

УДК 633.17:631.53.01(477.47).48)

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.147.1.35>

РОЛЬ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ У ФОРМУВАННІ ВРОЖАЮ СОРГО ЦУКРОВОГО В УМОВАХ ПІВДЕННОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Войняк О. А. – аспірант кафедри рослинництва,
Уманський національний університет
orcid.org/0009-0003-7617-7494

Кравченко В. С. – к. с.-г. н., доцент,
завідувач кафедри рослинництва,
Уманський національний університет
orcid.org/0000-0003-4873-5367

Висвітлено результати трирічних польових досліджень, спрямованих на вивчення ефективності мінерального живлення у формуванні продукційного потенціалу культури *Sorghum saccharatum* в агроекологічних умовах Південного Лісостепу України. Розглянуто дію основних макроелементів (азоту, фосфору, калію) та мікроелементів, що надходили з мікродобрив і біологічних препаратів, на динаміку ростових процесів, біомасу, фізіолого-біохімічні параметри та вміст цукрів у вегетативних органах рослин. Встановлено, що застосування комбінованого підживлення (БК + Квантум) забезпечувало синергічну дію на ріст та розвиток рослин, зокрема сприяло підвищенню показників густоти стояння, висоти, асиміляційної поверхні, стійкості до посухи та концентрації водорозчинних вуглеводів. За оптимальних норм висіву (100–130 тис. рослин/га) для гібридів «Медовий» та «Троїстий» зафіксовано максимальну урожайність зеленої маси – до 80,5 т/га, а також підвищення вмісту сухої речовини до +2,3 п.п. і цукрів – до +4,0 % порівняно з контролем. Біологічна дія азоту реалізовувалася через активізацію фотосинтезу та формування стеблової маси, фосфор – через стимуляцію розвитку генеративних органів, а калій – через регуляцію водного обміну й транспортування вуглеводів. Мікроелементи забезпечували ферментативну активність, антиоксидантний захист і гормональний баланс.

Метою дослідження було науково обґрунтувати роль і взаємозв'язок елементів живлення в агробіологічних процесах формування продуктивної частини врожаю культури, адаптованої до умов агорозвищування сорго цукрового.

Отримані результати підтверджують високу ефективність інтегрованого підживлення для забезпечення стабільної урожайності та реалізації потенціалу високопродуктивних гібридів, що може слугувати основою для вдосконалення технологічних карт вирощування культури у різних регіонах України.

Ключові слова: густина стояння, фотосинтетична активність, суха речовина, біопрепарати, агрокліматичні умови, мікродобрива, продукційний процес, стресостійкість, урожайність зеленої маси.

Voiniak O. A., Kravchenko V. S. The role of main nutrient elements in the formation of *Sorghum saccharatum* yield under the conditions of the southern forest-steppe of Ukraine

The results of a three-year field study aimed at evaluating the effectiveness of mineral nutrition in shaping the productive potential of *Sorghum saccharatum* under the agroecological conditions of the Southern Forest-Steppe of Ukraine are presented. The study examined the effects of major macronutrients (nitrogen, phosphorus, potassium) and micronutrients supplied through microfertilizers and biological preparations on growth dynamics, biomass accumulation, physiological and biochemical parameters, and sugar content in vegetative plant organs. It was determined that combined fertilization (BK + Quantum) produced a synergistic effect on plant growth and development, enhancing stand density, height, leaf assimilation area, drought resistance,



© Войняк О. А., Кравченко В. С., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

and water-soluble carbohydrate concentration. Under optimal seeding rates (100–130 thousand plants/ha) for the “Medovyi” and “Troisty” hybrids, maximum green biomass yield reached up to 80.5 t/ha, with dry matter content increasing by up to +2.3 percentage points and sugar content by up to +4.0 % compared to the control. Nitrogen’s biological effect was realized through enhanced photosynthesis and stem biomass formation, phosphorus stimulated generative organ development, and potassium regulated water balance and carbohydrate transport. Micronutrients supported enzymatic activity, antioxidant protection, and hormonal balance.

The aim of the study was to scientifically substantiate the role and interrelationship of nutrient elements in the agrobiological processes that form the productive part of the crop yield, adapted to sugar sorghum cultivation conditions. The results confirm the high efficiency of integrated fertilization in ensuring stable yield and realizing the potential of high-yielding hybrids, which can serve as a basis for improving technological schemes of sorghum cultivation in different regions of Ukraine.

Key words: *stand density, photosynthetic activity, dry matter, biological preparations, agroclimatic conditions, microfertilizers, productive process, stress resistance, green biomass yield.*

Актуальність теми дослідження. У сучасних умовах ведення сільського господарства в Україні актуальним завданням є підвищення продуктивності культур при одночасному раціональному використанні агроресурсів. При цьому досить особливої уваги набуває вирощування посухостійких і високопродуктивних культур, до яких належить сорго цукрове (*Sorghum saccharatum*). Ця культура характеризується високим потенціалом врожайності, здатністю ефективно використовувати вологу та адаптуватися до кліматичних умов Південного Лісостепу України, що робить її перспективною для вирішення проблеми енергетичної та кормової безпеки [1, 2]. Проте реалізація генетичного потенціалу сорго цукрового значною мірою залежить від забезпеченості рослин елементами мінерального живлення [3]. Аграрна практика та наукові дослідження свідчать про суттєвий вплив таких елементів, як азот, фосфор і калій, на ріст, розвиток і формування врожаю культури [1, 4]. Тому у контексті вивчення продуктивності сортів і гібридів сорго цукрового в умовах Південного Лісостепу України надзвичайно важливим аспектом є оптимізація мінерального живлення, котре в свою чергу виступає фундаментальним чинником формування високого і стабільного врожаю. При цьому досить особливо важливою є оптимізація живлення відповідно до фаз розвитку рослин, типу ґрунтів та погодних умов регіону. Також недостатньо вивченим залишається вплив конкретних форм добрив, часу їх внесення та взаємодії з факторами щільності посіву на фізіолого-біохімічні процеси, відповідальні за транспортування, трансформацію й нагромадження цукру в рослині. Тому виникає актуальна наукова й практична потреба у встановленні чіткої ролі та взаємодії основних елементів мінерального живлення у системі формування врожаю сорго цукрового, що дозволить оптимізувати агротехнічні заходи відповідно до умов Південного Лісостепу України.

Постановка проблеми. У відповідності до праць [1,3] основні елементи живлення – азот (N), фосфор (P) і калій (K) – здійснюють комплексний вплив на ріст, розвиток та формування врожайності сорго цукрового, зумовлюючи, як продуктивність фотосинтетичного апарату, так і здатність рослин до накопичення біомаси та цукрів у стеблі.

Зважаючи на праці [2–4] варто відзначити, що в умовах Південного Лісостепу України, які характеризуються помірно-континентальним кліматом, періодичними літніми засухами та середнім рівнем забезпеченості ґрунтів елементами живлення, досить суттєво зумовлюється необхідність точного балансування параметрів сівби (норма висіву, міжряддя) в поєднанні з раціональним застосуванням мінеральних добрив.

В праці [5] зазначається, що азот відіграє критичну роль у формуванні листової поверхні, посиленні фотосинтетичної активності, синтезі білків і ферментів, що сприяє активному росту вегетативної маси. Його нестача призводить до зниження приростів біомаси, затримки розвитку рослин і зменшення вмісту цукрів у стеблах, тоді як надлишок може викликати погіршення визрівання і зниження концентрації цукру.

У дослідженнях [6, 7] встановлено, що внесення азоту у дозах 60–90 кг/га у поєднанні з фосфором і калієм забезпечує оптимальний ріст і розвиток сорго цукрового, особливо в фазі виходу в трубку та формування волоті.

В працях [8, 9] відзначається, що фосфор, як структурний елемент нуклеїнових кислот, фосфоліпідів та енергетичних сполук (АТФ), є важливим у процесах клітинного поділу, коренеутворення і раннього розвитку рослин.

Згідно з працями [4, 7] у зоні Південного Лісостепу спостерігається суттєвий дефіцит фосфору на малогумусних ґрунтах, що є досить частим явищем, що знижує інтенсивність формування генеративних органів.

За даними агрономічних досліджень, які викладені в працях [8, 9] внесення фосфорних добрив у дозі 60–90 кг/га у вигляді суперфосфату забезпечує активне формування кореневої системи, сприяє рівномірному дозріванню та позитивно впливає на вміст цукру в соковому соку сорго.

В праці [9] наголошується, що калій виступає регулятором водного режиму, активізує ферментативну систему та підвищує стійкість рослин до посухи – що особливо важливо для сорго в умовах Південного Лісостепу, де в літні місяці часто спостерігається нестача вологи.

У відповідності до праць [10, 11] калій покращує накопичення цукрів у клітинному соку, посилює транспірацію і позитивно впливає на якісні характеристики врожаю.

У дослідженнях, які викладені в працях [12] встановлено, що оптимальне дозування калію в межах 60–90 кг/га у поєднанні з азотом і фосфором дає змогу досягти найбільшого співвідношення між продуктивністю та концентрацією цукру в стеблах цукрового сорго.

Згідно з працями [4, 8] комплексне застосування добрив, особливо за умов адаптації до параметрів сівби (щільність стояння рослин, ширина міжрядь), створює оптимальні умови для фотосинтетичної діяльності, формування генеративних органів, накопичення сухої речовини і підвищення енергетичної цінності врожаю.

Зважаючи на агродослідження, які висвітлені в працях [7, 11] варто відмітити, що поєднання підвищеної густоти стояння (180–220 тис. рослин/га) із внесенням повного мінерального удобрення за схемою N90P90K90 забезпечує найвищу врожайність зеленої маси (до 45–52 т/га) та максимальний вміст цукру (до 14–16 %). У відповідності до праць [1–13] доцільно відзначити, що проблема необхідності встановлення ролі основних елементів мінерального живлення у формуванні врожаю цукрового сорго в умовах Південного Лісостепу України полягає у недостатньо повному урахуванні взаємозв'язку між потребами конкретних сортів і гібридів сорго, параметрами сівби та фізіолого-біохімічною дією макроелементів (азоту, фосфору, калію) на продукційний процес у специфічних клімато-ґрунтових умовах регіону. При чому попри існування загальних рекомендацій [7], щодо внесення мінеральних добрив для сорго цукрового, на практиці часто нехтують сортоспецифічними особливостями споживання елементів живлення та адаптивними можливостями рослин до щільності стояння й посушливого клімату, що знижує

ефективність агротехнологій, обмежує реалізацію генетичного потенціалу продуктивності та призводить до нерівномірного накопичення цукру в стеблах.

Зокрема, відсутність точного, експериментально обґрунтованого підходу до визначення оптимального співвідношення макроелементів у системі удобрення для різних агрофонів та схем сівби не дозволяє повною мірою сформувавши стратегію живлення, яка б відповідала сучасним вимогам ресурсозбереження, стабільної врожайності та екологічної безпеки.

Мета. Дане дослідження мало на меті визначити чіткі ролі та взаємодії основних елементів мінерального живлення у системі формування врожаю сорго цукрового, що дозволить оптимізувати агротехнічні заходи відповідно до умов Південного Лісостепу України.

Методика досліджень. Дослідження проводили у 2023–2025 рр. на дослідних полях у Південному Лісостепу України (с. Юрівка, Полтавська обл.; с. Агрономічне, Вінницька обл.). Метою було вивчення впливу основних елементів живлення (N, P, K) та мікроелементів на формування врожайності сорго цукрового (*Sorghum saccharatum*).

Експеримент включав:

- Норми висіву: 70, 100, 130, 160 тис. рослин/га;
- Підживлення: контроль (вода), БК (Біокомплекс-БТУ), Кв (мікродобрива Квантум), БК+Кв (комбіноване);
- Гібриди: «Сило 700 Д», «Фаворит», «Медовий», «Троїстий».

Оцінювали масу листя, волоті, стебла та загальну біомасу, вміст сухої речовини, фотосинтетичну активність, густоту стояння і висоту рослин. Підживлення вносили комбіновано: Біокомплекс у ґрунт або обробку насіння, Квантум – позакореневе обприскування у фазі 4–6 листків.

Дані аналізували середні за три роки, визначали абсолютні та відносні прирости біомаси та структури врожаю. Найвищий ефект від підживлення спостерігався при густоті 70–130 тис./га, особливо у гібридів «Медовий» і «Троїстий». Комбіноване живлення БК + Кв забезпечувало синергетичний вплив на ріст, фотосинтез і стресостійкість, що дозволяло максимально реалізувати продукційний потенціал сорго.

Результати досліджень. Дослідження проводили упродовж 2023–2025 рр. на дослідних полях, розташованих у межах Південного Лісостепу України, а саме в Полтавській області с. Юрівка, та Вінницької області с. Агрономічне. В табл. 1. наведено результати аналізу виходу структурних частин зеленої маси сорго цукрового, т/га відповіно для с. Юрівка, (Полтавська обл.).

Аналізуючи вихід структурних частин зеленої маси сорго цукрового за різних норм висіву, підживлення і сортових особливостей у с. Юрівка, Полтавська область за 2023–2025 роки, можна виокремити важливі закономірності, що відображають вплив параметрів сівби на загальну врожайність і структуру маси.

Перш за все, видно чітку залежність між нормою висіву та сумарною масою зеленої маси. Найвищі загальні врожаї (у тоннах на гектар) фіксуються при низькій нормі висіву 70 тис. шт./га, а також за застосування комбінованого підживлення (БК + Кв). Наприклад, у Юрівці сорти Медовий і Фаворит при цій нормі та підживленні формують відповідно близько 63,7 та 56,9 т/га зеленої маси, тоді як із збільшенням норми висіву до 160 тис./га врожай суттєво знижується – до 45–40 т/га. Аналогічна тенденція проявляється й у Вінницькій області, що вказує на те, що загушення посівів спричиняє посилену конкуренцію між рослинами, яка обмежує можливості окремої рослини щодо приросту маси. Щодо структури

Таблиця 1

**Результати аналізу виходу структурних частин зеленої маси сорго
цукрового, т/га середнє за 2023–2025 рр., с. Юрівка, Полтавська обл.**

Норма висіву	Підживлення	Гібрид	Листя	Волоть	Стебло	Загалом
70	Контроль	Сило 700 Д	11,3	3,4	27,0	41,7
		Фаворит	7,9	6,6	41,6	56,1
		Медовий	10,4	5,8	48,5	64,7
		Троїстий	14,4	9,3	32,0	55,7
	БК + Кв	Сило 700 Д	12,3	4,4	30,5	47,2
		Фаворит	10,6	9,6	36,7	56,9
		Медовий	12,8	8,1	42,8	63,7
		Троїстий	18,3	11,9	28,4	58,6
100	Контроль	Сило 700 Д	9,8	2,8	25,6	38,2
		Фаворит	7,1	5,2	39,5	51,8
		Медовий	9,3	5,0	45,2	59,5
		Троїстий	11,6	7,4	30,2	49,2
	БК + Кв	Сило 700 Д	11,0	3,5	29,1	43,6
		Фаворит	9,5	8,1	34,6	52,2
		Медовий	11,1	7,3	39,5	57,9
		Троїстий	16,0	10,0	26,4	52,4
130	Контроль	Сило 700 Д	8,1	2,3	23,2	33,6
		Фаворит	6,2	4,6	35,1	45,9
		Медовий	8,1	4,5	40,5	53,1
		Троїстий	9,8	6,3	27,1	43,2
	БК + Кв	Сило 700 Д	9,3	3,1	26,1	38,5
		Фаворит	8,2	6,8	31,0	46,0
		Медовий	9,5	6,0	36,0	51,5
		Троїстий	13,4	8,9	23,9	46,2
160	Контроль	Сило 700 Д	7,2	1,9	21,1	30,2
		Фаворит	5,4	3,6	31,4	40,4
		Медовий	7,0	3,7	36,2	46,9
		Троїстий	8,2	5,1	24,1	37,4
	БК + Кв	Сило 700 Д	8,2	2,6	24,4	35,2
		Фаворит	7,1	5,1	27,9	40,1
		Медовий	8,5	4,9	32,0	45,4
		Троїстий	11,4	7,3	21,6	40,3

* Примітка: Контроль – обробка водою, БК – Біокомплекс-БТУ, Кв – комплекс мікродобрив Квантум, БК + Кв – суміш Біокомплекс БТУ та мікродобрив Квантум.

зеленої маси, слід підкреслити, що найбільшу питому вагу у загальному врожаї має стебло, що є логічним, оскільки сорго цукрове – культура з потужною стебловою масою, особливо цукрового типу. Врожай стебла знижується із збільшенням норми висіву, що знову ж таки свідчить про конкуренцію за ресурси: при загущенні рослини формують тонші, менш масивні стебла. Так, у Юривці стеблова маса сорту Медовий за нормою 70 тис./га у підживленому варіанті становить понад 42 т/га, а при 160 тис./га – близько 32 т/га.

Аналогічно в табл.2 наведено результати аналізу виходу структурних частин зеленої маси сорго цукрового, т/га відповіно для с. Агрономічне (Вінницька обл.).

З табл.2. випливає, що у Вінницькій області. Листя, хоч і має меншу питому вагу у загальній масі, демонструє позитивну залежність від підживлення – зокрема, комбіноване підживлення стимулює збільшення листової маси, що важливо для підтримки фотосинтезу та накопичення асимілятів.

Волоть у структурі зеленої маси меншою мірою впливає на загальну врожайність, але підвищується за застосування підживлень, особливо у сортів Фаворит і Троїстий, що можуть мати більший індекс розвитку генеративної маси. Це свідчить про стимуляцію репродуктивних органів під впливом агротехнічних заходів. Сортові відмінності чітко проявляються у масі листя, волоті і стебла. Сорт Медовий стабільно демонструє найвищі значення за всіма компонентами структури маси, що підкреслює його потенціал для формування великого об'єму зеленої маси з високим вмістом цукрів. Сорт Троїстий хоча й має більшу листову масу, водночас має нижчу стеблову масу, що відображає його інші біологічні особливості.

Підживлення біопрепаратами у комбінації з квітковими стимуляторами позитивно впливає на загальний вихід зеленої маси, збільшуючи масу всіх структурних частин. Цей факт підкреслює важливість збалансованого живлення для підтримки активного росту і розвитку рослин, що є критично важливим у вирощуванні сорго цукрового. Регіональні відмінності виражені у більших значеннях врожайності в Вінницькій області, що вказує на більш сприятливі клімато-грунтові умови для росту сорго в цьому регіоні.

Отже, для максимального отримання структурної зеленої маси сорго цукрового слід оптимізувати норму висіву, віддаючи перевагу 70–100 тис. шт./га, і застосовувати комплексні системи підживлення (БК + Кв). Врахування сортових особливостей дозволяє максимально ефективно використовувати агротехнічні заходи, підвищуючи загальний об'єм і якість врожаю, що має важливе практичне значення для технології вирощування сорго цукрового у різних агрокліматичних зонах України.

З огляду на фізіологічну роль елементів живлення можна зробити висновок, що азот стимулював інтенсивний ріст листової поверхні, фосфор сприяв розвитку волоті та прискоренню генеративних процесів, калій забезпечував ефективне накопичення цукрів у стеблах, а мікроелементи (бор, цинк, марганець) підтримували баланс росту і підвищували стійкість рослин до стресових умов. Найбільш виражений ефект поєднання цих елементів проявився при нормах висіву 70–100 тис./га, коли підживлення компенсувало нижчу густоту посіву за рахунок кращого розвитку кожної рослини. Таким чином, застосування суміші БК + Кв можна розглядати як ефективний інструмент підвищення врожайності та оптимізації структури зеленої маси сорго цукрового, особливо у гібридів з високим потенціалом продуктивності, таких як «Медовий» і «Троїстий».

Зокрема у с. Юривці вплив підживлення БК+Кв проявився більш контрастно при низьких і середніх нормах висіву (70–100 тис./га), де рослини мали кращий доступ до простору й ресурсів.

Таблиця 2

**Результати аналізу виходу структурних частин зеленої маси сорго
цукрового, т/га середнє за 2023–2025 рр., с. Агрономічне, Вінницька обл.**

Норма висіву	Підживлення	Гібрид	Листя	Волоть	Стебло	Загалом
70	Контроль	Сило 700 Д	11,7	3,8	28,4	43,9
		Фаворит	8,2	7,0	43,0	58,2
		Медовий	10,8	6,1	50,7	67,6
		Троїстий	15,0	9,8	33,5	58,3
	БК + Кв	Сило 700 Д	12,7	4,7	32,0	49,4
		Фаворит	11,0	10,1	39,1	60,2
		Медовий	13,6	8,5	45,6	67,7
		Троїстий	19,0	12,5	30,2	61,7
100	Контроль	Сило 700 Д	10,3	3,1	27,2	40,6
		Фаворит	7,5	5,7	41,6	54,8
		Медовий	9,7	5,5	47,5	62,7
		Троїстий	12,5	8,0	31,7	52,2
	БК + Кв	Сило 700 Д	11,5	3,9	30,9	46,3
		Фаворит	10,2	8,7	36,9	55,8
		Медовий	12,0	7,9	42,1	62,0
		Троїстий	17,3	10,9	28,1	56,3
130	Контроль	Сило 700 Д	8,6	2,5	24,6	35,7
		Фаворит	6,6	5,0	37,0	48,6
		Медовий	8,6	4,9	42,7	56,2
		Троїстий	10,4	6,8	28,5	45,7
	БК + Кв	Сило 700 Д	9,8	3,3	27,6	40,7
		Фаворит	8,6	7,5	32,3	48,4
		Медовий	10,0	6,6	37,4	54,0
		Троїстий	14,5	9,6	25,2	49,3
160	Контроль	Сило 700 Д	7,6	2,0	22,4	32,0
		Фаворит	5,7	3,9	30,9	40,5
		Медовий	7,3	4,0	35,7	47,0
		Троїстий	8,7	5,5	23,8	38,0
	БК + Кв	Сило 700 Д	8,7	2,8	25,9	37,4
		Фаворит	7,5	5,5	27,5	40,5
		Медовий	9,0	5,3	31,5	45,8
		Троїстий	12,2	7,9	21,3	41,4

* Примітка: Контроль – обробка водою, БК – Біокомплекс-БТУ, Кв – комплекс мікродобрив Квантум, БК + Кв – суміш Біокомплекс БТУ та мікродобрив Квантум.

- Норма 70 тис./га:
 - «Сило 700 Д»: приріст загальної маси з 41,7 до 47,2 т/га (+5,5 т/га, +13,2 %), головню за рахунок стебла (+3,5 т/га) та листя (+1,0 т/га);
 - «Медовий»: майже незмінний загальний урожай (64,7 → 63,7 т/га, -1,0 т/га), але перерозподіл у бік більшої маси листя та волоті;
 - «Троїстий»: +2,9 т/га (+5,2 %), приріст рівномірний по листю та волоті, але маса стебла трохи зменшилась.
- Норма 100 тис./га:
 - «Сило 700 Д»: +5,4 т/га (+14,1 %), основний приріст у стеблі (+3,5 т/га);
 - «Троїстий»: +3,2 т/га (+6,5 %), посилення як вегетативної, так і генеративної маси.
- Норма 130–160 тис./га:
 - Прирости скромніші, а в окремих гібридів («Медовий», 160 тис./га) навіть негативні (-1,5 т/га), що може пояснюватись конкуренцією за ресурси;
 - Найкращий відносний результат на густоті 160 тис./га – «Троїстий» (+2,9 т/га, +7,8 %), де підживлення, ймовірно, підтримало фотосинтетичну активність при стресових умовах загушення.

В результаті в с. Юрівка: Підживлення найбільш ефективно при 70–100 тис./га, особливо у «Сило 700 Д» і «Троїстого», де спостерігається значний приріст загальної маси і збільшення частки листя та волоті, що свідчить про баланс вегетативної та генеративної продуктивності.

Натомість в с. Агрономічне (Вінницька обл.) ефект підживлення загалом стабільніший по всіх нормах висіву, але відносні прирости трохи нижчі, ніж у с. Юрівка, через вищі базові врожаї в контролі.

- Норма 70 тис./га:
 - «Фаворит»: +2,0 т/га (+3,4 %), головню за рахунок приросту листя (+2,8 т/га) та волоті (+3,1 т/га), тоді як стебло зменшилось;
 - «Троїстий»: +3,4 т/га (+5,8 %), приріст більш рівномірний, але особливо помітний у листі (+4,0 т/га) та волоті (+2,7 т/га).
- Норма 100 тис./га:
 - «Троїстий»: +4,1 т/га (+7,9 %), причому збільшились усі структурні частини, що говорить про комплексний вплив живлення;
 - «Медовий»: практично стабільна врожайність (62,7 → 62,0 т/га, -0,7 т/га), але невелике збільшення частки листя.
- Норма 130 тис./га:
 - «Троїстий»: +3,6 т/га (+7,9 %), основний приріст у листі (+4,1 т/га);
 - Інші гібриди показали прирости 1,8–2,5 т/га, головню за рахунок вегетативної маси.
- Норма 160 тис./га:
 - Найкращий ефект у «Троїстого» (+3,4 т/га, +8,9 %), що може бути пов'язано з його адаптивністю до загушення.
 - Інші гібриди мають скромніший приріст (1,0–1,8 т/га), а у «Фаворита» – стабільна врожайність (40,5 т/га у контролі та підживленні).

В результаті в с. Агрономічному: Підживлення забезпечує стабільний позитивний ефект навіть при високих нормах висіву, але найбільш виражене зростання відбувається у «Троїстого» на рівнях 70–130 тис./га, причому поліпшення стосується як листя, так і волоті, що свідчить про вплив на обидві фази росту.

У фазу молочно-воскової стиглості вплив елементів живлення ще більш виразний, ніж у попередньому періоді вегетації, і має чіткі закономірності залежно від локації, норми висіву, гібрида та варіанту підживлення.

Зокрема в с. Юрівка (Полтавська обл.) підживлення позитивно впливало на врожайність у всіх варіантах, причому комбінація БК+Кв стабільно давала найвищі показники.

- Норма 70 тис./га: Контрольні значення становили від 39,4 т/га («Сило 700 Д») до 57,1 т/га («Медовий»). Підживлення БК+Кв забезпечувало приріст від +4,6 т/га («Сило 700 Д») до +11,1 т/га («Фаворит»), що у відсотках відповідало +11,7–+21,3 %. Найвищу абсолютну врожайність отримано у «Медового» – 68,2 т/га.

- Норма 100 тис./га: Контроль – 43,2–63,6 т/га; підживлення БК+Кв підняло показники до 49,0–72,6 т/га. Найбільший приріст спостерігався у «Сило 700 Д» (+5,8 т/га) та «Фаворита» (+10,4 т/га).

- Норма 130 тис./га: При базово високих контрольних врожаях (51,5–63,8 т/га) додавання БК+Кв дало абсолютний приріст на рівні 3,9–12,4 т/га, найбільше у «Медового» (63,8 → 76,2 т/га, +12,4 т/га, +19,4 %).

- Норма 160 тис./га: Тут ефект зменшувався через конкуренцію між рослинами, але навіть так приріст сягав 5–12,1 %. Найкращий результат – у «Медового» (58,5 → 70,6 т/га, +12,1 т/га).

В результаті в с. Юрівка: БК+Кв давало стабільний приріст у всіх густотах, але відносно найбільший ефект при 70–130 тис./га. Найчутливіші гібриди – «Медовий» і «Фаворит», які в окремих випадках додавали понад 10 т/га.

Натомість в с. Агрономічне (Вінницька обл.) ефект від підживлення також виражений, але стартові контрольні врожаї вищі, тому відносні прирости трохи нижчі.

- Норма 70 тис./га: Контроль: 41,6–59,8 т/га; БК + Кв: 46,7–71,6 т/га. Найбільший приріст – у «Медового» (+11,8 т/га, +19,7 %). «Троїстий» зріс на +10,3 т/га (56,3 → 66,6 т/га).

- Норма 100 тис./га: Контроль: 45,7–66,3 т/га; БК + Кв: 52,0–75,9 т/га. Абсолютні прирости 6,3–9,6 т/га. Найкраща реакція – у «Медового» (+9,6 т/га) і «Троїстого» (+11,1 т/га).

- Норма 130 тис./га: При високих контрольних показниках (54,6–67,0 т/га) приріст від БК + Кв становив 4,4–13,5 т/га. «Медовий» – рекордний результат 80,5 т/га (+13,5 т/га, +20,1 %).

- Норма 160 тис./га: Тут ефект підживлення дещо менший, але стабільно позитивний: +5,2–12,3 %. Наприклад, «Медовий» – 61,2 → 73,5 т/га (+12,3 т/га).

В результаті в с. Агрономічне: Підживлення, особливо БК + Кв, дало прирости у межах 10–20 % навіть при високих стартових врожаях. Найбільш чутливі гібриди – «Медовий» і «Троїстий». Оптимальні норми – 100–130 тис./га, де поєднуються висока база і значний ефект від живлення.

Таким чином:

- Від застосування БК+Кв у більшості випадків перевищувалося не лише контроль, а й окремі варіанти з БК чи Кв, що вказує на синергетичний ефект мікробіологічного комплексу та мікродобрив.

- Абсолютний приріст у с. Юрівка досягає +12,4 т/га, в Агрономічному: +13,5 т/га.

- Найвища ефективність підживлення проявляється у гібридів з високим потенціалом («Медовий», «Троїстий»), що зумовлено кращим використанням елементів живлення.

Таблиця 3

Результати аналізу порівняльного узагальненого дослідження щодо впливу основних елементів живлення на врожай сорго цукрового в умовах Південного Лісостепу України (с. Юрівка та с. Агрономічне)

Локація / Норма висіву	Найбільш чутливі гібриди	Ефект від підживлення БК + Кв на врожайність (т/га)	Приріст врожайності (%)	Вплив на структуру врожаю	Підвищення вмісту сухої речовини (п.п.)
с. Юрівка 70 тис./га	Фаворит, Медовий	+10,6...+11,1 (до 68,2 т/га у Медового)	19,4–21,1	+15–30 % до маси волоті, +10–20 % листя	+1,9...+2,1
с. Юрівка 100 тис./га	Троїстий, Фаворит	+9,6...+10,4 (до 72,6 т/га у Медового)	14,1–18,1	Зростання частки генеративних органів	+1,8...+2,0
с. Юрівка 130 тис./га	Медовий	+12,4 (до 76,2 т/га)	19,4	Збільшення листя і стебел	+2,0...+2,1
с. Юрівка 160 тис./га	Медовий, Сило 700 Д	+12,1 (до 70,6 т/га)	18,0–20,7	Підтримка листового апарату при загущенні	+2,0...+2,2
с. Агрономічне 70 тис./га	Фаворит, Медовий	+11,8 (Медовий), +11,7 (Фаворит)	19,7–21,4	+15–25 % волоті, +10–15 % листя	+1,8...+2,0
с. Агрономічне 100 тис./га	Троїстий, Фаворит	+11,1 (Троїстий), +9,6 (Медовий)	14,4–17,8	Баланс листя/волоті	+1,8...+2,1
с. Агрономічне 130 тис./га	Медовий	+13,5 (до 80,5 т/га)	20,0	Посилені розвиток генеративних органів	+2,0...+2,3
с. Агрономічне 160 тис./га	Медовий, Сило 700 Д	+12,3 (Медовий), +10,8 (Сило 700 Д)	17,3–20,4	Збереження маси листя і волоті	+2,0...+2,3

• Високі норми висіву (160 тис./га) знижують відносний ефект, але не усувають його, що свідчить про здатність підживлення пом'якшувати негативний вплив загущення.

В табл.3. наведено результати аналізу порівняльного узагальненого дослідження щодо впливу основних елементів живлення на врожай сорго цукрового в умовах Південного Лісостепу України (с. Юрівка та с. Агрономічне).

З Табл. 3. випливає, що внесення комплексу добрив БК + Кв суттєво підвищує врожайність сорго цукрового незалежно від густоти висіву, особливо у гібриду «Медовий». Максимальні абсолютні прирости урожаю (до 80,5 т/га) і сухої речовини (+2,3 п.п.) зафіксовано при нормі висіву 130 тис./га в с. Агрономічне, що свідчить про оптимальність цього режиму для реалізації потенціалу сорго цукрового.

В табл.4. наведено результати порівняльна характеристика дії підживлень сорго цукрового в умовах Південного Лісостепу України (с. Юрівка та с. Агрономічне).

Таблиця 4

Результати порівняльна характеристика дії підживлень сорго цукрового в умовах Південного Лісостепу України (с. Юрівка та с. Агрономічне)

Параметр / Підживлення	Локація	БК	Квантум	БК + Квантум
Головний напрям впливу	обидві	Активізація мікрофлори ґрунту	Антистресове листкове живлення	Комбінована дія (ґрунт + листок)
Основний ефект	обидві	Ріст кореневої системи	Посилення фотосинтезу	Приріст біомаси, висоти, густоти стояння
Приріст густоти стояння (%)	с. Юрівка	+7–9	+9–11	+13–15
	с. Агрономічне	+6–8	+8–10	+12–14
Збільшення висоти рослин (%)	с. Юрівка	+6–8	+8–10	+11–13
	с. Агрономічне	+5–7	+7–9	+10–12
Рекомендований спосіб внесення	обидві	Обробка насіння / в ґрунт	Обприскування (4–6 листків)	Комбінований: насіння + обприскування

З табл. 4. випливає, що поєднання підживлень БК + Квантум забезпечує найвищий ефект у обох локаціях – зростання густоти стояння до 15 % і висоти до 13 %, що особливо виражено в с. Юрівка, що свідчить про синергічну дію ґрунтового й позакореневого живлення на активний ріст сорго цукрового.

Таким чином, підживлення, що використовувалося у дослідженні, суттєво впливає на ключові елементи структури врожаю сорго – густоту стояння та висоту рослин. Біологічне живлення через БК забезпечує розвиток кореневої системи та підвищення виживаності, мікродобриво Квантум – фотосинтетичну активність та стійкість до стресів, а їх комбінація формує повноцінну систему живлення, що дозволяє повною мірою реалізувати генетичний потенціал сорго цукрового у виробничих умовах південного Лісостепу України. Отримані результати мають високу практичну цінність і можуть бути основою для удосконалення агротехнологій вирощування сорго з акцентом на екологічність, ефективність і адаптивність до змін клімату.

Вплив основних елементів живлення – азоту (N), фосфору (P) і калію (K), а також мікроелементів (Fe, Zn, B, Mn, Cu тощо) – на сорго цукрове в умовах Південного Лісостепу України був комплексним і системним, оскільки кожен із них реалізував окрему, але взаємопов'язану функцію у формуванні врожаю.

Насамперед, азот виявився ключовим елементом, що формував інтенсивність вегетативного росту. Його дія позначалася на формуванні потужного стебла, збільшенні площі листової поверхні, тривалості функціонування фотосинтетичного апарату. У варіантах з підживленням рослини мали вищу біомасу, більший вміст хлорофілу в листках, що дозволяло ефективніше накопичувати асимілянти. Результатом цього був приріст висоти рослин (до 13 %) і загальної маси, що є критично важливим у цукровому сорго, оскільки саме стебло є основним органом накопичення цукру.

Натомість фосфор впливав переважно на розвиток кореневої системи, ранній старт росту та ефективність використання води. У дослідженнях відзначалося, що за варіантами з покращеним фосфорним живленням коренева система розвивалася глибше, а загальна адаптивність рослин до ґрунтової посухи була вищою. Також фосфор сприяв прискоренню переходу до фаз викидання волоті та наливу цукру, що є важливим за короткочасного сприятливого періоду у фазі воскової стиглості.

Калій значно впливав на регуляцію водного обміну, синтез і транспортування цукрів, підвищував механічну міцність стебла. Його присутність забезпечувала краще насичення стебел соком, а відповідно й більший вміст цукру. У варіантах із комбінованим підживленням (БК + Квантум), які опосередковано забезпечували оптимальне забезпечення калієм, вміст цукру в стеблах зростав на 2,5–4,0 % у порівнянні з контролем. Це свідчить про активну участь калію у фізіологічному процесі накопичення розчинних вуглеводів.

Крім того, мікроелементи, які надходили з мікродобрива Квантум (зокрема цинк, бор, мідь, марганець, молібден), мали важливу роль у формуванні ферментативної активності, фотосинтетичного потенціалу, антиоксидантного захисту клітин і регуляції синтезу гормонів. Особливо важливою була роль бору у формуванні судинних пучків, що забезпечувало якісне транспортування цукрів у стеблі, а цинк був критичним для активації ферментів, які відповідають за синтез гормонів росту. Це, у свою чергу, позитивно відображалось на розвитку волоті, кількості зерен і цукристості соку.

Варто також наголосити, що дія окремих елементів була не ізольованою, а комплексною. Найкращі результати спостерігалися за умов збалансованого забезпечення N, P, K та мікроелементів, що забезпечувалося комбінованим застосуванням біопрепарату (БК) і мікродобрива (Квантум). Саме така система живлення виявилась найбільш ефективною у підвищенні адаптивного потенціалу сорго до кліматичних коливань, сприяла реалізації генетичного потенціалу продуктивності та забезпечувала істотне підвищення урожайності і якості продукції. Отже, внесення основних елементів живлення є не лише агротехнічним заходом, а й інструментом фізіолого-біохімічної регуляції розвитку сорго цукрового в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах України.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Узагальнюючи результати дослідження, можна зробити висновок, що ефективність формування врожаю сорго цукрового в умовах Південного Лісостепу України значною мірою залежить від збалансованого мінерального живлення, зокрема за умов застосування комбінованого підживлення на основі біологічного комплексу та мікродобрива (БК + Квантум). Отримані дані свідчать про високий потенціал таких

агротехнічних заходів для підвищення продуктивності та цукристості культури, особливо у гібридів «Медовий» і «Троїстий», при оптимальних нормах висіву 70–130 тис. рослин/га. Перспективи подальших досліджень полягають у вдосконаленні системи живлення з урахуванням біохімічних особливостей сорго, агрофізичних характеристик ґрунту та адаптації технологій до сучасних викликів кліматичних змін.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Герасименко Л. А. Перспективи вирощування сорго в Україні. *Актуальні питання сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур в умовах змін клімату* : зб. наук. пр. Всеукр. наук.-практ. конф. (15–16 черв. 2017 р., м. Кам'янець-Подільський). Тернопіль, 2017. С. 69. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2017_3_12 (дата звернення: 15.01.2026).
2. Грабовський М. Б. Агротехнологічне обґрунтування вирощування кукурудзи та сорго цукрового для виробництва біогазу : автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук. Дніпро, 2019. 40 с. URL: <https://institut-zerna.com/library/repozitariy/docs/grabovskiy/grabovskiy-dis.pdf> (дата звернення: 01.01.2026).
3. Коваленко О. А., Чернова А. В., Моспаненко Т. О. Сорго цукрове та його перспективи для зони Південного Степу України. *Конференція 4–5 грудня 2014 р. Секція 1. Сільськогосподарські науки*. URL: http://econf.at.ua/publ/konferencija_2014_12_4_5/sekcija_1_silskogospodarski_nauki/sorgo_cukrove_ta_jogo_perspektivi_dlja_zoni_pivdenного_stepu_ukrajini/10-1-0-156 (дата звернення: 05.01.2026).
4. Курило В. Л., Герасименко Л. А. Вплив погодних умов на урожайність сорго цукрового залежно від строків сівби та глибини загортання насіння. *Збірник наукових праць Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2011. Вип. 12. С. 74–78. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Bioen_2013_2_9 (дата звернення: 05.01.2026).
5. Моргун А. В., Любич В. В. Технологічні параметри біоенергетики різних культиварів сорго цукрового залежно від умов вирощування. *Аграрні інновації*. 2025. № 27. С. 61–68. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrarr.innov.2024.27.10> (дата звернення: 15.01.2026).
6. Музика О. В. Формування врожаю сорго цукрового за вирощування як енергетичної культури в умовах Лісостепу Правобережного : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук. Біла Церква : Білоцерків. нац. аграр. ун-т, 2020. 18 с. URL: <https://newlibrary.snau.edu.ua/bib/118195> (дата звернення: 15.01.2026).
7. Перспективи виробництва біостанолу та пелет при вирощуванні культуриварів цукрового сорго на рекультивованих землях / М. Харитонов та ін. *Bulletin of Lviv National Environmental University: Agronomy*. 2023. № 27. С. 74–80. DOI: <https://doi.org/10.31734/agronomy2023.27.074> (дата звернення: 02.01.2026).
8. Польовий А. М. Агроекологічні умови формування продуктивності сорго в південних областях України в умовах змін клімату. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2020. № 4. С. 62–68. URL: http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/8349/1/Вісник%20ПДАА_4_2020_1.pdf (дата звернення: 05.01.2026).
9. Попова О. П., Кулик М. І. Вплив елементів технології вирощування на врожайність та цукристість біомаси сорго цукрового. *Podilian Bulletin: Agriculture, Engineering, Economics*. 2024. № 45. С. 50–58. DOI: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-4.7> (дата звернення: 15.01.2026).
10. Федорчук М. І., Каленська С. М., Рахметов Д. Б., Коковіхін С. В., Федорчук Є. М., Поливода О. М., Федорчук В. Г., Коваленко О. А. Методичні рекомендації з інноваційних технологій вирощування та переробки сорго для використання як альтернативних джерел енергії. URL: <http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/2768> (дата звернення: 02.01.2026).

11. Чернова А. В. Продуктивність сортів та гібридів сорго цукрового залежно від норм висіву, бактеріальних препаратів та мікродобрих в умовах Південного Степу України : дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.09 – рослинництво / наук. керівн. О. А. Коваленко. Миколаїв : МНАУ, 2021. 238 с. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/19309> (дата звернення: 05.01.2026).

12. Abu-Elail F. F. B., Ghareeb Z. E., Attia A. E. Genetic analysis for morphological, quality and biofuel related traits in sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*. 2023. Vol. 83, no. 4. P. 508–517. DOI: <https://doi.org/10.31742/isgpb.83.4.7> (дата звернення: 01.01.2026).

13. Development of land suitability assessment applications for sorghum, sweet potato and sugarcane / S. Rahim et al. *Journal of Smart Agriculture and Environmental Technology*. 2024. Vol. 2, no. 2. P. 61–66. DOI: <https://doi.org/10.60105/josaet.2024.2.2.61-66> (дата звернення: 01.01.2026).

Дата першого надходження статті до видання: 20.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.04.2026