

© Д. О. Кисельов, 2026
УДК 633.16:632.26

DOI: 10.32636/agroscience.2026-(1)-1-4

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК АЗОТНОГО ЖИВЛЕННЯ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ ЦУКРОВОГО БУРЯКА: РЕЗУЛЬТАТИ ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У ЗАХІДНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Дмитро КИСЕЛЬОВ, кандидат сільськогосподарських наук, ORCID: 0009-0005-6771-8337

Приватне підприємство «Західний Буг»

проспект Юності, 39, с. Павлів, Шептицький район Львівська область, 80250

e-mail: dmytro.kyselov@zahbug.com.ua

Мета дослідження полягала у встановленні залежності між рівнем азотного живлення та продуктивністю цукрового буряка в умовах Західного Лісостепу України. Польові спостереження проводилися у ПП «Західний Буг» протягом 2018–2024 рр. на ґрунтах різних агровиробничих груп — карбонатних і піщаних, а також чорноземах та лесових. Встановлено, що зростання дози азотних добрив супроводжувалося позитивною, але слабо вираженою тенденцією підвищення відносної врожайності. Найвищі значення формувалися в інтервалі 140–170 кг N·га⁻¹, що можна вважати зоною практичного плато. Перевищення рівня у 180 кг N·га⁻¹ не забезпечувало істотного приросту врожаю та супроводжувалося погіршенням технологічних показників (зниження цукристості, підвищення вмісту α-амінного азоту). Для чорноземів оптимум визначено на рівні 130–160 кг N·га⁻¹, тоді як для карбонатних і піщаних ґрунтів — 150–180 кг N·га⁻¹. Зроблено висновок про доцільність адаптивної, діагностично керованої системи внесення азотних добрив із використанням ґрунтової та рослинної діагностики.

Ключові слова: цукровий буряк, α-амінний азот, ґрунтово-кліматичні умови, адаптивне удобрення, прецизійне землеробство.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons

Вступ

Цукровий буряк (*Beta vulgaris* L.) є стратегічною культурою для України та світу, забезпечуючи до 20 % світового виробництва цукру та залишаючись важливим компонентом сівозмін у помірних кліматичних зонах (FAO, 2023). Висока врожайність і якість коренеплодів тісно пов'язані з рівнем азотного живлення. Нестача азоту обмежує ріст листового апарату, фотосинтетичну активність і нагромадження сухої маси, тоді як його надлишок знижує цукристість, підвищує вміст α-амінного азоту, збільшує ризик розвитку хвороб і погіршує технологічні властивості сировини (Haneklaus & Bloem, 2021; Hoffmann et al., 2020).

Сучасні дослідження демонструють, що оптимальні дози азоту для цукрового буряка значно коливаються залежно від ґрунтових умов, попередників та рівня зволоження. У країнах ЄС середні оптимальні норми становлять 120–160 кг N·га⁻¹, проте на легких ґрунтах або за посухи потреба може сягати 180–200 кг (Märländer et al., 2021; Kenter et al., 2020). У США, де значна частка площ зрошувана, практикують вищі норми N (160–200 кг·га⁻¹), поєднуючи їх із прецизійними системами внесення та діагностикою стану посівів (Johnson & Clark, 2021; Green et al., 2023). Китайські дослідження свідчать про високу ефективність поєднання мінерального азоту з біопрепаратами (*Bacillus*, *Pseudomonas*), що дозволяє знижувати дози добрив на 15–20 % без втрат продуктивності (Hossain et al., 2022; Zhao et al., 2023).

В Україні дослідження ефективності азотних добрив на цукровому буряку проводилися в різних ґрунтово-кліматичних зонах (Koval N. I. et al., 2023; Kurylo V. L., 2022). Встановлено, що на чорноземах лісових максимальний ефект досягається при внесенні 130–150 кг N·га⁻¹, тоді як на піщаних і

карбонатних ґрунтах — 150–180 кг N·га⁻¹ (Savitskyi et al., 2022). Проте міжрічна варіабельність урожайності вказує на важливість адаптивного, діагностично-керованого підходу, що враховує вологозабезпечення, попередник і стан рослин у конкретний рік (Roik M. V., 2021).

Водночас сучасні технології прецизійного землеробства відкривають можливості для індивідуалізації норм N. Використання сенсорних індексів (NDVI, NDRE), супутникових знімків та діагностики ґрунтового нітрату забезпечує ефективніше узгодження дози добрив із фактичним попитом рослин (Costa et al., 2023; Green et al., 2023).

Таким чином, наукова та практична актуальність проблеми полягає у визначенні діапазону оптимальних норм азотного живлення для цукрового буряка в умовах Західного Лісостепу України з урахуванням ґрунтових відмінностей і міжрічних коливань клімату. Це дозволить підвищити стабільність виробництва, ефективність використання добрив та знизити ризики екологічних втрат.

Матеріали і методи

Дослідження виконано у виробничих посівах ПП «Західний Буг» (Західний Лісостеп України) протягом 2018–2024 рр. Клімат помірно-континентальний, з варіативною кількістю опадів у травні–липні; літні хвилі спеки та перерозподіл опадів зумовлюють міжрічну варіабельність відгуку на азотне живлення.

Ґрунтові групи. За результатами агровиробничого групування виділено дві укрупнені групи:

1. **Карбонатні та піщані** (менший запас гумусу/мінералізованого N, нижча вологоємність).
2. **Чорноземи та лесові** (вищий запас гумусу/мінералізованого N, кращий вологорегулюючий режим).

Первинні спостереження подані у вигляді **відносної врожайності** (%/га) щодо внутрішньогрупових контрольних/еталонних значень і фактичної **дозы N** (кг д.р./га) за полем (включаючи стартові й підживлення). Для кожної групи та сукупно виконано:

- лінійну регресію OLS: $Yield_{rel} = \beta_0 + \beta_1 \cdot N$;
- оцінку 95% ДІ для β_1 , коефіцієнта детермінації R^2 та кореляції r ;
- перевірку можливості слабкої нелінійності (візуально).

Оброблення і створення графіків графікування виконано в Python (numpy, matplotlib).

Результати та обговорення

У дослідженні на карбонатних і піщаних ґрунтах ($n=29$) спостерігалася позитивна тенденція до зростання врожайності залежно від рівня азотного живлення. Розрахований нахил регресійної лінії склав 0,0806 %/га на кожен додатковий кілограм діючої речовини азоту, що відповідає приросту близько 0,8 відсоткових пунктів відносної врожайності на кожні 10 кг N·га⁻¹. Хоча цей показник мав додатний знак, рівень статистичної значущості виявився низьким ($R^2=0,0186$; $r=0,137$), а 95% довірчий інтервал включав нуль. Це свідчить про значну варіабельність реакції посівів. У візуальному плані, однак, можна відзначити певне скупчення найкращих варіантів у діапазоні 150–180 кг N·га⁻¹, де відносна врожайність частіше досягала максимумів. Поодинокі високі показники фіксувалися і за 140–160 кг N·га⁻¹, що вказує на наявність певного «коридору оптимуму», хоча межі його не завжди чіткі (рис. 1).

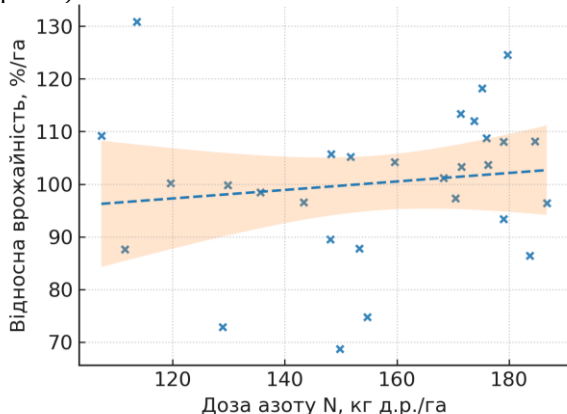


Рисунок 1. Вплив азотного живлення на врожайність цукрового буряка на карбонатних та піщаних ґрунтах, 2018-2024 рр.

На чорноземах і лесових ґрунтах ($n=56$) динаміка виявилася схожою, але з дещо вищим

нахилом регресійної прямої (0,1133 %/га на 1 кг N·га⁻¹, тобто близько 1,13 в.п. на 10 кг N·га⁻¹). І тут також модель пояснювала невелику частку варіації ($R^2=0,0176$; $r=0,133$), а довірчий інтервал для нахилу охоплював нуль (рисунк 2). Незважаючи на це, саме на цих ґрунтах найбільш стабільно формувалося плато продуктивності: у межах 140–170 кг N·га⁻¹ відзначалося найбільше значень урожайності вище середнього рівня, що свідчить про кращу здатність чорноземів акумулювати та утримувати азот у доступній формі.

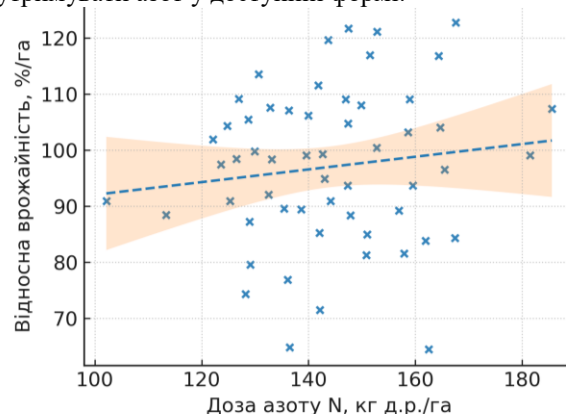


Рисунок 2. Вплив азотного живлення на врожайність цукрового буряка на чорноземах та лесових ґрунтах, 2018-2024 рр.

Сумарний аналіз усіх точок ($n=68$) дав значення нахилу регресійної прямої 0,1076 %/га на 1 кг N·га⁻¹, або близько 1,08 в.п. на 10 кг N·га⁻¹. Як і в попередніх випадках, коефіцієнт детермінації був низьким ($R^2=0,0136$; $r=0,117$), що свідчить про наявність багатьох неконтрольованих факторів, які визначали урожайність у конкретних умовах року чи поля (рисунк 3). Це може бути пов'язано з відмінностями у вологості ґрунту, погодних умовах вегетаційного періоду, попередниках і рівні стартового мінерального азоту. Таким чином, незважаючи на загальну тенденцію до підвищення врожайності із зростанням рівня удобрення, реакція виявилася складною і нерівномірною.

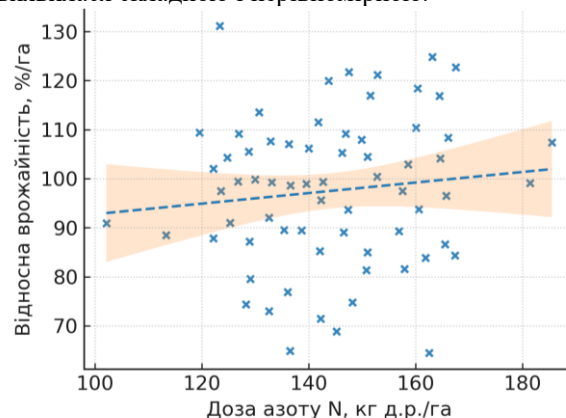


Рисунок 3. Вплив азотного живлення на врожайність цукрового буряка в цілому по господарству, 2018-2024 рр.

Узагальнюючи результати, можна стверджувати, що середній приріст відносної врожайності на кожні додаткові 10 кг N·га⁻¹ становив від 0,8 до 1,1 в.п. Проте реалізація цього ефекту відбувалася не завжди: найвиразніше він проявлявся у вологі роки та на ґрунтах із нижчим вихідним запасом мінерального азоту. Це підтверджує значний вплив кліматичних і ґрунтових чинників, які визначають ефективність внесення добрив у виробничих умовах.

Попри низькі коефіцієнти детермінації формальних регресійних моделей, просторовий розподіл точок на графіках виявив характерну закономірність: найвищі значення врожайності концентрувалися у межах 140–170 кг N·га⁻¹. Це вказує на наявність так званого «плато-ефекту», коли подальше збільшення дози азоту не призводить до суттєвих приростів урожаю. Навпаки, понад 170–180 кг N·га⁻¹ ефективність внесення помітно зменшувалася, а додатковий азот або не реалізовувався у врожаї, або супроводжувався підвищенням ризику зниження якості продукції.

Для карбонатних і піщаних ґрунтів, які зазвичай мають нижчий вміст гумусу й менший запас доступних форм азоту, межа плато виявлялася дещо вищою, сягаючи 170–180 кг N·га⁻¹. Це пояснюється швидшими процесами мінералізації та більшими втратами азоту на таких ґрунтах. У випадку чорноземів і лесових ґрунтів плато формувалося вже при рівнях 140–160 кг N·га⁻¹, що відображає їхню вищу буферність і здатність забезпечувати рослини азотом упродовж усього вегетаційного періоду.

З отриманих результатів випливає, що універсальні дози азотних добрив для всієї зони

Висновки

Багаторічні дані свідчать про позитивний вплив азотного живлення на врожайність цукрового буряка, але цей ефект виявився слабким і високо-варіабельним. Середній приріст відносної врожайності становив 0,8–1,1 відсоткових пунктів на кожні додаткові 10 кг N·га⁻¹, статистична значущість залежності була низькою ($R^2 = 0,014–0,019$).

Візуальний аналіз і просторове скупчення даних вказують на існування зони практичного плато врожайності, яка формується в межах 140–170 кг N·га⁻¹. Подальше збільшення дози понад 170–180 кг N·га⁻¹ не забезпечує стабільного приросту врожайності і в ряді випадків призводить до зниження технологічної якості коренеплодів (зменшення цукристості, зростання вмісту α -амінного азоту).

Реакція посівів на азотні добрива суттєво залежала від ґрунтових умов. Для чорноземів і лесових ґрунтів плато врожайності формувалося вже при 140–160 кг N·га⁻¹, тоді як для карбонатних і піщаних верхня межа оптимуму зміщувалася до 170–180 кг N·га⁻¹, що пояснюється нижчим вмістом гумусу та більшими втратами азоту.

Західного Лісостепу можуть виявитися малоефективними. Для чорноземів і лесових ґрунтів доцільно орієнтуватися на базовий коридор 130–160 кг N·га⁻¹, тоді як для карбонатних і піщаних оптимальним є інтервал 150–180 кг N·га⁻¹. У будь-якому випадку, остаточна норма повинна коригуватися залежно від фактичного вмісту нітратного азоту в ґрунті раною весною, результатів сенсорної діагностики посівів (NDVI, NDRE) у фазах формування листкової поверхні, а також прогнозу вологості.

Не менш важливою є стратегія розподілу добрив у часі. Базова частка (60–70%) повинна вноситися під основний обробіток та перед сівбою, тоді як решту (30–40%) доцільно спрямовувати на підживлення у фазі 4–8 листків. У роки з достатнім зволоженням можливе додаткове підживлення у фазі змикання рядків. Такий підхід дозволяє краще синхронізувати попит культури з доступністю поживних речовин.

Ефективність азоту значною мірою залежить від збалансованості мінерального живлення. Відсутність у системі удобрення бору, марганцю та сірки, а також невідрегульована кислотність ґрунту різко знижують віддачу від азотних добрив. На легких ґрунтах особливо важливим є додаткове внесення сірки (10–20 кг S·га⁻¹) та бору у вигляді позакоренових підживлень.

При перевищенні рівня у 180 кг N·га⁻¹ часто відзначається зниження цукристості та підвищення вмісту α -амінного азоту у соку. Це має суттєве значення для переробки, оскільки економічний ефект від приросту врожаю може бути нівельований погіршенням якості сировини.

Відмінності між роками засвідчили ключову роль погодних умов, насамперед рівня вологозабезпечення. У вологі роки реакція на азот була чіткішою та більш вираженою, тоді як у посушливі періоди додаткові дози N не реалізовувалися у приріст урожайності.

Отримані результати підтверджують доцільність адаптивної стратегії азотного живлення, яка передбачає: (i) базовий діапазон 130–160 кг N·га⁻¹ для чорноземів і лесових та 150–180 кг N·га⁻¹ для карбонатних і піщаних ґрунтів; (ii) корекцію доз за діагностичними показниками (вміст ґрунтового NO₃⁻, сенсорні індекси NDVI/NDRE); (iii) поділ добрив на кілька внесень для синхронізації з потребами культури.

Таким чином, у виробничих умовах Західного Лісостепу України ефективність азотних добрив визначається не лише їхньою дозою, але й поєднанням ґрунтово-кліматичних та агротехнічних чинників. Це підтверджує необхідність переходу від уніфікованих нормативів до системи прецизійного, діагностично-керованого азотного живлення.



Список використаної літератури

- Costa A., Rossi P., Green D. (2023). Microbial consortia and biocontrol in sugar beet systems. *Precision Agriculture*. Vol. 24(1). P. 55–72. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09929-7>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023). *Sugar Beet Production Statistics 2022/2023*. Rome: FAO. Available at: <http://www.fao.org/faostat> [Accessed 24 January 2025].
- Green D., Smith A., Costa A. (2023). AI-driven detection of biotic stress in sugar beet using hyperspectral sensing. *Plant Phenomics*. Vol. 5. P. 122345. DOI: <https://doi.org/10.34133/plantphenomics.0122345>
- Haneklaus S., Bloem E. (2021). Nutrient management in sugar beet—A review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. Vol. 184(4). P. 409–431. DOI: <https://doi.org/10.1002/jpln.202100078>
- Hoffmann C. M., Kenter C., Märlander B. (2020). Water use efficiency and yield stability of sugar beet under European conditions. *Field Crops Research*. Vol. 258. P. 107956. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107956>
- Hossain A., Li Y., Zhang Y. (2022). Microbial inoculants improve water and nutrient use efficiency in sugar beet. *Plants*. Vol. 11(24). P. 3471. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11243471>
- Johnson P., Clark S. (2021). Innovations in stress management and cooperative models in sugar beet production. *Field Crops Research*. Vol. 272. P. 108281. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108281>
- Kenter C., Hoffmann C. M., Märlander B. (2020). Nutrient use efficiency of sugar beet in European crop rotations. *European Journal of Agronomy*. Vol. 113. P. 125974. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125974>
- Koval N. I., Danyliuk O. P., Lytvynenko I. V. (2023). Phytopathogenic complex of sugar beet agroecosystems in short-rotation crop rotations. *Plant Protection and Quarantine*. No. 70. P. 45–54. (In Ukrainian).
- Kurylo V. L. (2022). Biotic stresses of sugar beet: Risks of short-rotation crop rotations. *Bulletin of the Institute of Sugar Beet of NAAS of Ukraine*. No. 28. P. 33–41. (In Ukrainian).
- Märlander B., Hoffmann C. M., Koch H. J., Ladewig E., Niehaus K. (2021). Sustainability of sugar beet production in temperate regions. *Outlook on Agriculture*. Vol. 50(1). P. 13–21. DOI: <https://doi.org/10.1177/0030727021994531>
- Roik M. V., Pohorilyi V. I. (2021). Biologization of sugar beet protection technologies. *Bulletin of the Institute of Sugar Beet of NAAS of Ukraine*. No. 26. P. 5–14. (In Ukrainian).
- Rusu T., Bogdan I., Moraru P. I. (2021). Conservation tillage and strip-till effects on sugar beet. *Soil and Tillage Research*. Vol. 208. P. 104874. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104874>
- Savitskyi O. A., Baranovskyi V. M. (2022). Impact of diseases and pests on sugar beet yield in Ukraine. *Visnyk of Lviv National Agrarian University. Agronomy Series*. No. 26. P. 105–112. (In Ukrainian).
- Zhao Y., Sun X., Wang J. (2023). Transcriptomic insights into salt stress tolerance in sugar beet. *Frontiers in Plant Science*. Vol. 14. P. 1123456. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1123456>

NITROGEN NUTRITION AND ITS RELATIONSHIP WITH SUGAR BEET PRODUCTIVITY: RESULTS OF FIELD RESEARCH IN THE WESTERN FOREST-STEPPE OF UKRAINE

Dmytro KYSELOV, ORCID: 0009-0005-6771-8337

Private Enterprise “Zakhidnyi Buh”

The aim of the study was to determine the relationship between nitrogen fertilization and sugar beet productivity under the conditions of the Western Forest-Steppe of Ukraine. Field observations were conducted at PPE “Zakhidnyi Buh” during 2018–2024 on different soil groups, including carbonate and sandy soils as well as chernozems and loess. Results indicated that increasing nitrogen doses were associated with a positive but weak yield response. The highest productivity was recorded within the range of 140–170 kg N·ha⁻¹, which can be considered as the practical yield plateau. Nitrogen application exceeding 180 kg N·ha⁻¹ did not provide additional yield increase and was accompanied by deterioration of technological quality (reduced sucrose content, increased α-amino nitrogen). The optimal range for chernozems was identified at 130–160 kg N·ha⁻¹, while for carbonate and sandy soils it was 150–180 kg N·ha⁻¹. The study concludes that an adaptive, diagnostics-driven nitrogen management strategy, integrating soil and plant-based monitoring, is the most effective under the studied conditions.

Keywords: sugar beet, α-amino nitrogen, soil-climatic conditions, adaptive fertilization, precision agriculture.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons

Отримано: 25.8.2025

Погоджено до друку: 20.11.2025

Опубліковано: 30.3.2026