

## РОСЛИННИЦТВО

УДК 633.15[631.527.5/.559:631.84+551.515] DOI: <https://doi.org/10.47414/np.30.2022.268943>

### Продуктивність кукурудзи залежно від забезпечення тепловими одиницями та живлення різними видами азотних добрив

С. М. Каленська\*, Р. В. Говенько

Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна, \*e-mail: [svitlana.kalenska@gmail.com](mailto:svitlana.kalenska@gmail.com)

**Мета.** Установити ефективність застосування різних видів добрив у технологіях вирощування кукурудзи в Лівобережному Лісостепу України залежно від погодних умов років проведення досліджень. **Методи.** Польові дослідження проводили впродовж 2019–2021 рр. на темно-сірому опідзоленому ґрунті. Результати дослідження були обраховані з використанням програмного пакету SAS 9.4. Дисперсійний аналіз виконували за системою оцінювання за ранговим критерієм Дункана. **Результати.** Розрахунки накопичення теплових одиниць показали суттєву різницю за роками, що значною мірою обумовлювало й рівень урожайності кукурудзи. За вегетаційний період кукурудзи сума активних температур в умовах північних регіонів Лівобережного Лісостепу змінювалася в середньому за 2019–2021 рр. від 3235 (травень – вересень) до 3731 (квітень – листопад). Найбільший діапазон різниці між сумами теплових одиниць був для періоду «квітень – жовтень» – від 3550 у 2019-му до 3845 у 2021 р., що свідчить про потенційну можливість більш ранніх строків сівби кукурудзи в цьому регіоні за сприятливих погодних умов. Гібриди кукурудзи ‘ЄС Конкорд’ та ‘ЄС Астероїд’ є досить пластичними й позитивно реагують на оптимізацію живлення. Унесення N<sub>22</sub>P<sub>57</sub>K<sub>57</sub> у вигляді діаміфоски забезпечує підвищення врожайності їх зерна на 0,99–1,01 т/га, або 16,3–16,4 %. Додаткове внесення азотних добрив на фоні діаміфоски забезпечує зростання врожайності від 0,57 до 1,33 т/га, або на 8,0–18,6%. За внесення КАС 32 приріст урожайності ‘ЄС Конкорд’ становив 2,19 т/га, ‘ЄС Астероїд’ – 2,34 т/га порівняно з контролем. **Висновки.** Сума накопичених теплових одиниць за вегетаційний період об’єктивніше характеризує теплові ресурси території порівняно із сумами позитивних, активних та ефективних температур, що дає змогу точніше встановлювати оптимальні строки сівби та закінчення вегетації культури в умовах регіону проведення досліджень. Унесення азоту в декілька прийомів оптимізує живлення рослин кукурудзи, забезпечуючи зростання показників індивідуальної продуктивності та врожайності зерна до 18,6 %.

**Ключові слова:** гібрид; теплові одиниці; види азотних добрив; індекс урожайності.

#### Вступ

Кукурудза, за обсягом виробництва і споживання, вийшла на перше місце у світі серед зернових культур. Як культура інтенсивного типу, для формування високої врожайності вона потребує значних виробничих витрат, за якими часто перевищує інші зернові. Досягнення в селекції кукурудзи сприяють забезпеченню виробництва високопродуктивними, інноваційними гібридами, які своєю чергою є надзвичайно вимогливими до умов та технологій вирощування [1, 2].

За змінних кліматичних умов та технологій вирощування, адаптивність гібридів кукурудзи відіграє важливу роль [3–5]. Кукурудза ефективно реагує на оптимізацію живлення рослин через підвищення продуктивності [6, 7]. Генетичний прогрес за врожаєм зернових культур досягнуто переважно завдяки збільшенню індексу врожайності, або збирального індексу. Збиральний індекс також є важливим показником пристосування сортів та гібридів до місцевих умов [8, 9].

Кукурудза потребує підвищеного мінерального живлення, що пов'язано, насамперед, з довготривалим вегетаційним періодом та здатністю рослин засвоювати поживні речовини майже до самого завершення достигання зерна [10, 11]. Застосування добрив нового покоління з макро- та мікроелементним складом, нанодобрив, добрив пролонгованої дії забезпечує цільове використання рослинами елементів живлення [12–14]. Оптимізація живлення рослин тісно пов'язана зі збереженням родючості ґрунтів, мікробіологічного біорізноманіття та безпекою довкілля [15, 16].

Підвищення врожайності кукурудзи знаходиться в тісному корелятивному зв'язку з нормою азотних добрив, ефективність яких зростає за комбінованого застосування [1, 17, 18].

Ефективність використання елементів живлення кукурудзою також тісно пов'язана з ґрунтовими умовами, забезпеченням вологою, тепловими ресурсами та розвитком кореневої системи [19–23]. У сприятливі за погодними умовами роки чинники погоди та азоту об'єднуються, забезпечуючи високий рівень урожайності [24, 25]. Однак, у посушливі роки, істотно обмежується реакція кукурудзи на застосування азоту. За внесення відносно невеликих доз азоту в середньому за кілька років урожайність основної продукції може зростати лише на 10 %, а в роки із сприятливими умовами вологозабезпечення приріст врожаю може становити 50 % і більше [26]. Найбільше надходження макроелементів (42–81 %) припадає на період активного нарощування вегетативної маси [27].

Кукурудза на старті потребує лише 25 % необхідного їй азоту [11]. Досліджено, що на початкових фазах росту засвоєння азоту є незначним (3–9 %). Зменшення засвоєння азоту, викликане низькими температурами навесні, спричинює пожовтіння рослин і гальмування їх росту. Інтенсивніше азот надходить у рослину починаючи з фази 6–8 листків. Зокрема, якщо до фази 8 листків засвоюється лише 2–3 %, то від фази 8 листків до фази засихання квіткових стовпчиків на качанах – приблизно 85 % загальної кількості азоту [17]. Потреба у цьому елементі живлення стрімко зростає після формування 10 листків. Як засвідчують результати досліджень, високу ефективність забезпечує пролонговане азотне живлення кукурудзи [2, 13]. Найінтенсивніше поглинання азоту відбувається в період від 10–12 листків до молочної стиглості зерна, а калію – у першій половині вегетації. Фосфор використовується більш рівномірно майже до повної стиглості зерна [25].

На ранніх фазах росту й розвитку рослини кукурудзи через слабкорозвинену кореневу систему потерпають від нестачі як фосфору, так і марганцю й цинку. У фазі інтенсивного росту рослин кукурудзи потреба в цих елементах висока, оскільки вони активізують ферментативну діяльність [2, 28].

*Мета досліджень* – установити ефективність застосування різних видів добрив у технологіях вирощування кукурудзи в Лівобережному Лісостепу України залежно від погодних умов років проведення досліджень.

### **Матеріали та методика досліджень**

Польові дослідження проводили впродовж 2019–2021 рр. в умовах ФГ «Богатирівське» (с. Андріяшівка, Роменський р-н, Сумська обл.) у північній частині Лівобережного Лісостепу України. Досліди закладали відповідно до вимог методики дослідної справи [29]. Ґрунти дослідного поля – темно-сірі опідзолені зі вмістом азоту (за Тюрнімом – Коновою) – 40–50 мг/кг, рухомих форм фосфору та калію (за Чиріковим) – 50–100 і 40–80 мг/кг ґрунту відповідно.

Схема двофакторного польового дослідження:

*фактор А* – гібриди: 'ЕС Конкорд' та 'ЕС Астероїд';

*фактор В* – добрива: 1) без добрив – контроль; 2) N<sub>22</sub>P<sub>57</sub>K<sub>57</sub> (діамофоска) – фон; 3) фон + N<sub>120</sub> (аміачна вода); 4) фон + N<sub>120</sub> (КАС 32); 5) фон + N<sub>120</sub> (карбамід).

Польові дослідження проводили із середньостиглими гібридами ‘ЕС Конкорд’ (ФАО 250) та ‘ЕС Астероїд’ (ФАО 290). Перед основним обробітком, згідно зі схемою досліду, на дослідних ділянках уносили фон добрив, а саме діамофоску (10:26:26) – 220 кг ф. в. Добрива вносили розкидачем Amazone ZA-M Limiter X 1001 з подальшим зароблянням під оранку, яку проводили на глибину 30–35 см плугом Lemken Juwel 8M 5+1. Кукурудзу висівали за прогрівання ґрунту на глибині заробляння насіння до 8 °С: 2019 р. – 15 квітня; 2020 – 19 квітня; 2021 р. – 23 квітня. Сівбу проводили сівалкою ELVORTI VESTA 8 на глибину 5 см з нормою висіву 75 тис. насінин на один гектар.

Під передпосівний обробіток ґрунту вносили різні види азотних добрив відповідно до схеми досліду.

Збирали врожай поділянково шляхом суцільного обмолоту. Перед збиранням урожаю відбирали пробні зразки рослин для визначення біологічної врожайності та структури врожаю.

Розміщення ділянок – рендомізоване, за чотириразової повторності. Площа облікової ділянки – 50 м<sup>2</sup>.

Статистичну обробку даних польових дослідів, зокрема врожайності, проводили з використанням програмного пакету SAS 9.4, розробленого Університетом штату Північна Кароліна, США. Дисперсійний аналіз виконували за системою оцінювання за ранговим критерієм Дункана [29].

### Результати досліджень

Роки досліджень досить суттєво різнилися за гідротермічними показниками, що дало змогу об’єктивно оцінити за врожайністю досліджувані гібриди та виявити їх реакцію на різні види азотних добрив за різноманітних погодних умов.

В усі роки проведення досліджень у квітні, а особливо в травні, випадали опади, які перевищували багаторічну їх кількість у регіоні, і сприяли забезпеченню вологою (табл. 1).

Таблиця 1

**Середньомісячні опади та коефіцієнти суттєвості відхилення середньомісячних опадів від багаторічних даних**

Місяць	Багаторічні середньомісячні опади, мм (2008–2018)	Середньомісячні опади, мм				Гідротермічний коефіцієнт*		
		2019	2020	2021	2019–2021	2019	2020	2021
Квітень	36,0	33,1	32,3	67,2	44,2	2,0	3,6	9,7
Травень	57,0	67,5	147,2	83,4	99,3	1,4	4,6	2,1
Червень	73,0	42,0	54,0	73,1	56,4	0,6	0,8	1,2
Липень	72,0	56,2	60,4	51,5	56,0	1,0	0,9	0,7
Серпень	58,0	9,7	29,6	61,3	33,5	0,1	0,5	0,9
Вересень	44,0	40,3	33,5	6,8	26,9	1,0	0,7	0,1
Жовтень	40,0	22,4	30,1	0,01	17,5	1,0	1,0	0,01

\*ГТК: < 0,4 – дуже сильна посуха; 0,4–0,5 – сильна посуха; 0,6–0,7 – середня посуха; 0,8–0,9 – слабка посуха; 1,0–1,5 – достатньо волого; > 1,5 – надмірно волого.

Значні запаси вологи сприяли появі дружних сходів. Сумарна кількість опадів у період активної вегетації (червень – жовтень) була нижчою порівняно з багаторічними даними. Винятком був лише серпень 2021 р., впродовж якого випало 61,3 мм (середньобагаторічна норма – 58,0 мм). Особливо критичним, також в усі роки, було забезпечення вологою в серпні, вересні та жовтні. Нестача вологи негативно позначилася на масі 1000 насінин.

Загалом температурний режим упродовж років проведення досліджень був сприятливим для росту й розвитку гібридів кукурудзи. Середньодобові температури, за деякими винятками, мало відрізнялися від багаторічних показників. Відповідність теплових ресурсів вимогам гібридів кукурудзи є критичною умовою їх вибору за скоростиглістю, реалізації генетичного потенціалу, формування врожайності та якості зерна. Для регіону проведення дослідження важливим є встановлення оптимальних строків сівби та закінчення вегетації, що пов'язано з температурним режимом. З метою оцінювання умов вирощування гібридів кукурудзи нами було розраховано накопичення теплових одиниць (СНУ) упродовж вегетаційного періоду росту й розвитку рослин відповідно до методики D. M Brown, A. Bootsma [30]. Особливістю розрахунку СНУ є те, що він ведеться для кожної доби і враховуються мінімальні та максимальні температури. Роки різнилися за надходженням тепла – як за абсолютними показниками, так і тривалістю періоду надходження. Значна різниця між роками була власне в період перед сівбою і появою сходів (табл. 2).

Таблиця 2

**Сума теплових одиниць (СНУ) за декадами  
впродовж вегетаційного періоду**

Місяць	Декада	Рік			Середнє за 2019–2021
		2019	2020	2021	
Квітень	1	70,5	54,7	22,4	49,2
	2	48,1	29,5	46,5	41,4
	3	125,3	91,2	43,2	86,6
	$\Sigma$	<b>243,9</b>	<b>175,4</b>	<b>112,1</b>	<b>177,2</b>
Травень	1	131,2	133,5	98,5	121,1
	2	205,9	102,5	173,4	160,6
	3	262,2	116,9	159,7	179,2
	$\Sigma$	<b>599,3</b>	<b>352,8</b>	<b>431,5</b>	<b>461,2</b>
Червень	1	268,6	205,9	187,7	220,7
	2	284,3	292,7	257,7	278,2
	3	254,4	269,0	289,8	271,1
	$\Sigma$	<b>807,3</b>	<b>767,5</b>	<b>735,2</b>	<b>770,0</b>
Липень	1	216,9	254,3	280,5	250,6
	2	214,4	219,6	295,9	243,3
	3	281,7	265,0	287,1	277,9
	$\Sigma$	<b>712,9</b>	<b>738,9</b>	<b>863,5</b>	<b>771,8</b>
Серпень	1	207,4	237,3	241,8	228,8
	2	251,4	212,3	252,5	238,7
	3	269,2	257,2	263,1	263,2
	$\Sigma$	<b>727,9</b>	<b>706,8</b>	<b>785,9</b>	<b>730,7</b>
Вересень	1	238,2	239,3	173,4	217,2
	2	151,3	160,9	201,9	171,4
	3	88,2	182,1	88,9	112,4
	$\Sigma$	<b>478,4</b>	<b>582,2</b>	<b>442,4</b>	<b>501,0</b>
Жовтень	1	72,7	187,7	81,8	114,1
	2	153,3	101,6	58,2	104,2
	3	49,8	74,2	68,1	64,0
	$\Sigma$	<b>275,9</b>	<b>363,5</b>	<b>208,1</b>	<b>282,3</b>
Листопад	1	43,6	12,2	49,5	35,0
	2	2,37	0,00	0,77	1,00
	3	0,00	0,00	14,5	4,80
	$\Sigma$	<b>46,9</b>	<b>12,2</b>	<b>64,7</b>	<b>40,8</b>

Зокрема, 2021 р. характеризувався досить тривалим періодом «входження» в активну стадію накопичення СЧУ у весняний період. Стабільний перехід до накопичення СЧУ відзначено лише 10 квітня, але надалі накопичення СЧУ відбувалося переважно за рахунок денних теплових одиниць і тривало до закінчення першої декади травня. За квітень кількість теплових одиниць становила лише 112,1. Накопичення СЧУ вночі, відповідно до методики, також не розраховується, якщо мінімальна температура повітря не перевищує 4,44, таким чином у третій декаді травня накопичення відбувалося лише за рахунок дня. У період з 25 до 29 квітня вночі були зафіксовані помірні мінусові температури, що обумовило зниження СЧУ. У першій декаді травня накопичення СЧУ також відбувалося переважно за рахунок денних температур. Лише після 11 травня почалося накопичення тепла і за рахунок ночі. У другій декаді травня було накопичено 173,4, третій – 159,7, а загалом за місяць – 431,5 теплових одиниць. Упродовж червня й липня накопичення СЧУ в усі роки відбувається рівномірно за рахунок дня і ночі. У вересні відбувається зниження накопичення СЧУ і частка накопичення поступово стає майже рівномірною за рахунок денного і нічного тепла. У третій декаді вересня вже лише в половині діб накопичення відбувалося переважно за рахунок денного тепла.

Максимальна кількість СЧУ накопичується в травні – жовтні (табл. 3). Упродовж активної вегетації рослин кукурудзи (травень – жовтень) у 2021 р. було накопичено 3602 теплові одиниці. Різниця порівняно з періодом травень – вересень становила 276 теплових одиниць, а з періодом травень – листопад – лише 46. Варто зазначити, що у 2021 р. було максимальне забезпечення тепловими ресурсами порівняно з 2020 і 2019 рр. – відповідно 3511 і 3438 теплових одиниць.

Кількість СЧУ до травня і після жовтня не має суттєвого впливу на загальну їх суму. Загальна кількість накопичених СЧУ коливалася від 3891 за квітень – листопад у 2021 р. до 3148 за травень – вересень у 2020 р. У жовтні в усі роки ще спостерігалось накопичення теплових одиниць, що свідчить про те, що в цей період може відбуватися повноцінний налив зернівок і збільшення маси 1000 насінин.

Таблиця 3

Сума теплових одиниць за періоди (СЧУ)

Період, Місяць	Рік			Середнє 2019–2021
	2019	2020	2021	
IV–XI	3615	3686	3891	3731
IV–X	3550	3686	3845	3694
IV–IX	3342	3323	3570	3412
V–XI	3503	3523	3648	3558
V–X	3438	3511	3602	3517
V–IX	3230	3148	3326	3235

Гібриди є пластичними до умов вирощування та мають значну реакцію на добрива. Діапазон зміни врожайності в середньому за 2019–2021 рр. для гібрида ‘ЕС Конкорд’ становив від 6,07 (контроль) до 8,26 т/га за внесення КАС 32 (N<sub>120</sub> кг/га д. р.) на фоні N<sub>22</sub>P<sub>57</sub>K<sub>57</sub> (діамофоска); ‘ЕС Астероїд’ – від 6,16 до 8,50 т/га відповідно (табл. 4).

Потенційна родючість ґрунтів дослідного поля є високою – врожайність у контрольних варіантах (без добрив) сформувалась на рівні 6,07 та 6,16 т/га відповідно для ‘ЕС Конкорд’ та ‘ЕС Астероїд’.

Унесення N<sub>22</sub>P<sub>57</sub>K<sub>57</sub> (фон, діамофоска) забезпечувало зростання врожайності на 0,99–1,01 т/га, або 16,3–16,4 %. Додаткове внесення азотних добрив на фоні діамофоски сприяло збільшенню врожайності ще на 8,0–18,6 %. За внесення КАС 32 приріст урожайності гібрида ‘ЕС Конкорд’ становив 2,19 т/га, або 36,1 %, а ‘ЕС Астероїд’ – 2,34 т/га, або 38,0 % порівняно з контролем. Реакція гібридів на внесення аміачної води та карбаміду, через приріст урожайності, була нижчою порівняно зі внесенням КАС 32.

## Урожайність гібридів кукурудзи залежно від норми внесення та виду добрив

Удобрення (фактор В)		Рік			Середнє	Приріст урожаю	
Норма добрив, кг/га д. р.	Вид добрива	2019	2020	2021		т/га	%
‘СС Конкорд’ (фактор А)							
Контроль, без добрив		5,31 <sup>a</sup>	6,55 <sup>a</sup>	6,34 <sup>a</sup>	6,07 <sup>a</sup>	–	–
N <sub>22</sub> P <sub>57</sub> K <sub>57</sub> – фон	Діамофоска	6,23 <sup>b</sup>	7,61 <sup>b</sup>	7,35 <sup>b</sup>	7,06 <sup>b</sup>	0,99	16,3
Фон + N <sub>120</sub>	Аміачна вода	6,81 <sup>c</sup>	8,18 <sup>c</sup>	8,02 <sup>c</sup>	7,67 <sup>c</sup>	1,60	26,4
Фон + N <sub>120</sub>	КАС	7,37 <sup>d</sup>	8,93 <sup>d</sup>	8,48 <sup>d</sup>	8,26 <sup>d</sup>	2,19	36,1
Фон + N <sub>120</sub>	Карбамід	6,45 <sup>b</sup>	8,59 <sup>cd</sup>	8,17 <sup>c</sup>	7,74 <sup>c</sup>	1,67	27,5
‘СС Астероїд’ (фактор А)							
Контроль, без добрив		5,18 <sup>a</sup>	6,80 <sup>a</sup>	6,49 <sup>a</sup>	6,16 <sup>a</sup>	–	–
N <sub>22</sub> P <sub>57</sub> K <sub>57</sub> – фон	Діамофоска	6,38 <sup>b</sup>	7,69 <sup>b</sup>	7,44 <sup>b</sup>	7,17 <sup>b</sup>	1,01	16,4
Фон + N <sub>120</sub>	Аміачна вода	6,71 <sup>b</sup>	8,30 <sup>c</sup>	8,22 <sup>c</sup>	7,74 <sup>c</sup>	1,58	25,6
Фон + N <sub>120</sub>	КАС	7,34 <sup>c</sup>	9,20 <sup>d</sup>	8,96 <sup>d</sup>	8,50 <sup>d</sup>	2,34	38,0
Фон + N <sub>120</sub>	Карбамід	6,97 <sup>bc</sup>	8,49 <sup>c</sup>	8,41 <sup>c</sup>	7,96 <sup>c</sup>	1,80	29,2

**Примітка.** Суттєва різниця між значеннями присутня за позначення різними літерами в одній колонці, SAS 9,4.

Індекс урожайності суттєво різниться для гібридів кукурудзи залежно від системи удобрення та погодних умов – 0,31–0,51. За внесення N<sub>120</sub> на фоні N<sub>22</sub>P<sub>57</sub>K<sub>57</sub> формується значно вища врожайність гібридів кукурудзи, але й вегетативна маса також формується більш інтенсивно. За сприятливих погодних умов індекс урожайності має значний діапазон варіювання. Загальна маса рослин та вихід зерна навіть для певного гібрида суттєво варіює залежно від удобрення у вологі роки, а в посушливі роки варіювання є незначним. Через що індекс урожайності за внесення додаткового азоту був нижчим в усі роки і для обох гібридів, лише за деякими винятками. Установлена тенденція щодо зміни індексу врожайності залежно від виду добрив. За внесення КАС співвідношення вегетативної маси і зерна в усі роки був стабільним і знаходився в інтервалі 0,48–0,51 залежно від погодних умов року.

## Висновки

За вегетаційний період кукурудзи сума активних температур в умовах північних регіонів Лівобережного Лісостепу змінювалася в середньому за 2019–2021 рр. від 3235 (травень – вересень) до 3731 (квітень – листопад). Найбільший діапазон різниці між сумами теплових одиниць був для періоду «квітень – жовтень» – від 3550 у 2019-му до 3845 у 2021 р., що свідчить про потенційну можливість більш ранніх строків сівби кукурудзи в цьому регіоні за сприятливих погодних умов. Сума накопичених теплових одиниць за вегетаційний період об’єктивніше характеризує теплові ресурси території порівняно із сумами позитивних, активних та ефективних температур.

Унесення азоту в декілька прийомів оптимізує живлення рослин кукурудзи, забезпечуючи зростання показників індивідуальної продуктивності та врожайності зерна. Гібриди кукурудзи є досить пластичними й позитивно реагують на оптимізацію живлення. Унесення N<sub>22</sub>P<sub>57</sub>K<sub>57</sub> у вигляді діамофоски забезпечує підвищення врожайності на 0,99–1,01 т/га, або 16,3–16,4 %. Додаткове внесення азотних добрив на фоні діамофоски забезпечує зростання врожайності від 0,57 до 1,33 т/га, або на 8,0–18,6 %. За внесення КАС 32 приріст урожайності ‘СС Конкорд’ становив 2,19 т/га, ‘СС Астероїд’ – 2,34 т/га порівняно з контролем. Індекс урожайності різниться за вирощування гібридів кукурудзи залежно від системи удобрення та погодних умов – 0,31–0,50. За сприятливих погодних умов індекс урожайності має значний діапазон варіювання. Загальна маса рослин та вихід зерна навіть для певного гібрида суттєво варіює залежно від норми та виду удобрення у вологі роки, а в посушливі роки варіювання є незначним.

**Використана література**

1. Shafi M., Bakht J., Ali S. et al. Effect of planting density on phenology, growth and yield of maize (*Zea mays* L.). *Pakistan Journal of Botany*. 2012. Vol. 44, Iss. 2. P. 691–696.
2. Ali, S., Uddin, S., Ullah, O. et al. Yield and yield components of maize response to compost and fertilizer-nitrogen. *Food Science and Quality Management*. 2015. Vol. 38. P. 39–44.
3. Ruiz M. B., D'Andrea K. E., Otegui M. E. Phenotypic plasticity of maize grain yield and related secondary traits: Differences between inbreds and hybrids in response to contrasting water and nitrogen regimes. *Field Crops Research*. 2019. Vol. 239. P. 19–29. doi: 10.1016/j.fcr.2019.04.004
4. Kalenska S., Ryzhenko A., Novytska N. et al. Morphological Features of Plants and Yield of Sunflower Hybrids Cultivated in the Northern Part of the Forest-Steppe of Ukraine. *American Journal of Plant Sciences*. 2020. Vol. 11, Iss. 8. P. 1331–1344. doi: 10.4236/ajps.2020.118095
5. Ross F., Matteo J. D., Cerrudo A. Maize prolificacy: a source of reproductive plasticity that contributes to yield stability when plant population varies in drought prone environments. *Field Crops Research*. 2020. Vol. 247. Article 107699. doi: 10.1016/j.fcr.2019.107699
6. Chassot A., Stamp P., Richner W. Root distribution and morphology of maize seedlings as affected by tillage and fertilizer placement. *Plant and Soil*. 2001. Vol. 231. P. 123–135. doi: 10.1023/A:1010335229111
7. Lopushniak V. Influence of fertilizing schemes in the crop rotation system on the organic matter and nitrogen content in the dark-grey podzolized soil in the western Forest-Steppe of the Ukraine. *Polish Journal of Soil Science*. 2011. Vol. 44, Iss. 1. P. 19–25.
8. Egli D. B. Modelling the effect of variation of in-row spacing on kernel  $m^{-2}$  in maize. *European Journal of Agronomy*. 2022. Vol. 136. Article 126486. doi: 10.1016/j.eja.2022.126486
9. Chakwizira E., Teixeira E. I., de Ruiter J. M. et al. Harvest index for biomass and nitrogen in maize crops limited by nitrogen and water. *Proceedings of the 2016 International Nitrogen Initiative Conference, "Solutions to improve nitrogen use efficiency for the world", 4–8 December 2016, Melbourne, Australia*. URL: [http://www.ini2016.com/pdf-papers/INI2016\\_Chakwizira\\_Emanuel.pdf](http://www.ini2016.com/pdf-papers/INI2016_Chakwizira_Emanuel.pdf)
10. Drulis P., Kriauciūnienė Z., Liakas V. The Influence of Different Nitrogen Fertilizer Rates, Urease Inhibitors and Biological Preparations on Maize Grain Yield and Yield Structure Elements. *Agronomy*. 2022. Vol. 12, Iss. 3. Article 741. doi: 10.3390/agronomy12030741
11. Pierson W. The effects of starter fertilizer on root and shoot growth of corn hybrids and seeding rates and plant-to-plant variability in growth and grain yield: Master of Science Dissertations / Iowa State University. Ames, Iowa, 2013. 127 p. doi: 10.31274/etd-180810-3378
12. Batsmanova L., Taran N., Konotop Y. et al. Use of a colloidal solution of metal and metal oxide-containing nanoparticles as fertilizer for increasing soybean productivity. *Journal of Central European Agriculture*. 2020. Vol. 21, Iss. 2. P. 311–319. doi: 10.5513/JCEA01/21.2.2414
13. Balawejder M., Szostek M., Gorzelany J. et al. Study on the potential fertilization effects of microgranule fertilizer based on the protein and calcined bones in maize cultivation. *Sustainability*. 2020. Vol. 12, Iss. 4. Article 1343. doi: 10.3390/su12041343
14. Novytska N., Gadzvsokiy G., Mazurenko B. et al. Effect of seed inoculation and foliar fertilizing on structure of soybean yield and yield structure in Western Polissya of Ukraine. *Agronomy Research*. 2020. Vol. 18, Iss. 3. P. 2512–2519. doi: 10.15159/ar.20.203
15. Yang L., Muhammad I., Chi Y. X. et al. Straw return and nitrogen fertilization to maize regulate soil properties, microbial community, and enzyme activities under a dual cropping system. *Frontiers in Microbiology*. 2022. Vol. 13. Article 823963. doi: 10.3389/fmicb.2022.823963
16. Lopushniak V. Fertilization system as a factor of transforming the humus state of the soil. *Agricultural Science and Practice*. 2015. Vol. 2, Iss. 2. P. 39–44. doi: 10.15407/agrisp2.02.039
17. Paponov I. A., Engels C. Effect of nitrogen supply on leaf traits related to photosynthesis during grain filling in two maize genotypes with different N efficiency. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2003. Vol. 166, Iss. 6. P. 756–763. doi: 10.1002/jpln.200320339

18. Rossini M. A., Otegui M. E., Martínez E. L., Maddonni G. A. Contribution of the early-established plant hierarchies to maize crop responses to N fertilization. *Field Crops Research*. 2018. Vol. 216. P. 141–149. doi: 10.1016/j.fcr.2017.11.015
19. Casali L., Herrera J. M., Rubio G. Resilient soybean and maize production under a varying climate in the semi-arid and sub-humid Chaco. *European Journal of Agronomy*. 2022. Vol. 135. Article 126463. doi: 10.1016/j.eja.2022.126463
20. Zhoua B., Suna X., Wangb D. et al. Integrated agronomic practice increases maize grain yield and nitrogen use efficiency under various soil fertility conditions. *Crop Journal*. 2019. Vol. 7, Iss. 4. P. 527–538. doi: 10.1016/j.cj.2018.12.005
21. Yan H., Li K., Ding H. et al. Root morphological and proteomic responses to growth restriction in maize plants supplied with sufficient N. *Journal of Plant Physiology*. 2011. Vol. 168, Iss. 10. P. 1067–1075. doi: 10.1016/j.jplph.2010.12.018
22. Smetanska I., Tonkha O., Patyka T. et al. The influence of yeast extract and jasmonic acid on phenolic acids content of *in vitro* hairy root cultures of *Orthosiphon aristatus*. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2021. Vol. 15. P. 1–8. doi: 10.5219/1508
23. Duvick D. N., Cassman K. Y. Post-green revolution trends in yields potential of temperate mais in the north-central USA. *Crop Science*. 1999. Vol. 39, Iss. 6. P. 1622–1630. doi: 10.2135/cropsci1999.3961622x
24. Trachsel S., San Vicente F. M., Suarez E. A. et al. Effects of planting density and nitrogen fertilization level on grain yield and harvest index in seven modern tropical maize hybrids (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural Science*. 2015. Vol. 154, Iss. 4. P. 689–704. doi: 10.1017/S0021859615000696
25. Fernández M. C., Rubio G. Root morphological traits related to phosphorus-uptake efficiency of soybean, sunflower, and maize. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2015. Vol. 178, Iss. 5. P. 807–815. doi: 10.1002/jpln.201500155
26. Khalili M., Naghavi M. R., Aboughadareh A. P., Rad H. N. Effects of Drought Stress on Yield and Yield Components in Maize Cultivars (*Zea mays* L.). *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 2013. Vol. 4, Iss. 4. P. 809–812.
27. Neilson E. H., Edwards A. M., Blomstedt C. K. et al. Utilization of a high-throughput shoot imaging system to examine the dynamic phenotypic responses of a C<sub>4</sub> cereal crop plant to nitrogen and water deficiency over time. *Journal of Experimental Botany*. 2015. Vol. 66, Iss. 7. P. 1817–1832. doi: 10.1093/jxb/eru526
28. Wnuk A., Górny A. G., Bocianowski J., Kozak M. Visualizing harvest index in crops. *Communications in Biometry and Crop Science*. 2013. Vol. 8, Iss. 2. P. 48–59.
29. Присяжнюк О. І., Климович Н. М., Полуніна О. В. та ін. Методологія і організація наукових досліджень в сільському господарстві та харчових технологіях. Київ : Нілан-ЛТД, 2021. 300 с.
30. Brown D. M., Bootsma A. Crop Heat Units for Corn and Other Warm Season Crops in Ontario. URL: <https://www.sojafoerderring.de/wp-content/uploads/2014/02/Berechnung-CHU-Uni-Guelph-Ontario.pdf>

## References

1. Shafi, M., Bakht, J., Ali, S., Khan, H., Khan, M. A., & Sharif, M. (2012). Effect of planting density on phenology, growth and yield of maize (*Zea mays* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 44(2), 691–696.
2. Ali, S., Uddin, S., Ullah, O., Shah, S., ud-Din, S., & Ali, T. (2015). Yield and yield components of maize response to compost and fertilizer-nitrogen. *Food Science and Quality Management*, 38, 39–44.
3. Ruiz, M. B., D'Andrea, K. E., & Otegui, M. E. (2019). Phenotypic plasticity of maize grain yield and related secondary traits: Differences between inbreds and hybrids in response to contrasting water and nitrogen regimes. *Field Crops Research*, 239, 19–29. doi: 10.1016/j.fcr.2019.04.004



4. Kalenska, S., Ryzhenko, A., Novytska, N., Garbar, L., Stolyarchuk, T., Kalenskyi, V., & Shytiy, O. (2020). Morphological Features of Plants and Yield of Sunflower Hybrids Cultivated in the Northern Part of the Forest-Steppe of Ukraine. *American Journal of Plant Sciences*, 11(8), 1331–1344. doi: 10.4236/ajps.2020.118095
5. Ross, F., Di Matteo, J., & Cerrudo, A. (2020). Maize prolificacy: a source of reproductive plasticity that contributes to yield stability when plant population varies in drought prone environments. *Field Crops Research*, 247, Article 107699. doi: 10.1016/j.fcr.2019.107699
6. Chassot, A., Stamp, P., & Richner, W. (2001). Root distribution and morphology of maize seedlings as affected by tillage and fertilizer placement. *Plant and Soil*, 231, 123–135. doi: 10.1023/A:1010335229111
7. Lopushniak, V. (2011). Influence of fertilizing schemes in the crop rotation system on the organic matter and nitrogen content in the dark-grey podzolized soil in the western forest-steppe of the Ukraine. *Polish Journal of Soil Science*, 44(1), 19–25.
8. Egli, D. B. (2022). Modelling the effect of variation of in-row spacing on kernel  $m^{-2}$  in maize. *European Journal of Agronomy*, 136, Article 126486. doi: 10.1016/j.eja.2022.126486
9. Chakwizira, E., Teixeira, E. I., de Ruiter, J. M., Maley, S., & George, M. J. (2016). Harvest index for biomass and nitrogen in maize crops limited by nitrogen and water. In *Proceedings of the 2016 International Nitrogen Initiative Conference, "Solutions to improve nitrogen use efficiency for the world", 4–8 December 2016, Melbourne, Australia*. Retrieved from [http://www.ini2016.com/pdf-papers/INI2016\\_Chakwizira\\_Emanuel.pdf](http://www.ini2016.com/pdf-papers/INI2016_Chakwizira_Emanuel.pdf)
10. Drulis, P., Kriauciūnienė, Z., & Liakas, V. (2022). The Influence of Different Nitrogen Fertilizer Rates, Urease Inhibitors and Biological Preparations on Maize Grain Yield and Yield Structure Elements. *Agronomy*, 12(3), Article 741. doi: 10.3390/agronomy12030741
11. Pierson, W. (2013). *The effects of starter fertilizer on root and shoot growth of corn hybrids and seeding rates and plant-to-plant variability in growth and grain yield* (Master of science Dissertations, Iowa State University). Ames, Iowa. doi: 10.31274/etd-180810-3378
12. Batsmanova, L., Taran, N., Konotop, Y., Kalenska, S., & Novytska, N. (2020). Use of a colloidal solution of metal and metal oxide-containing nanoparticles as fertilizer for increasing soybean productivity. *Journal of Central European Agriculture*, 21(2), 311–319. doi: 10.5513/JCEA01/21.2.2414
13. Balawejder, M., Szostek, M., Gorzelany, J., Antos, P., Witek, G., & Matłok, N. (2020). Study on the potential fertilization effects of microgranule fertilizer based on the protein and calcined bones in maize cultivation. *Sustainability*, 12(4), Article 1343. doi: 10.3390/su12041343
14. Novytska, N., Gadzovskiy, G., Mazurenko, B., Kalenska, S., Svistunova, I., & Martynov, O. (2020). Effect of seed inoculation and foliar fertilizing on structure of soybean yield and yield structure in Western Polissya of Ukraine. *Agronomy Research*, 18(3), 2512–2519. doi: 10.15159/ar.20.203
15. Yang, L., Muhammad, I., Chi, Y. X., Wang, D., & Zhou, X. B. (2022). Straw return and nitrogen fertilization to maize regulate soil properties, microbial community, and enzyme activities under a dual cropping system. *Frontiers in Microbiology*, 13, Article 823963. doi: 10.3389/fmicb.2022.823963
16. Lopushniak, V. (2015). Fertilization system as a factor of transforming the humus state of the soil. *Agricultural Science and Practice*, 2(2), 39–44. doi: 10.15407/agrisp2.02.039
17. Paponov, I. A., & Engels, C. (2003). Effect of nitrogen supply on leaf traits related to photosynthesis during grain filling in two maize genotypes with different N efficiency. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 166(6), 756–763. doi: 10.1002/jpln.200320339
18. Rossini, M. A., Otegui, M. E., Martínez, E. L., & Maddonni, G. A. (2018). Contribution of the early-established plant hierarchies to maize crop responses to N fertilization. *Field Crops Research*, 216, 141–149. doi: 10.1016/j.fcr.2017.11.015
19. Casali, L., Herrera, J. M., & Rubio, G. (2022). Resilient soybean and maize production under a varying climate in the semi-arid and sub-humid Chaco. *European Journal of Agronomy*, 135, Article 126463. doi: 10.1016/j.eja.2022.126463

20. Zhou, B., Sun, X., Wang, D., Ding, Z., Li, C., Ma, W., & Zhao, M. (2019). Integrated agronomic practice increases maize grain yield and nitrogen use efficiency under various soil fertility conditions. *Crop Journal*, 7(4), 527–538. doi: 10.1016/j.cj.2018.12.005
21. Yan, H., Li, K., Ding, H., Liao, C., Li, X., Yuan, L., & Li, C. (2011). Root morphological and proteomic responses to growth restriction in maize plants supplied with sufficient N. *Journal of Plant Physiology*, 168(10), 1067–1075. doi: 10.1016/j.jplph.2010.12.018
22. Smetanska, I., Tonkha, O., Patyka, T., Hunaefi, D., Mamdouh, D., Patyka, M., ... Omelian, A. (2021). The influence of yeast extract and jasmonic acid on phenolic acids content of *in vitro* hairy root cultures of *Orthosiphon aristatus*. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 15, 1–8. doi: 10.5219/1508
23. Duvick, D. N., & Cassman, K. G. (1999). Post-green revolution trends in yields potential of temperate maize in the north-central USA. *Crop Science*, 39(6), 1622–1630. doi: 10.2135/cropsci1999.3961622x
24. Trachsel, S., San Vicente, F. M., Suarez, E. A., Rodriguez, C. S., & Atlin, G. N. (2015). Effects of planting density and nitrogen fertilization level on grain yield and harvest index in seven modern tropical maize hybrids (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural Science*, 154(4), 689–704. doi: 10.1017/S0021859615000696
25. Fernandez, M. C., & Rubio, G. (2015). Root morphological traits related to phosphorus-uptake efficiency of soybean, sunflower, and maize. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 178(5), 807–815. doi: 10.1002/jpln.201500155
26. Khalili, M., Naghavi, M. R., Aboughadareh, A. P., & Rad, H. N. (2013). Effects of Drought Stress on Yield and Yield Components in Maize Cultivars (*Zea mays* L.). *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(4), 809–812.
27. Neilson, E. H., Edwards, A. M., Blomstedt, C. K., Berger, B., Møller, B. L., & Gleadow, R. M. (2015). Utilization of a high-throughput shoot imaging system to examine the dynamic phenotypic responses of a C<sub>4</sub> cereal crop plant to nitrogen and water deficiency over time. *Journal of Experimental Botany*, 66(7), 1817–1832. doi: 10.1093/jxb/eru526
28. Wnuk, A., Górny, A. G., Bocianowski, J., & Kozak, M. (2013). Visualizing harvest index in crops. *Communications in Biometry and Crop Science*, 8(2), 48–59.
29. Prysiazniuk, O. I., Klymovych, N. M., Polunina, O. V., Yevchuk, Ya. V., Tretiakova, S. O., Kononenko, L. M., Voitovska, V. I., & Mykhailovyn, Yu. M. (2021). *Methodology and organization of scientific research in agriculture and food technologies*. Kyiv: Nilan-LTD. [In Ukrainian]
30. Brown, D. M., & Bootsma, A. (n. d.). *Crop Heat Units for Corn and Other Warm Season Crops in Ontario*. Retrieved from <https://www.sojafoerderring.de/wp-content/uploads/2014/02/Berechnung-CHU-Uni-Guelph-Ontario.pdf>

UDC 633.15[631.527.5/.559:631.84+551.515]

**Kalenska, S. M.\***, & **Hovenko, R. V.** (2022). Productivity of corn as affected by the accumulation of heat units and different nitrogen fertilizers. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 30, 33–43. [In Ukrainian]

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine, \*e-mail: svitlana.kalenska@gmail.com*

**Purpose.** To establish the effectiveness of the application of different fertilizers in corn cultivation technologies in the Left Bank Forest Steppe of Ukraine, depending on the weather conditions of the years of research. **Methods.** Field research was conducted in the years 2019–2021 in dark grey podzolized soil. The results of the study were calculated using the SAS 9.4 software package. Analysis of variance was performed using the Duncan rank criterion. **Results.** Calculations of the accumulation of heat units showed a significant difference by year, which largely determined the level of corn productivity. During vegetation, the sum of active temperatures in the conditions of the northern regions of the Left Bank Forest-Steppe varied, on average for

2019–2021, from 3235 (May–September) to 3731 (April–November). The largest range of difference between the sums of heat units was for the period April–October, from 3550 in 2019 to 3845 in 2021, which indicates the potential for earlier corn sowing dates in this region under favorable weather conditions. Corn hybrids 'EU Concord' and 'EU Asteroid' are quite plastic and respond positively to optimization of nutrition. Application of  $N_{22}P_{57}K_{57}$  in the form of diamophoska provides an increase in the yield of their grain by 0.99–1.01 t/ha, or 16.3–16.4%. Additional application of nitrogen fertilizers against the background of diammonium phosphate provides an increase in yield from 0.57 to 1.33 t/ha, or by 8.0–18.6%. With the introduction of potassium ammonium nitrate (KAN 32), the yield increase in 'EU Concord' was 2.19 t/ha and in 'EU Asteroid' 2.34 t/ha compared to the control. **Conclusions.** The sum of the accumulated heat units during vegetation more objectively characterizes the thermal resources of the area compared to the sums of positive, active and effective temperatures, which makes it possible to more accurately determine the optimal dates for sowing and the end of the crop vegetation season in the conditions of the research region. Applying nitrogen in several ways optimizes the nutrition of corn plants, ensuring an increase in individual productivity and grain yield up to 18.6%.

**Keywords:** hybrid; heat units; types of nitrogen fertilizers; productivity index.

Надійшла / Received 21.11.2022

Погоджено до друку / Accepted 09.12.2022

УДК 633.358:631.54:631.84

DOI: <https://doi.org/10.47414/np.30.2022.270118>

## Фотосинтетичні параметри посівів гороху озимого залежно від азотного удобрення та інокуляції насіння в умовах Правобережного Лісостепу України

Н. В. Новицька, О. В. Пономаренко\*

Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна, \*e-mail: [ronomarenko2332@gmail.com](mailto:ronomarenko2332@gmail.com)

**Мета.** Оцінити фотосинтетичні параметри посівів гороху озимого залежно від інокуляції насіння та азотного удобрення в умовах Правобережного Лісостепу України. **Методи.** Дослідження проводили впродовж 2019–2021 рр. на полях відокремленого підрозділу НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» (Київська обл.). Горох озимий 'НС Мороз' висівали в другій половині вересня нормою 1,2 млн схожих насінин/га, ширина міжрядь – 15 см, глибина висіву насіння – 4–4,5 см. Схема досліду передбачала комбіноване застосування таких технологічних чинників, як інокуляція насіння (без інокуляції; Оптімайз Пульс, 3,3 л/т) та азотне удобрення – основне внесення + ранньовесняне підживлення ( $N_0$ ;  $N_{15} + N_{15}$ ;  $N_{15} + N_{30}$ ;  $N_{15} + N_{45}$ ;  $N_{30} + N_0$ ;  $N_{30} + N_{15}$ ;  $N_{30} + N_{30}$ ;  $N_{45} + N_0$ ;  $N_{45} + N_{15}$ ;  $N_{60} + N_0$ ). В основне удобрення як загальний фон також вносили  $R_{45}K_{45}$ . **Результати.** Інокуляція насіння та азотні добрива позитивно впливають на фотосинтетичну діяльність посівів гороху озимого, однак ефективність їхньої дії значною мірою залежить як від доз і строків внесення добрив, так і фази розвитку культури. Установлено, що в осінній період вегетації гороху озимого (повні сходи – стеблуння) вплив досліджуваних агротехнічних заходів на формування показників площі листової поверхні (ПЛП), фотосинтетичного потенціалу (ФП) та чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) був здебільшого неістотним. У період весняно-літньої вегетації у досліді суттєво зростав вплив чинника інокуляції насіння, а також ранньовесняного підживлення азотом, натомість зменшувався основного удобрення. Найбільші параметри ПЛП (у середньому по досліді 31,4 тис.  $m^2/га$ ) посіви формували у фазі