві: навч. посіб. / Ушкаренко В. О., Нікіщенко В. Л., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Херсон : Айлант, 2008. 272 с.

20. Duvvada S. K., Banerjee M., Saren B., Malik G. C. Correlation Studies on Growth, Yield Parameters and Yield of Maize as Influenced by Conservation Tillage Practices and Site-Specific Nutrient Management in Maize (*Zea mays* L.). Environment and Ecology. Vol. 42(2A). P. 579–583. DOI: <https://doi.org/10.60151/envec/XNJK3693>

Дата першого надходження рукопису до видання: 02.09.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 23.10.2025

Дата публікації: 05.12.2025
