

УДК 633.174.1:631.82:631.559

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.149.2.2>

## ВПЛИВ НОРМИ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ НА УРОЖАЙНІСТЬ СТЕБЕЛ ТА КОНСЕРВАТИВНИЙ ВИХІД ЦУКРУ ПРИ ВИРОЩУВАННІ СОРГО ЦУКРОВОГО

**Мазуренко Б.О.** – доктор філософії,

доцент кафедри рослинництва,

Національний університет біоресурсів і природокористування України

[orcid.org/0000-0002-4177-9909](https://orcid.org/0000-0002-4177-9909)

**Гончар Л.М.** – к.с.-г.н.,

доцент кафедри рослинництва,

Національний університет біоресурсів і природокористування України

[orcid.org/0000-0002-3628-6659](https://orcid.org/0000-0002-3628-6659)

*Сорго цукрове (Sorghum bicolor (L.) Moench) є важливою біоенергетичною культурою завдяки високій продуктивності вегетативної маси, здатності накопичувати значну кількість розчинних цукрів у стеблах та формувати стабільний урожай за мінливих умов вирощування. Незважаючи на високу адаптивність культури, ефективність застосування добрив істотно варіює залежно від сорту, погодних умов року та рівня забезпечення рослин елементами живлення. Важливим чинником збільшення продуктивності є оптимізація норм внесення НРК, які б одночасно сприяли підвищенню урожайності стебел, покращенню цукристості соку та забезпечували вищий консервативний вихід цукру як інтегральний показник технологічної цінності сировини.*

*Польові дослідження проводили у 2022–2025 рр. на території ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» (с. Пшеничне, Київська область) на чорноземі типовому. В двофакторному польовому досліді оцінювалися сорти та гібриди сорго цукрового (Мамонт, Зубр, Фаворит, Енергодар), а фактор В норми мінеральних добрив з кратним збільшенням НРК: без добрив (контроль),  $N_{25}P_{19}K_{30}$ ,  $N_{50}P_{38}K_{60}$  і  $N_{75}P_{57}K_{90}$ .*

*Встановлено, що всі досліджувані чинники (рік, сорт і удобрення) суттєво впливали на формування продуктивності та технологічних показників сорго цукрового. Найбільший вплив на урожайність стебел мало удобрення, тоді як на цукристість соку найбільше впливав сорт. Вихід соку виявився менш чутливим до системи удобрення і більшою мірою визначався сортовими особливостями та погодними умовами року.*

*Найвищу урожайність стебел сорго цукрового забезпечив сорт Зубр за внесення  $N_{75}P_{57}K_{90}$  – 45,8 т/га, що на 59,0 %, перевищувало контроль (28,8 т/га). В той же час відмічено, що для цього сорту та Енергодару менша норма  $N_{50}P_{38}K_{60}$  сприяє формуванню співставного рівня врожаю.*

*Найвищий середній вихід соку відзначено у сорту Мамонт (63 %), що достовірно перевищувало показники сортів Зубр і Фаворит (61,2–61,4 %) та сорту Енергодар (57,9 %). За вмістом розчинних сухих речовин у соку (Brix) найкращим виявився сорт Фаворит із середнім значенням 16,37 %, тоді як Зубр і Мамонт цей показник досягав 15,1–15,2 %, а найменше значення було в сорту Енергодар (11,5 %).*

*Максимальний консервативний вихід цукру (4,00 т/га) забезпечив сорт Мамонт за внесення  $N_{75}P_{57}K_{90}$ , тоді як у сорту Зубр він досягав 3,92 т/га за норми  $N_{50}P_{38}K_{60}$ . У сорту Фаворит найвищий показник становив 3,53 т/га, а у сорту Енергодар лише 1,37–2,47 т/га залежно від фону живлення.*

*Збалансоване мінеральне живлення є визначальним чинником підвищення продуктивності сорго цукрового, однак його ефективність істотно залежить від сортових особливостей. Для умов чорноземів типових Київської області найбільш перспективними щодо*



© Мазуренко Б.О., Гончар Л.М., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

формування високого консервативного виходу цукру виявилися сорти Мамонт і Зубр. Доцільність диференційованого підходу до удобрення сортів сорго цукрового з орієнтацією не лише на приріст біомаси, а й на сумарну технологічну ефективність сировини. Перспективою подальших досліджень є уточнення оптимальних співвідношень між елементами живлення та розширення оцінки біоенергетичної цінності всієї рослинної маси, включаючи побічну продукцію після віджимання соку.

**Ключові слова:** біоенергетика, кореляція, регресія, цукристість, Brix.

**Mazurenko B.O., Honchar L.M. Effect of mineral fertilizer rates on stem yield and ethanol output in sweet sorghum cultivation**

Sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) is an important bioenergy crop due to its high vegetative biomass productivity, ability to accumulate substantial amounts of soluble sugars in the stems, and capacity to produce stable yields under variable growing conditions. Despite the high adaptability of this crop, the efficiency of fertilizer application varies considerably depending on the cultivar, annual weather conditions, and plant nutrient supply. An important factor in increasing productivity is the optimization of NPK application rates that simultaneously promote higher stem yield, improve juice sugar content, and ensure a higher conservative sugar yield as an integrated indicator of raw material technological value.

Field studies were conducted in 2022–2025 at the Agronomic Research Station of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Pshenychne village, Kyiv region) on typical chernozem soil. In a two-factor field experiment, cultivars and hybrids of sweet sorghum (Mamont, Zubr, Favorit, and Enerhodar) were evaluated, while factor B consisted of mineral fertilizer rates with stepwise increases in NPK: no fertilizer (control),  $N_{25}P_{19}K_{30}$ ,  $N_{50}P_{38}K_{60}$ , and  $N_{75}P_{57}K_{90}$ .

It was established that all studied factors (year, cultivar, and fertilization) significantly affected the formation of both productivity and technological traits of sweet sorghum. Fertilization had the greatest effect on stem yield, whereas juice sugar content was influenced most strongly by cultivar. Juice yield proved to be less sensitive to the fertilization system and was determined to a greater extent by cultivar characteristics and annual weather conditions.

The highest stem yield of sweet sorghum was obtained for the Zubr cultivar under  $N_{57}P_{90}K_{90}$  application, reaching 45.8 t/ha, which was 59.0% higher than the control (28.8 t/ha). At the same time, it was noted that for this cultivar and for Enerhodar, the lower fertilizer rate  $N_{50}P_{38}K_{60}$  promoted the formation of a comparable yield level.

The highest average juice yield was recorded for the Mamont cultivar (63%), which significantly exceeded the values of Zubr and Favorit (61.2–61.4%) and Enerhodar (57.9%). In terms of soluble solids content in juice (Brix), Favorit performed best with an average value of 16.37%, whereas in Zubr and Mamont this indicator reached 15.1–15.2%, and the lowest value was observed in Enerhodar (11.5%).

The maximum conservative sugar yield (4.00 t/ha) was achieved by the Mamont cultivar under  $N_{75}P_{57}K_{90}$  application, whereas in Zubr it reached 3.92 t/ha at  $N_{50}P_{38}K_{60}$ . In Favorit, the highest value was 3.53 t/ha, while in Enerhodar it ranged only from 1.37 to 2.47 t/ha depending on the nutritional background.

Balanced mineral nutrition is a decisive factor in increasing sweet sorghum productivity; however, its efficiency depends substantially on cultivar characteristics. Under the conditions of typical chernozems of the Kyiv region, the Mamont and Zubr cultivars proved to be the most promising in terms of achieving a high conservative sugar yield. These findings confirm the feasibility of a differentiated approach to the fertilization of sweet sorghum cultivars, oriented not only toward biomass increase but also toward the overall technological efficiency of the raw material. A promising direction for further research is the refinement of optimal nutrient element ratios and the expansion of the assessment of the bioenergy value of the entire plant biomass, including by-products.

**Key words:** bioenergy, Brix, correlation, regression, sugar content.

**Актуальність теми дослідження.** Сорго цукрове (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) є однією з найбільш перспективних польових культур для біоенергетичної галузі завдяки високій продуктивності вегетативної маси, накопичення розчинних цукрів у стеблах і можливості прямого зброджування соку для одержання

біостанолу [1, 2]. Адаптивний потенціал сорго дозволяє вирощувати його у всіх агро-кліматичних зонах України, але різна родючість ґрунту в поєднанні з нестабільністю погодних умов призводить для суттєвого коливання рівня урожайності та потенційного виходу цукру [3, 4].

При високій екологічній пластичності та здатності формувати урожай на деградованих ґрунтах сорго має потенціал у біоремедіації [5, 6, 7]. Здатність рости в умовах підвищеної засоленості та постійній дії абіотичних стресів робить цю культуру пріоритетним вибором серед решти цукроносних та крохмалистих культур для отримання стабільного врожаю [3, 8].

Проте за високої адаптивності забезпечення посіву мікроелементами залишається основним чинником формування врожаю. Серед макроелементів немає домінуючого, оскільки всі вони в рівній мірі впливають на формування габітусу рослини та фотосинтезуючої системи. Азот забезпечує формування біомаси рослини, впливає на площу листя, тоді, як калій відповідає за транспорт цукрів та сухих речовин, тому опосередковано впливає на якісні показники соку зі стебел [9, 10, 12]. Фосфор є необхідним для росту кореневої системи та забезпечення механізмів адаптивності, посухостійкості та протидії високим температурам [8, 11]. Одностороннє використання азотних добрив не завжди призводить до збільшення виходу цукру, оскільки в процесі його накопичення значна роль припадає на умови вирощування [10, 14]. Фосфор і калій можуть сприяти подоланню несприятливих умов, оскільки беруть участь у формуванні кореневої системи, енергетичному обміні, транспорті і накопиченні вуглеводів. Окремі дослідження свідчать, що помірні дози P і K за поєднання з оптимальним азотним фоном можуть покращувати відсоток цукру та підвищувати вихід цукру [11–14]. Отже, саме збалансоване NPK-удобрення є основою для підвищення урожайності і технологічної якості сорго [15].

**Постановка проблеми.** Попри значну світових досліджень, питання оптимізації норм мінерального живлення сорго цукрового залишається дискусійним, оскільки ефективність добрив істотно змінюється залежно від ґрунтово-кліматичних умов, сорту, строків збирання та особливостей післязбирального поводження із сировиною. Додатковим викликом для біоенергетичного використання культури є вузьке «вікно» максимального накопичення цукрів і швидкі втрати ферментованих цукрів після збирання, що підвищує вимоги до точності агротехнічних рішень. Саме тому актуальним є проведення регіонально орієнтованих досліджень, спрямованих на встановлення таких норм макродобрив, які забезпечували б одночасне підвищення урожайності стебел, цукристості соку та виходу цукру. Метою цього дослідження було з'ясувати вплив різних норм мінеральних добрив на формування біомаси стебел сорго цукрового та показники його технологічної якості як сировини для біоенергетичного використання.

**Методика досліджень.** Польові дослідження закладалися за двофакторною схемою та проводилися щорічно у період 2022–2025 рр. на території ВП НУБІП «Агрономічна дослідна станція» (с. Пшеничне Київської області). Ґрунт дослідної ділянки чорнозем типовий з вмістом гумусу 4,4–4,5 %, рН 6,4, вміст мінерального азоту 1,78 г/кг ґрунту, рухомого фосфору 6,7 мг/100 г ґрунту, обмінного калію 11,0 мг/100 г ґрунту.

Фактор А – сорти сорго цукрового, фактор В – система удобрення: без добрив (контроль) та три варіанти удобрення з кратним збільшенням норми (базова  $N_{25}P_{19}K_{30}$ ) нормами:  $N_{25}P_{19}K_{30}$ ,  $N_{50}P_{38}K_{60}$ ,  $N_{75}P_{57}K_{90}$ .

Таблиця 1

## Схема польового дослідження з сорго цукровим

Фактор А: сорти сорго цукрового	Фактор В: Норма добрив
A1. Мамонт	B1. Без добрив (контроль)
A2. Зубр	B2. N <sub>25</sub> P <sub>19</sub> K <sub>30</sub>
A3. Фаворит	B3. N <sub>50</sub> P <sub>38</sub> K <sub>60</sub>
A4. Енергодар	B4. N <sub>75</sub> P <sub>57</sub> K <sub>90</sub>

Попередник сорго цукрового – озимі зернові. Після збирання попередника проводилася оранка на глибину 22–24 см. Весняний обробіток передбачав закриття вологи при фізичній стиглості ґрунту та передпосівну культивування на глибину до 6 см. На варіанті, що передбачав внесення добрив використовували тукоsumіш (склад суперфосфат подвійний : калійна сіль, 1:1 *m:m*) з розрахунку суперфосфату подвійного (P – 38 %) у нормі 50 кг/га фізичної ваги (19 кг/га діючої речовини фосфору) та калію сіль (K – 60 %) у нормі 50 кг/га (30 кг/га д. р. калію) перед проведенням оранки з кратним збільшенням норми, там де це передбачалося схемою. Азотні добрива у вигляді аміачної селітри (N – 34,4 %) вносили в передпосівну культивування у нормі 73 кг/га (25 кг/га д. р. азоту) з кратним збільшенням по варіантах.

Сівбу проводили на глибину 4–6 см при прогріванні ґрунту до +10 °C у шарі 0–10 см. Насіння було оброблене препаратом Максим XL у нормі 2 л/т. Хімічні засоби захисту протягом вегетації в посівах сорго не використовувалися.

Ширина міжряддя 45 см, норма висіву – 140 тис. схожих насінин/га. Площа кожного варіанту: загальна – 40 м<sup>2</sup> (2,7 м × 15 м), облікова – 24 м<sup>2</sup> (1,8 м × 13,4 м). Повторність дослідження: чотириразова.

Відбір проб проводився після завершення цвітіння центральної волоті. Для визначення урожайності стебел вирізували рослини з двох суміжних рядків на довжині 2,2 м погонних (еквівалент 2 м<sup>2</sup>), відділяли від волотей та зважували. X кожного варіанту відбиралося по 5 стебел, які гомогенувалися в лабораторному подрібнювачі. З подрібненої маси відбиралася субпроба вагою 100 г, з якої лабораторним пресом Пром-1У видобували сік сорго. Видобування соку зупиняли після 3 хвилин максимального навантаження та відсутності сокоту. Вихід соку – це співвідношення маси соку до маси подрібненого сорго вираженого у відсотках. Вміст цукру (Brix) визначали на лабораторному рефрактометрі по сахарозі в триразові повторності. Консервативний вихід цукру визначали за рівнянням:

$$CSY = \frac{Y \times S \times J}{10000}, \quad (1)$$

де CSY – консервативний вихід цукру, т/га; Y – урожайність стебел, т/га; S – цукристість соку сорго, %; J – вихід соку, %; 10000 – коефіцієнт для перерахунку % в одиниці цілого.

Статистичну обробку проводили в програмному середовищі R (версія 4.4.3) у пакеті аналізу *ggplot2*. Дисперсійний аналіз проводили за методикою трифакторного дослідження, де чинник «рік» розглядався як повноцінний чинник. Рівняння регресії, коефіцієнт кореляції та детермінації встановлювалися програмними засобами *ggplot2*. Для порівняння варіантів застосовувався *post-hoc* аналіз за критерієм Tukey's HSD<sub>0,05</sub> у випадку, якщо взаємодія була суттєвою за дисперсійним аналізом.

**Результати досліджень.** Проведений дисперсійний аналіз щодо впливу погодних умов року, сорту та удобрення на формування врожайності стебел, цукристості, виходу соку з сировини та консервативного виходу цукру вказує на суттєвий вплив цих чинників та їх взаємодій. Оскільки частка основних чинників суттєво переважає вплив їх взаємодій доцільно говорити про їх макроефект в загальному. Оскільки кількість ступенів волі для основних чинників однакова, то висновки будуть тотожні для дисперсії та квадрату середнього.

Дисперсія урожайності була найбільшою за впливу удобрення, що перевищувало вплив року (таблиця 2), тоді як вплив сорту був в середньому в 3-4 рази меншим. В той же час саме сортовий чинник найбільше впливав на цукристість соку, тоді як вплив удобрення був на рівні взаємодії сорту з погодними умовами. У випадку з виходом соку, як показником технологічності сировини, вплив системи удобрення взагалі був несуттєвим, а дисперсія від сорту була вдвічі більшою, за вплив погодних умов. Оскільки вказані показники є складовою консервативного виходу цукру – теоретичного показника, то й їх вплив є комбінованим, про що свідчить подібний рівень дисперсії всіх чинників.

Таблиця 2

## Результати дисперсійного аналізу

Чинник/взаємодія	df	MS (середній квадрат)			
		Урожайність	Вгіх	Вихід соку	Консервативний вихід цукру
Рік (С)	3	<b>2185,4500</b>	<b>67,9329</b>	<b>159,1689</b>	<b>25,31718</b>
Сорт (А)	3	<b>683,6767</b>	<b>287,0409</b>	<b>323,8898</b>	<b>22,9433</b>
Удобрення (В)	3	<b>2921,6796</b>	<b>21,8089</b>	5,0969	<b>26,29058</b>
Рік-сорт	9	<b>155,0692</b>	<b>18,2731</b>	<b>50,5644</b>	<b>2,543855</b>
Рік-удобрення	9	<b>54,9028</b>	<b>2,9828</b>	<b>8,9197</b>	<b>0,568502</b>
Сорт-удобрення	9	<b>38,3009</b>	<b>2,7713</b>	<b>5,1527</b>	<b>0,610977</b>
Рік-сорт-удобрення	27	<b>37,8233</b>	<b>1,7399</b>	<b>8,9477</b>	<b>0,529168</b>
Залишок	192	5,4117	0,2464	2,5013	0,061146

*Примітка: жирним шрифтом виділені чинники та взаємодії, що мають суттєвий вплив,  $p < 0,05$*

Залежність урожайності від норми добрив, як відомо, є нелінійною, тому для оцінки сортової чутливості до збільшення норм розроблялися поліноміальні рівняння другого ступеня. За результатами побудови коробкових діаграм можна оцінити, що найменшу варіабельність урожайності за роками мав сорт Енергодар (рисунок 1), оскільки лінія тренду проходить майже по середньому значенню, а відхилення перебувають у вузькому діапазоні. Внесення добрив суттєво збільшувало урожайність порівняно з контролем (26,2 т/га), але максимального рівня 38,3 т/га вона досягала при внесенні  $N_{50}P_{38}K_{60}$ , тоді як збільшення норми до  $N_{75}P_{57}K_{90}$  не підвищувало її.

У сорту Фаворит кожне збільшення норми суттєво збільшувало урожайність, але найбільший ефект був від внесення норми  $N_{25}P_{19}K_{30}$  порівняно з контролем. Слід відмітити, що за середнім значенням цей сорт був подібним до Енергодару, але виходив на максимальну урожайність за вищої норми добрив.

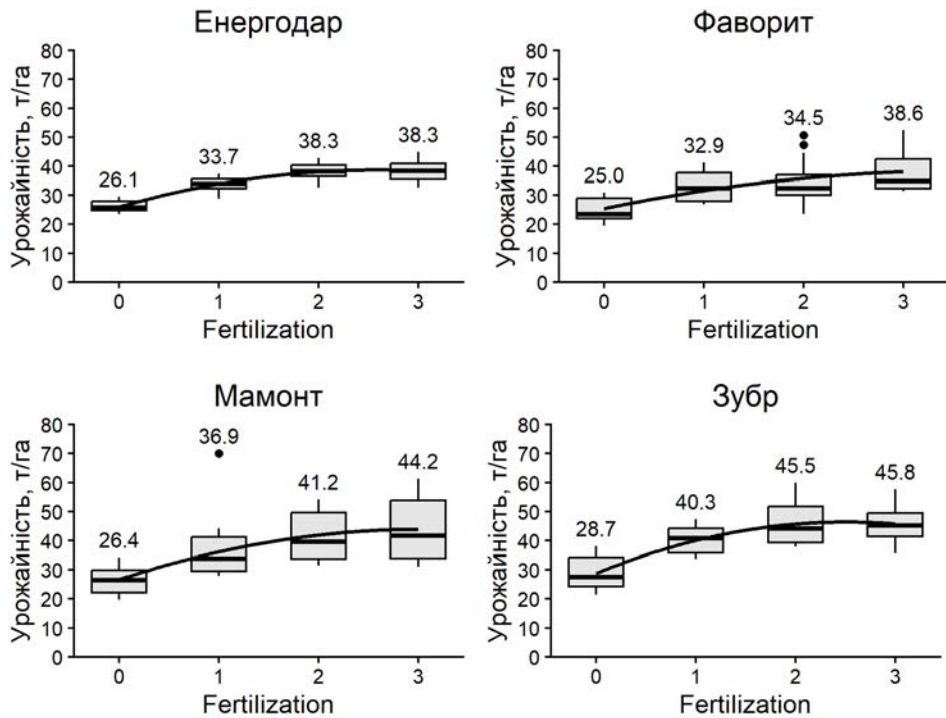


Рис. 1. Залежність урожайності стебел сорго залежно від норми добрив (0 – контроль без добрив, 1 –  $N_{25}P_{19}K_{30}$ , 2 –  $N_{50}P_{38}K_{60}$ , 3 –  $N_{75}P_{57}K_{90}$ )

У сорту Мамонт норма  $N_{25}P_{19}K_{30}$  також дає найбільший приріст до урожайності порівняно з попереднім варіантом, хоча найбільшої урожайності він досягав за норми  $N_{75}P_{57}K_{90}$  – 44,2 т/га. Слід відмітити, що збільшення норми також підвищувало розкид середньої урожайності по рокам, тому цей сорт був характеризувався найбільшою варіабельністю.

Сорт Зубр при співставному рівні урожайності мав суттєво меншу варіабельність по рокам, а норма добрив її розкид суттєво не збільшувала. Слід відмітити, що максимальна урожайність 45,8 т/га була за норми  $N_{75}P_{57}K_{90}$ , тоді як попередній варіант  $N_{50}P_{38}K_{60}$  формував лише на 0,3 т/га менше. Слід відмітити, що при збільшенні норми варіабельність за кроками зменшувалася.

Розроблені рівняння регресії мають свою особливість, оскільки змінна  $x$  в цьому рівнянні є коефіцієнтом базової норми  $N_{25}P_{19}K_{30}$ . Ефективність розроблених моделей можна оцінити за коефіцієнтом детермінації, який також і показує розкид середнього значення, але опосередковано.

Рівняння регресії для сорту Енергодар має найбільший коефіцієнт детермінації – 0,7569, тобто запропонована модель описує 75,69 % випадків, тоді як для сорту Зубр запропонована модель є актуальною в 56,74 % випадків. Поліноміальна модель для сортів Мамонт та Фаворит є актуальною лише для 36 % випадків, оскільки в них кожен варіант є кращим за попереднім, тому може підпадати під лінійний кореляційний зв'язок. Отже серед досліджуваних сортів саме ці два можуть збільшувати урожайність при подальшому збільшенні норми внесення добрив.

Таблиця 3

## Рівняння регресії залежності урожайності від норми добрив

Сорт	Рівняння	R <sup>2</sup>
Енергодар	$y = 26,0150 + 9,8319x - 1,902 x^2$	0,7569
Зубр	$y = 28,79 + 14,0725 x - 2,8069 x^2$	0,5674
Мамонт	$y = 26,6511 + 11,3986 x - 1,88 x^2$	0,3610
Фаворит	$y = 25,4412 + 7,1537 x - 0,9745 x^2$	0,3601

Вихід соку в більшості випадків залежав, як від сорту так і погодних умов року. Найбільший вихід соку на рівні 63 % був у сорту Мамонт, що суттєво перевищувало значення Зубру та Фавориту (61,2–61,4 %), а ті в свою чергу значення Енергодару (57,9 %). Погодні умови року більшою мірою обумовлювали розкид середнього значення та варіацію.

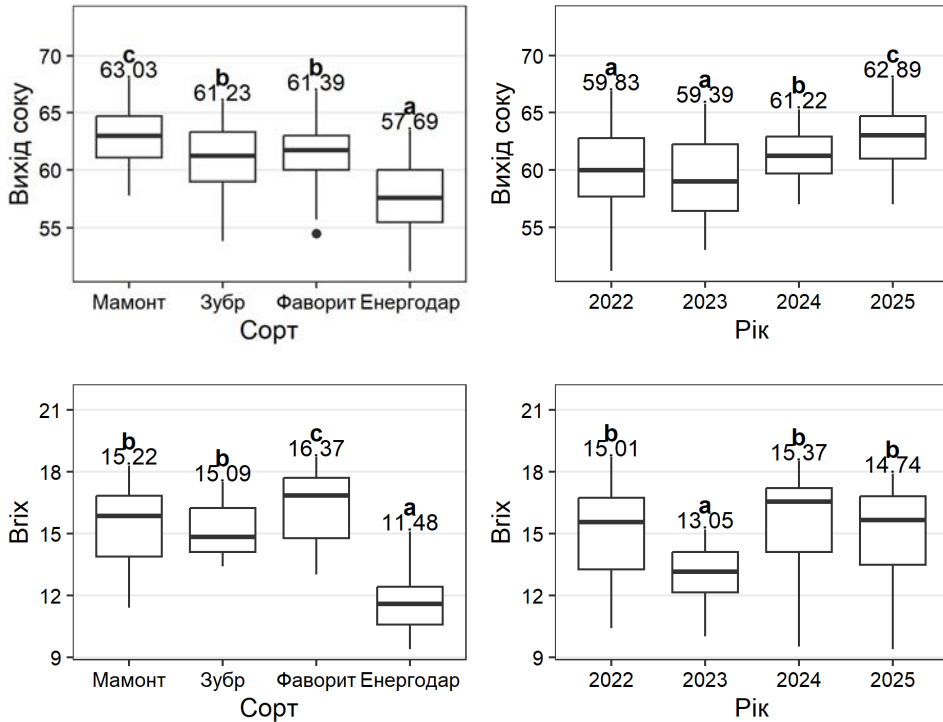


Рис. 2. Вихід соку та цукристість (Brix) залежно від сорту та умов року

Щодо цукристісті соку, то найбільше значення Brix на рефрактометрі мали зразки Фаворит (16,37 %), тоді як Зубр та Мамонт формували в середньому суттєво менше цукрів у соці – 15,1–15,2 Brix. Найменше значення серед всіх сортів мав Енергодар – 11,5 %. На відміну від виходу соку цукристість соку значно більше залежала від погодних умов, на що вказує суттєво менше значення в 2023 році – 13,05 %, тоді як в решту років середнє значення суттєво не різнилося (14,74–15,37 %).

Найвищий консервативний вихід цукру був у групи “e”, де перебували значення в діапазоні 3,45–4,00 т/га (таблиця 4). В той же час найбільшого значення

4 т/га досягав сорт Мамонт при внесенні  $N_{75}P_{57}K_{90}$ , а сорт Зубр при застосуванні  $N_{50}P_{38}K_{60}$  формував лише на 0,08 т/га цукру менше. Слід вимітити, що високий рівень консервативного виходу цукру був у сорту Зубр за будь якої норми внесення добрив, тоді як сорту Мамонт лише за варіантів  $N_{50}P_{38}K_{60}$  і  $N_{75}P_{57}K_{90}$ , а у Фаворит лише за максимальної.

Таблиця 4

**Консервативний вихід цукру при вирощуванні сорго цукрового, т/га**

Сорт	Удобрення			
	Контроль	$N_{25}P_{19}K_{30}$	$N_{50}P_{38}K_{60}$	$N_{75}P_{57}K_{90}$
Мамонт	2,10 b	3,20 cd	3,71 de	4,00 e
Зубр	2,35 b	3,45 cde	3,92 e	3,72 de
Фаворит	2,20 b	3,10 c	3,19 cd	3,53 cde
Енергодар	1,37 a	1,98 b	2,47 b	2,37 b

Примітка: значення з однаковими літерами відносяться до однієї групи подібності та суттєво не різняться за Tukey's HSD0.05

На контрольному варіанті без внесення добрив сорти Мамонт, Зубр та Фаворит формували майже однакову кількість цукру, тоді як Енергодар суттєво менше (1,37 т/га), а при внесенні добрив цей показник зростав до 1,98–2,47 т/га.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** За результатами чотирьох річного дослідження з впливу норм мінеральних добрив на урожайність стебел, цукристість соку та консервативний вихід цукру при вирощуванні сорго цукрового можна констатувати, що сорти вітчизняної селекції мають високий потенціал урожайності в умовах чорноземних ґрунтів. Найвищий вихід цукру 4 т/га досягається при внесенні  $N_{75}P_{57}K_{90}$  у сорту Мамонт та співставний рівень 3,92 т/га при застосуванні  $N_{50}P_{38}K_{60}$  при вирощуванні сорту Зубр.

Проведений регресійний аналіз вказує на ще, що не всі сорти мають поліноміальну залежність урожайності від норми добрив у досліджуваному діапазоні НРК. Для сортів Фаворит та Мамонт збільшення норми понад  $N_{75}P_{57}K_{90}$  потенціоно може підвищувати урожайність стебел, тоді як для Зубр та Енергодар подальше збільшення може не впливати на урожайність, або суттєво її зменшувати.

Оскільки вихід соку та цукристість варіює суттєво менше ніж урожайність, перевагу слід надавати сортам з високою урожайністю та цукристістю соку, оскільки консервативний вихід цукру найбільше залежить саме від них.

В той же час запропоновані моделі мають обмеження, оскільки є актуальними для ґрунтів з високим вмістом рухомих форм макроелементів та відносно стабільним вологозабезпеченням протягом сезону. В той же час запропонований підхід може бути корисним для ідентифікації сортів, які позитивно реагують на збільшення норми мінеральних добрив. Перспективою подальших досліджень є розширення діапазону норм внесення мінеральних добрив з врахуванням норми кожного елементу, а також біоенергетична оцінка всієї продукції включаючи багасу, яка залишається при видавленні соку зі стебел.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:**

1. Appiah-Nkansah N. B., Li J., Rooney W., Wang D. A review of sweet sorghum as a viable renewable bioenergy crop and its techno-economic analysis. *Renewable Energy*. 2019. Vol. 143. P. 1121–1132. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.066>

2. Dar R. A., Dar E. A., Kaur A., Gupta Phutela U. Sweet sorghum – a promising alternative feedstock for biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 82. P. 4070–4090. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.066>
3. Motsi H., Molapo M., Phiri E. E. A review of the adaptive capacity of sweet sorghum to improve food security and poverty alleviation in sub-Saharan Africa. *South African Journal of Botany*. 2022. Vol. 150. P. 323–329. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.07.040>
4. Rakhmetova S. O., Vergun O. M., Blume R. Y., Bondarchuk O. P., Shymanska O. V., Tsygankov S. P., Yemets A. I., Blume Y. B., Rakhmetov D. B. Ethanol production potential of sweet sorghum in North and Central Ukraine. *The Open Agriculture Journal*. 2020. Vol. 14. P. 321–338. <https://doi.org/10.2174/1874331502014010321>
5. Xiao M.-Z., Sun Q., Hong S., Chen W.-J., Pang B., Du Z.-Y., Yang W.-B., Sun Z., Yuan T.-Q. Sweet sorghum for phytoremediation and bioethanol production. *Journal of Leather Science and Engineering*. 2021. Vol. 3. Art. 32. <https://doi.org/10.1186/s42825-021-00074-z>
6. Yuan X., Xiong T., Yao S., Liu C., Yin Y., Li H., Li N. A real field phytoremediation of multi-metals contaminated soils by selected hybrid sweet sorghum with high biomass and high accumulation ability. *Chemosphere*. 2019. Vol. 237. Art. 124536. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124536>
7. Jiang D., Hao M., Fu J., Liu K., Yan X. Potential bioethanol production from sweet sorghum on marginal land in China. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 220. P. 225–234. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.294>
8. Bai Z., Li D., Zhu L., Tang X., Wang Y., Mao R., Wu J. Nitrate increases cadmium accumulation in sweet sorghum for improving phytoextraction efficiency rather than ammonium. *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. Art. 643116. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.643116>
9. Nazli R. I., Tansi V., Gulnaz O., Kafkas E., Kusvuran A., Ozturk H. H., Budak D. B. Interactive effects of nitrogen and humic substances applications on bioethanol production from sweet sorghum and combustion characteristics of its bagasse. *Agronomy*. 2020. Vol. 10, № 9. Art. 1397. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091397>
10. Heitman A. J., Castillo M. S., Smyth T. J., Crozier C. R., Wang Z., Heiniger R. W., Gehl R. J. Nitrogen fertilization effects on yield and nutrient removal of biomass and sweet sorghum. *Agronomy Journal*. 2017. Vol. 109, № 4. P. 1352–1358. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.12.0710>
11. Heitman A. J., Castillo M. S., Smyth T. J., Crozier C. R. Stem, leaf, and panicle yield and nutrient content of biomass and sweet sorghum. *Agronomy Journal*. 2018. Vol. 110, № 5. P. 1659–1665. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.03.0178>
12. Mekdad A. A. A., El-Sherif A. M. A. The effect of nitrogen and potassium fertilizers on yield and quality of sweet sorghum varieties under arid regions conditions. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2016. Vol. 5, № 11. P. 811–823. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2016.511.092>
13. Abdelhameid N. M. Effect of mycorrhizal inoculation and potassium fertilization on grain yield and nutrient uptake of sweet sorghum cultivated under water stress in calcareous soil. *Egyptian Journal of Soil Science*. 2020. Vol. 60, № 1. P. 17–29.
14. Oktem A., Oktem A. G. Bioethanol obtained from soluble sugars in sweet sorghum, influencing properties and their interrelationships. *Industrial Crops and Products*. 2024. Vol. 221. Art. 119351. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.119351>
15. Sun W., He Z., Liu B., Ma D., Si R., Li R., Wang S., Malekian A. Changes in photosynthetic efficiency, biomass, and sugar content of sweet sorghum under different water and salt conditions in arid region of Northwest China. *Agriculture*. 2024. Vol. 14, № 12. Art. 2321. <https://doi.org/10.3390/agriculture14122321>

Дата першого надходження статті до видання: 22.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 22.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026