

УДК 633.15.631.5

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.143.1.12>

ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КУКУРУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД МІНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕННЯ І ГУСТОТИ ПОСІВУ

Єремко Л.С. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри рослинництва,

Полтавський державний аграрний університет

orcid.org/0000-0001-5641-7436

Кирлиця А.О. – аспірант кафедри рослинництва,

Полтавський державний аграрний університет

orcid.org/0009-0006-1619-9423

Важливим аспектом розв'язання проблеми забезпеченості продовольчими і кормовими ресурсами є стабілізація виробництва зернової продукції, яка відіграє ключову роль у формуванні раціональної структури харчування населення, забезпеченні тваринницької галузі необхідними кормами, а також у зміцненні експортного потенціалу країни. У цьому відношенні забезпечення отримання високих врожайів зерна кукурудзи, як однієї із найбільш розповсюджених зернових культур, набуває особливої актуальності.

У статті представлені результати трирічного наукового дослідження із вивчення впливу елементів технології вирощування (удобрення і густоти посіву) на формування зернової продуктивності середньостиглого гібриду кукурудзи ДМ Скарб (ФАО 330).

Дослідження було проведено в умовах державного підприємства «Дослідне господарство «Степне» Інституту свинарства і АПВ НААН» впродовж 2022–2024 рр. Основними факторами, що вивчали у досліді були: різні рівні забезпеченості рослин елементами мінерального живлення, зокрема $N_{50}P_{80}K_{75}$, $N_{50}P_{80}K_{75}$ + мікродобриво Оракул мультикомплекс (2,0 л/га) у фазі 7–9 листків (ВВСН 17–19); густина рослин – 55, 65, 75, 85 тис/га.

У ході проведення дослідження було встановлено, що внесення мінеральних добрив та поєднання їх із позакореневим підживленням посівів мікродобривом дозволяє покращити умови росту рослин, формування їх листової поверхні та структурних елементів врожаю. Найбільш сприятливими вони були у варіанті поєднання внесення $N_{50}P_{80}K_{75}$ і проведення позакореневого підживлення посівів мікродобривом, де урожайність зерна кукурудзи у посівах різної щільності змінювалася у межах 7,37–7,52 т/га.

Загущення посівів призводило до посилення ценотичної взаємодії окремих рослин, внаслідок чого величини їх елементів продуктивності зменшувалися, однак збільшенням їх кількості з 55 до 75 тисяч компенсувало це зниження. Внаслідок цього найвищий рівень урожайності зерна було отримано у посівах із густрою рослин 75 тис/га.

Ключові слова: кукурудза, мінеральні добрива, мікродобриво, густина рослин, урожайність.

Yeremko L.S., Kyrlytsia A.O. Formation of corn productivity depending on mineral fertilizer and sowing density

An important aspect of solving the problem of food and feed supply is to stabilize grain production, which plays a key role in establishing a rational dietary structure for the population, providing the livestock industry with the necessary feed, and strengthening the country's export potential. In this regard, ensuring high grain yields of corn, which is one of the most widespread grain crops, is of particular importance.

The article presents the results of a three-year research study on the influence of elements of cultivation technology (fertilizers and sowing density) on the formation of grain productivity of the mid-season maize hybrid DM Skarb (FAO 330).

The study was conducted at the state enterprise "Stepne Experimental Farm of the Institute of Pig Breeding and Animal Production of NAAS" during 2022–2024. The main factors studied in the experiment were: different levels of plant supply with mineral nutrients, in particular

$N_{50}P_{80}K_{75}$, $N_{50}P_{80}K_{75}$ + microfertilizer Oracul multicomplex (2,0 l/ha) in the 7–9 leaf stage (BBCH 17–19); plant density – 55, 65, 75, 85 thousand/ha.

The research was found that the application of mineral fertilizers and their combination with foliar application with microfertilizer can improve the conditions of plant growth, the formation of their leaf surface, and yield structural elements. The most favorable conditions were in the variant of combining the application of $N_{50}P_{80}K_{75}$ and foliar fertilization of crops with microfertilizer, where the yield of corn grain of crops with different densities varied within 7,37–7,52 t/ha.

The thickening of crops led to increased cenotic interaction of individual plants, resulting in a decrease in the values of their productivity elements, but an increase in their number from 55 to 75 thousand compensated for this decrease. As a result, the highest level of grain yield was obtained in crops with a plant density of 75 thousand/ha.

Key words: corn, mineral fertilizers, microfertilizers, plant density, yield.

Постановка проблеми. Збільшення виробництва зернових ресурсів є важливим завданням у розв'язанні проблеми продовольчої кризи, що в останні роки набуває глобальних масштабів. У групі зернових культур кукурудза займає одне з провідних місць за площею вирощування. Рівень світового виробництва її зернової продукції перевищує 600 млн. т, з яких близько 60 % припадає на Сполучені Штати Америки і Китай, а решта вирощується в країнах Європи, Африки, Латинської Америки та Південної Азії [1]. Величина посівних площ відведених під дану культуру в Україні у довоєнні часи невпинно зростала, а рівень її виробництва перевищив 50 % від загального обсягу отриманої зернової продукції. У групі областей лідируючі позиції за цим показником займали Полтавська (541,8 тис. га), Кіровоградська (368,3 тис. га) та Черкаська області (330,9 тис. га) [2].

Значне розширення попиту на продукцію кукурудзи обумовлюється високими поживними якістьми її зерна, у якому міститься 65–70 % вуглеводів, 9–12 % білків, 4–8 % рослинної олії (з якої близько 40 % припадає на зародок), 2 % клітковини, вітаміни А, В1, В2, В6, Е, С, РР, незамінні амінокислоти, мінеральні солі, мікроелементи [3], біоактивні компоненти, такі як каротиноїди, антоціани та фенольні сполуки [4].

Кукурудза є універсальною культурою. Її зерно слугує сировиною для виробництва майже 3500 видів продукції, яка використовується в харчовій, фармацевтичній та переробній промисловостях [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Впродовж вегетаційного періоду інтенсивність ростових процесів у рослинах, їх розвиток і формування врожаю обумовлюється забезпеченістю елементами мінерального живлення. Зокрема, наявність азоту визначає інтенсивність росту і розвитку вегетативної частини рослин та розміри їх листової поверхні [6]. Достатня забезпеченість фосфором сприяє формуванню потужної кореневої системи, ініціації цвітіння, а також є важливою для розвитку насіння [7]. Калій відіграє важливу роль у підвищенні стійкості рослин до несприятливих абіотичних та біотичних чинників [8]. Кальцій підтримує пластичність клітинних мембран. Магній діє як кофактор у різних ферментативних реакціях, зокрема під час фосфорилювання. Сірка бере участь у процесах синтезу білків [9]. Бор має ключове значення у процесі проростання пилку. Під час синтезу хлорофілу та інших пігментів мідь займає ключові позиції. Залізо є складовою частиною хлорофілу. Основна функція марганцю в рослинах полягає в активації ферментних систем. Цинк відіграє важливу роль у підтримці рослинного метаболізму [10, 11].

Важливим чинником формування біологічної урожайності є оптимізація кількості рослин на одиниці площі. Вчені відзначають, що загущення посіву до певної

межі може покращувати перехоплення ФАР завдяки швидкому закриттю міжрядь та збільшенню індексу площі листя [12] і є одним із найпростіших способів підвищення врожайності кукурудзи [13, 14]. Надмірне загущення посівів призводить до посилення конкуренції рослин за основні чинники життєдіяльності, зокрема за поживні речовини, вологу, світло. Це у свою чергу спричиняє зменшення розмірів листової поверхні та вмісту хлорофілу у листових пластинках. Дані явища призводять до зниження перехоплення світла рослинним покривом, що відповідно гальмує процес продукування біомаси рослинами та надходження сухої речовини до репродуктивних органів під час їх формування і розвитку [13, 15]. Разом з тим, вчені зазначають, що у загущених посівах внаслідок зменшення кількості сонячної радіації, перехопленої нижніми шарами листя та зниження ефективності її використання відбувається прискорення старіння листових пластинок та відповідне пригнічення розвитку кореневої системи і засвоєння нею поживних речовин [16]. У зріджених посівах, навпаки, рослини формують оптимальну за розмірами надземну частину, а їх генеративні органи є досить розвиненими, однак недостатня кількість рослин на одиниці площі призводить до зниження загального рівня урожайності посіву [17].

Постановка завдання. Метою дослідження було визначення впливу макро-і мікроелементів на формування продуктивності кукурудзи у посівах різної щільності.

Дослідження було проведено на території землекористування державного підприємства «Дослідне господарство «Степне» Інституту свинарства і АПВ НААН» впродовж 2022–2024 рр. Основними чинниками, що вивчали були: різні системи мінерального живлення $N_{50}P_{80}K_{75}$, $N_{50}P_{80}K_{75}$ + мікродобриво Оракул мультикомплекс (2,0 л/га) у фазі 7–9 листків (ВВСН 17–19) (фактор А) та густина рослин 55, 65, 75, 85 тис/га (фактор В).

Основними складовими мікродобрива Оракул мультикомплекс є N в різних формах – 184 г/л; P_2O_5 – 66 г/л; K_2O – 44 г/л; SO_3 – 36 г/л; Fe – 6 г/л; Cu – 8 г/л; Zn – 8 г/л; B – 6 г/л; Mn – 6 г/л; Co – 0,05 г/л; Mo – 0,12 г/л.

Варіанти і повторення у досліді розмішували рандомізовано. Повторність досліді чотириразова. Площа однієї ділянки становила 50 м². Технологія вирощування кукурудзи у експерименті була загальноприйнятою, окрім чинників, що досліджували. У досліді вивчали середньостиглий гібрид кукурудзи ДМ Скарб (ФАО 330).

Висоту рослин, площу листової поверхні визначали в основні фази росту та розвитку кукурудзи (12–13 листків, цвітіння качанів, молочна стиглість зерна), на 10 типових рослинах, в двох несуміжних повтореннях. Висоту рослин до фази цвітіння визначали шляхом заміру рослин від поверхні ґрунту до верхівки найдовшого (витягнутого) листа, після фази викидання волоті – від поверхні ґрунту до верхньої кінцівки волоті [19]. Площу листової поверхні визначали за методикою Kaushik та ін. [21]. Збирання та облік урожаю проводили в фазу повної стиглості зерна вручну шляхом зважування качанів з усієї облікової площі ділянок. Індивідуальну продуктивність рослин, вологість зерна визначали в пробах по 50 качанів, що відбирали під час збирання з кожної облікової ділянки [19, 20]. Результати обліку врожаю піддавали дисперсійному аналізу за допомогою комп'ютерної техніки використовуючи методичні рекомендації із проведення польових дослідів [22].

Виклад основного матеріалу дослідження. Інтенсивність ростових процесів рослинного організму та його розвиток є відображенням реакції на вплив факторів навколишнього середовища. Результати дослідження свідчать про позитивний вплив факторів, що вивчали на формування габітусу рослин кукурудзи.

Так у варіантах внесення мінеральних добрив значення даного показника були вищими за контрольний варіант на 2,2–9,7 %, а поєднання внесення мінеральних добрив і позакореневого підживлення рослин мікродобривом сприяло збільшенню висоти рослин кукурудзи на 5,0–9,9 % (табл. 1).

Підвищення значень висоти рослин було також відзначено у варіантах збільшення кількості рослин на одиниці площі, однак це явище здебільшого було пов'язано із посиленням ценотичної взаємодії між рослинами у посіві. Слід також звернути увагу на нерівномірність у динаміці приросту надземної частини рослин кукурудзи впродовж вегетаційного періоду. У початковий період розвитку інтенсивність лінійних приростів рослин кукурудзи у висоту була незначною. Надалі ростові процеси рослин посилювалися, досягаючи максимуму у міжфазний період 12–13 листків – цвітіння качанів. За цей час висота рослин збільшувалася на 78,1–84,4 см.

Під час репродуктивного розвитку рослин інтенсивність лінійних приростів рослин у висоту значно зменшувалася, що було пов'язано із перерозподілом більшої частини органічних сполук і елементів мінерального живлення до качанів та зерна, що формувалися. Від фази цвітіння до фази формування зерна висота рослин збільшилася на 3,0–7,8 см.

Таблиця 1

Вплив мінерального удобрення на інтенсивність лінійних приростів рослин кукурудзи у висоту у посівах різної щільності, см (2022–2024 рр.)

Мінеральне удобрення	Густота рослин, тис./га	Фази розвитку рослин		
		12–13 листків	цвітіння качанів	молочна стиглість зерна
Контроль (без добрив)	55	108,6	190,4	194,5
	65	112,3	196,7	201,3
	75	121,5	204,3	207,3
	85	126,8	207,8	211,1
N ₅₀ P ₈₀ K ₇₅	55	116,7	194,8	198,8
	65	119,5	197,3	204,5
	75	124,5	206,8	211,1
	85	127,4	209,4	213,4
N ₅₀ P ₈₀ K ₇₅ + мікродобриво (Оракул мультикомплекс)	55	118,8	196,7	204,3
	65	121,3	199,4	207,2
	75	126,9	208,7	209,5
	85	129,5	210,5	213,8

Фотосинтез, у ході якого з простих речовин утворюються багаті енергією і різноманітні за хімічним складом органічні сполуки є фундаментальним процесом формування продуктивності рослин. Тому, на сьогодні всі агротехнологічні прийоми розглядаються як засіб створення оптимальних за оптичною щільністю посівів, що найбільш повно поглинають енергію сонячної радіації та використовують її у процесі створення органічної біомаси. Інтенсивність, тривалість і продуктивність фотосинтетичної роботи визначається величиною листової поверхні, що змінюється залежно від морфологічних параметрів рослин.

Результати досліджень показали, що процеси лінійного приросту рослин у висоту, наростання надземної частини і формування їх асиміляційної поверхні були взаємопов'язаними і змінювалися впродовж вегетації залежно від рівня забезпеченості елементами мінерального живлення. На початкових етапах розвитку інтенсивність наростання листової поверхні була незначною. Надалі темпи їх приросту підвищувалися і досягали свого максимуму у фазі цвітіння. Площа листової поверхні посівів у цей час змінювалася залежно від агротехнологічних прийомів, що вивчали, у межах 35,8–44,2 тис. м²/га (табл. 2). До фази молочного стану зерна асиміляційна поверхня посівів, за рахунок підсихання листків нижніх ярусів, зменшилася.

Внесення мінеральних добрив сприяло покращанню умов формування листової поверхні посівів. Її величина у варіантах внесення N₅₀P₈₀K₇₅ збільшувалися залежно від густоти рослин на 2,70–3,30 тис. м²/га порівняно із варіантами, де мінеральне удобрення не проводилося. У варіантах поєднання внесення мінеральних добрив і позакореневого підживлення рослин підвищення значень даного показника щодо контролю знаходилося на рівні 12,0–14,6 %. Умови формування листової поверхні рослин кукурудзи були найбільш сприятливими за комплексного застосування макро- і мікродобрив у посівах із густотою рослин 75 тис./га.

Загалом по досліді, листкова поверхня окремих рослин була найбільш розвиненою у посівах із їх кількістю на 1 га 55 тис. У варіантах збільшення густоти до 75 тис./га листкова поверхня окремих рослин зменшувалася, однак у посівах це компенсувалося збільшенням їх кількості на одиниці площі. Тож величина даного показника збільшувалася від зростання кількості рослин у них від 55 до 75 тис./га. У посівах із густотою рослин 85 тис./га зменшення розмірів листової поверхні окремих рослин уже не компенсувалося їх кількістю на одиниці площі, таким чином їх асиміляційна поверхня в цілому була меншою.

Таблиця 2

Вплив мінерального удобрення на формування асиміляційної поверхні кукурудзи у посівах різної щільності, тис м²/га (2022–2024 рр.)

Мінеральне удобрення	Густота рослин, тис/га	Фази розвитку рослин		
		12–13 листків	цвітіння качанів	молочна стиглість зерна
Контроль (без добрив)	55	17,7	35,8	31,6
	65	18,6	36,9	32,4
	75	20,4	39,4	34,4
	85	21,2	38,1	33,1
N ₅₀ P ₈₀ K ₇₅	55	20,1	38,8	34,7
	65	24,9	40,2	36,3
	75	26,3	42,5	38,2
	85	25,8	40,8	37,8
N ₅₀ P ₈₀ K ₇₅ + мікродобриво (Оракул мультикомплекс)	55	24,2	40,1	35,4
	65	25,8	42,3	37,3
	75	27,5	44,2	38,9
	85	26,1	42,9	37,7

Результати досліджень свідчать про позитивний вплив факторів, що вивчали на величину елементів структури врожаю кукурудзи (табл. 3). У цьому відношенні найбільш ефективним виявилось поєднання внесення мінеральних добрив і застосування мікродобрива у позакореновому підживленні посівів із густотою рослин 55 тис./га. У даному варіанті довжина і діаметр качана в середньому становили 23,5 см і 45,3 мм відповідно. Кількість рядів на качанах становила 18 шт., а маса 1000 зерен була на рівні 325,1 г.

Мінеральне удобрення сприяло збільшенню довжини і діаметру качана відносно контрольно, відповідно на 0,8–1,2 см і 2,2–3,1 мм. Маса 1000 зерен збільшувалася порівняно з контрольним варіантом на 20,6–34,0 г.

Слід відмітити, що загущення посівів призводило до зниження значень основних елементів структури врожаю, що обумовлювалося посиленням конкуренції рослин за основні фактори життєдіяльності.

Таблиця 3

Вплив мінерального удобрення на індивідуальну продуктивність рослин кукурудзи у посівах різної щільності (2022–2024 рр.)

Мінеральне удобрення	Густота рослин, тис шт./га	Довжина качана, см	Діаметр качана, мм	Кількість рядів зерен, шт.	Маса 1000 зерен, г
Контроль (без добрив)	55	21,3	39,7	18	298,6
	65	20,4	40,6	16	294,8
	75	19,6	40,2	16	267,9
	85	18,9	39,0	16	254,3
$N_{50}P_{80}K_{75}$	55	22,5	42,8	18	319,2
	65	21,6	43,1	18	316,4
	75	20,9	42,4	16	297,5
	85	19,7	41,6	16	288,3
$N_{50}P_{80}K_{75}$ + мікродобриво (Оракул мультикомплекс)	55	23,5	45,3	18	325,1
	65	22,9	45,9	18	318,9
	75	21,6	44,7	18	304,3
	85	20,4	43,2	16	296,8

Індивідуальна продуктивність рослин та їх кількість на одиниці площі визначали розміри загальної урожайності зерна кукурудзи. Її значення збільшувалися по мірі загущення посівів до 75 тис. рослин/га (табл. 4). Найвищою (7,85 т/га) вона була у варіанті комплексного застосування макро- і мікродобрив. Внесення $N_{50}P_{80}K_{75}$ забезпечило приріст урожайності зерна залежно від густоти посіву на 0,22–0,30 т/га щодо контролю. У варіантах поєднання мінерального удобрення і проведення позакоренового підживлення рослин величина даного показника у посівах із різним загущенням збільшувалася на 0,49–0,63 т/га порівняно із варіантами, де макро- і мікродобрива не вносили.

Висновки. Застосування мінеральних добрив у поєднанні з позакореновим підживленням посівів мікродобривами сприяло покращенню умов росту рослин, активнішому формуванню листової поверхні та основних структурних компонентів врожаю. Збільшення густоти посівів призводило до посилення ценотичних

взаємодій між рослинами, що проявлялося у збільшенні їх висоти та скороченні площі листової поверхні. Водночас зниження індивідуальної продуктивності компенсувалося підвищенням кількості рослин на одиницю площі – з 55 до 75 тис./га, що в цілому сприяло збільшенню загальної продуктивності посівів.

Таблиця 4

**Вплив мінерального удобрення на урожайність зерна посівів кукурудзи
різної щільності (2022–2024 рр.)**

Мінеральне удобрення	Густота рослин	Урожайність зерна, т/га			Середнє
		2022	2023	2024	
Контроль (без добрив)	55	7,32	7,93	5,39	6,88
	65	7,54	8,14	5,73	7,14
	75	7,47	8,45	5,75	7,22
	85	7,39	8,31	5,37	7,02
$N_{50}P_{80}K_{75}$	55	7,53	8,24	5,53	7,10
	65	7,86	8,47	5,99	7,44
	75	7,79	8,89	5,86	7,51
	85	7,64	8,64	5,48	7,25
$N_{50}P_{80}K_{75}$ + мікродобриво (Оракул мультикомплекс)	55	7,86	8,56	5,68	7,37
	65	8,17	8,75	6,13	7,68
	75	8,05	9,45	6,05	7,85
	85	7,78	8,83	5,96	7,52
$HP_{0,95}$	$A = 0,13$ т/га; $B = 0,17$ т/га; $AB = 0,22$ т/га.				

Найбільш сприятливі умови для формування високої продуктивності кукурудзи були зафіксовані за поєднання мінерального удобрення в дозі $N_{50}P_{80}K_{75}$ із позакореневим внесенням мікродобривом Оракул мультикомплекс. Максимальні показники врожайності зерна спостерігалися за густоти посіву 75 тис./га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Huma B., Hussain M., Ning C., Yuesuo Y. Human benefits from maize. Scholar Journal of Applied Sciences and Research. 2019. 2. 4–7.
2. Rudska N. Influence of the protection system on limitation of the number of main pests in corn crops. Захист рослин. 2022. 27. 143–165. <http://dx.doi.org/10.37128/2707-5826-2022-4-11>
3. Saeed M. S., Saeed A. Health Benefits of Maize Crop – An Overview. Current Research in Agriculture and Farming. 2020. 1(3), 5–8. <http://dx.doi.org/10.18782/2582-7146.114>
4. Adom K.K., Liu R.H. Antioxidant activity of grains. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2002. 50. 6182–6187. <http://dx.doi.org/10.1021/jf0205099>
5. Sots S.M., Bnyiak O.V., Valevskaya L.O. Use of corn grain in production of food products. Зернові продукти і комбікорми. 2018. Vol.18, I.2. С. 20–25.
6. Maeda Y., Konishi M., Kiba T., Sakuraba Y., Sawaki N., Kurai T., Ueda Y., Sakakibara H., Yanagisawa S. A NIGT1-centred transcriptional cascade regulates nitrate signalling and incorporates phosphorus starvation signals in Arabidopsis. Nature Communication. 2018. 9. 1376. 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03832-6>

7. Hu B., Jiang Z., Wang W., Qiu Y., Zhang Z., Liu Y., Li A., Gao X., Liu L., Qian Y. Nitrate–NRT1.1B–SPX4 cascade integrates nitrogen and phosphorus signalling networks in plants. *Nature Plants*. 2019. 5. 401–413. <https://doi.org/10.1038/s41477-019-0384-1>
8. Medici A., Szponarski W., Dangeville P., Saf A., Dissanayake I.M., Saenchai C., Emanuel A., Rubio V., Lacombe B., Rufel S. Identification of molecular integrators shows that nitrogen actively controls the phosphate starvation response in plants. *The Plant Cell*. 2019. 31. 1171–1184. <https://doi.org/10.1105/tpc.18.00656>
9. Dong Y.H., Silbermann M., Speiser A., Forieri I., Linster E., Poschet G., Samami A.A., Wanatabe M., Sticht C., Telemann A.A. Sulfur availability regulates plant growth via glucose-TOR signalling. *Nature Communication*. 2017. 8. 1174. 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01224-w>
10. Kopriva S., Calderwood A., Weckopp S.C., Koprivova A. Plant sulphur and big data. *The Plant Science*. 2015. 241. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2015.09.014>
11. Courbet G., Gallardo K., Vigani G., Brunel-Muguet S., Trouverie J., Salon C., Ourry A. Disentangling the complexity and diversity of crosstalk between sulfur and other mineral nutrients in cultivated plants. *Journal of Experimental Botany*. 2019. 70(16). 4183–4196. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz214>
12. Bhaumik S., Kashyap R., Bag A.G. Effect of essential plant nutrients on growth and yield of maize crop (*Zea mays* L.): a review. *Vegetos*. 2024. 37. 1705–1719. <https://doi.org/10.1007/s42535-024-01024-w>
13. Zhang Y., Xu Z., Li J., Wang R. Optimum planting density improves resource use efficiency and yield stability of rainfed maize in semiarid climate. *Frontiers in Plant Science*. 2021. 12. 752606. 1–10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.752606>
14. Tolimir M., Kresović B., Gajić K., Anđelković V., Brankov M., Dugalić M., Gajić B. 2024. Integrated effect of irrigation rate and plant density on yield, yield components and water use efficiency of maize. *Plant, Soil and Environment*. 2024. 70(8). 475–482. <https://doi.org/10.17221/155/2024-PSE>
15. Djamana K., Allena S., Djamana D.S., Koudahec K., Irmak S., Puppala N., Darapuneni M.D., Sangamesh V., Angadi. Planting date and plant density effects on maize growth, yield and water use efficiency. *Environmental Challenges*. 2022. 6. 100417. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100417>
16. Liu T., Wang Z., Cai T. Canopy apparent photosynthetic characteristics and yield of two spike-type wheat cultivars in response to row spacing under high plant density. *PLoS One*. 2016. 11 (2). e0148582. 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148582>
17. Gummert A., Ladewig E., Bürcky K., Märlander B. Variety resistance to *Cercospora* leaf spot and fungicide application as tools of integrated pest management in sugar beet cultivation – a German case study. *Crop Protection*. 2015. 72. 182–194. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2015.02.024>
18. Petek M., Toth N., Pecina M., Lazarević B., Palčić I., Herak Ćustić M. Status of Fe, Mn and Zn in red beet due to fertilization and environment. *Journal of Central European Agriculture*. 2017. 18 (3). 554–570. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/18.3.1930>
19. Мойсейченко В. Ф., Єщенко В. О. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ: Вищ. шк., 1994. 334 с.
20. Kaushik P., Pati P.H., Khan M.L., Khare P.K. A quick and simple method for estimating leaf area by leaf weight. *International Journal of Botany Studies*. 2021. 6. 1286–1288.
21. Статистичний аналіз результатів польових дослідів у землеробстві: монографія / В.О. Ушкаренко, Р.А. Вожегова, С.П. Голобородько, С.В. Коковіхін. Херсон: Айлант, 2013. 378 с.