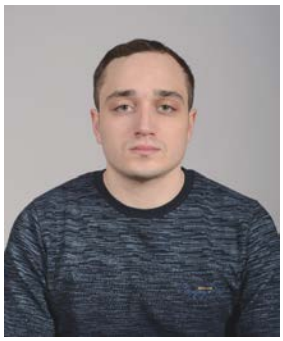
ISSN 3083-7448 (PRINT)
ISSN 3083-7464 ONLINE)

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

УДК 634.11:631.8
DOI https://doi.org/10.32782/3083-7464-2026-2-71-75



В. Ю. Лабунець
аспірант кафедри плодівництва і виноградарства,
Уманський національний університет (м. Умань, Україна)
E-mail: labunetsvladislav@ukr.net
orcid.org/0009-0005-1546-2595



Р. В. Яковенко
доктор сільськогосподарських наук,
завідувач кафедри плодівництва і виноградарства,
Уманський національний університет (м. Умань, Україна)
E-mail: plodroma78@gmail.com
orcid.org/0000-0001-7263-7092

ПОКАЗНИКИ ЛИСТЯ ТА ВРОЖАЙНІСТЬ ДЕРЕВ ЯБЛУНІ ЗАЛЕЖНО ВІД ОПТИМІЗОВАНОГО АЗОТНОГО ЖИВЛЕННЯ

Азотне живлення є одних з важливих фактором регуляції морфогенезу та формування асиміляційної поверхні яблуні в дерев на слаборослих підщепах. Оптимізація азотного живлення в першій половині вегетації активізує поділ клітин, забезпечуючи інтенсивний ріст листя та пагонів, що дозволяє досягти оптимальних параметрів листкової поверхні на дереві. Водночас надлишкове внесення азотних добрив провокує гіпертрофоване наростання листкової маси, посилює загущення крони, знижує чисту продуктивність фотосинтезу та погіршує якість плодів. Вміст хлорофілу в листкових пластинках яблуні належить до ключових фізіолого-біохімічних параметрів, які безпосередньо визначають продуктивність насаджень, їхню адаптаційну здатність та загальний стан плодового дерева. Концентрація цього пігменту в листі та рівень азотного живлення тісно пов'язані, оскільки оптимізоване внесення добрив активізує обмін речовин і стимулює закладання плодових бруньок. Сучасні глобальні кліматичні зміни супроводжуються стрімким зростанням температурного режиму та дефіцитом атмосферних опадів, що викликано біотичними процесами, коливаннями сонячної радіації та антропогенними чинниками. За подібних екстремальних умов упровадження раціональної системи удобрення, особливо у незрошуваних (богарних) насадженнях яблуні, є одним із найбільш ефективних способів мінімізації стресового навантаження, підтримки функціональності пігментної системи та збереження продуктивності дерев. Більш облиствлені дерева яблуні сортів Ред Топаз і Рубінола були у варіанті з внесення у ґрунт вищої норми азоту (90 к/га д.р.) та моделюю розрахунку азотного живлення з перевищення контролю (без добрив) на 37–52%. Товщина листкової пластинки за внесення азоту збільшувалася на 6–15%. Вміст суми хлорофілів (a+b) у листі обох досліджуваних сортів яблуні був більший за застосування розрахункової норми добрив азоту згідно моделі й застосування фіксованої норми N_{90}. Модель розрахунку оптимізованої норми азоту забезпечувала середню врожайність яблук на рівні 20,7 т/га, а на виробничому контролі – 20,2 т/га, за значно меншої кількості внесеного добрива.
Ключові слова: *яблуня, оптимізоване азотне живлення, площа листя, вміст хлорофілу, урожайність дерев.*

V. Yu. Labunets
PhD student at the Department of Fruit Growing and Viticulture,
Uman National University (Uman, Ukraine)
E-mail: labunetsvladislav@ukr.net
orcid.org/0009-0005-1546-2595
R. V. Yakovenko
Doctor of Agricultural Science,
Head of the Department of Fruit Growing and Viticulture,
Uman National University (Uman, Ukraine)
E-mail: plodroma78@gmail.com
orcid.org/0000-0001-7263-7092

LEAF PARAMETERS AND YIELD OF APPLE TREES AS AFFECTED BY OPTIMIZED NITROGEN NUTRITION

Nitrogen nutrition acts as a leading factor in regulating the morphogenesis and development of the assimilation surface of apple trees on dwarfing rootstocks. Optimizing nitrogen nutrition during the first half of the growing season activates meristematic activity, ensuring intensive leaf growth and elongation of vegetative shoots, which allows achieving optimal leaf area index

parameters per tree. At the same time, excessive application of nitrogen fertilizers induces hypertrophied accumulation of leaf biomass, which increases self-shading within the canopy, reduces net photosynthetic rate, and degrades fruit quality. The chlorophyll content in the leaf blades of apple trees is among the key physiological and biochemical parameters that directly determine orchard productivity, adaptive capacity, and the overall status of the fruit tree. The concentration of this pigment in the leaves and the level of nitrogen nutrition are closely linked, as optimized fertilizer application activates metabolism and stimulates fruit bud initiation. Modern global climate change is accompanied by a rapid increase in temperatures and a deficit of atmospheric precipitation, driven by biotic processes, solar radiation fluctuations, and anthropogenic factors. Under such extreme conditions, implementing a rational fertilization system, particularly in rainfed apple orchards, represents one of the most effective ways to minimize stress loads, maintain the functionality of the pigment system, and sustain tree productivity. Apple trees of the Red Topaz and Rubinola cultivars exhibited greater foliage density in the treatment with a higher soil-applied nitrogen rate (90 kg/ha a.i.) and under the calculated nitrogen nutrition model, exceeding the control (without fertilizers) by 37–52%. Leaf blade thickness increased by 6–15% with nitrogen application. The total content of chlorophylls (a+b) in the leaves of both studied apple cultivars was higher under the calculated fertilizer rate according to the model and under the N_{90} nitrogen application rate. The optimized nitrogen rate calculation model provided an average apple yield of 20.7 t/ha compared to 20.2 t/ha in the commercial control, with a significantly lower amount of applied fertilizer.
Key words: *apple tree, optimized nitrogen nutrition, leaf area, chlorophyll content, tree yield.*

Постановка проблеми. Концентрація хлорофілу в листкових пластинках яблуні та рівень азотного живлення тісно пов'язані, оскільки оптимізоване внесення добрив активізує обмін речовин і стимулює закладання плодових бруньок. Поряд із пігментним комплексом, стан листкової поверхні дерева має важливе значення та виступає передумова засвоєння сонячної енергії та її акумуляції у вигляді біомаси. Значний вплив на листковий апарат має мінеральне живлення. Дослідження впливу оптимізована азотного живлення на формування листкової поверхні та продуктивності плодових насаджень визначає актуальність даного напрямку.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Азотне живлення виступає провідним фактором регуляції морфогенезу та формування асиміляційної поверхні яблуні в дерев на слаборослих підщепах. Оптимізація азотного живлення в першій половині вегетації активізує меристематичну діяльність, забезпечуючи інтенсивний ріст листя та подовження вегетативних пагонів, що дозволяє досягти оптимальних параметрів індексу листкової поверхні на дереві. Водночас надлишкове внесення азотних добрив провокує надмірне наростання листкової маси, що посилює взаємозатінення всередині крони, знижує чисту продуктивність фотосинтезу та погіршує якість плодів [1–5]. Результати комплексних досліджень свідчать, що накопичення хлорофілу в листкових пластинках яблуні є динамічною величиною. Вона обумовлена генетичними особливостями сортопідщепних комбінацій, періодом вегетації, а також гідротермічними умовами та рівнем забезпеченості рослин елементами мінерального живлення [6–8].

Складні погодні умови в період вегетації плодових насаджень, які супроводжуються повітряною та ґрунтовою посухою виступають деструктивним стресовим чинником, що пригнічує загальну фотосинтетичну діяльність та суттєво погіршує поглинання елементів мінерального живлення. За подібних екстремальних умов упровадження раціональної системи удобрення, особливо у незрошуваних насадженнях яблуні, є одним із найбільш ефективних способів мінімізації стресового навантаження, підтримки функціональності пігментної системи та збереження продуктивності дерев [3, 9, 10].

Мета досліджень – дослідити вплив оптимізованого азотного живлення на показники листя та врожайність дослідних дерев яблуні сорту Ред Топаз і Рубінола.

Умови і методика досліджень. Дослідження проводили у насадженні яблуні сортами Ред Топаз і Рубінола Уманського національного університету зі схемою садіння дерев 4×1,5 м на слаборослій клоновій підщепі М.26. Ґрунт дослідної ділянки чорнозем опідзолений з вмістом гумусу в шарах 0–20 і 20–40 см, відповідно, 4,3 та 3,5%, вміст рухомих фосфатів складав 128 та 119 мг/кг, а калію – 212 та 145 мг/кг відповідно. Реакція ґрунтового розчину становила $pH_{сол}$ 6,1. Утримували ґрунт в міжрядді за дерново-перегнійною системою. Насадження яблуні не зрошуване.

Досліджувався вплив двох чинників: сортів і варіантів азотного живлення. Варіанти азотного живлення включали в себе: внесення у ґрунт 90 кг/га д.р. азоту (виробничий контроль); внесення азоту в ґрунт на основі показників нітрифікаційної здатності з доведенням до оптимального вмісту в ґрунті азоту згідно патенту №139762 Україна МПК A01C 21/00 із нормою внесення азоту впродовж років досліджень 28–40 кг/га д.р.; модель розрахунку азотного живлення (від рекомендованої дози – 90 кг/га д.р. віднімали фактичний вміст в ґрунті нітратного азоту – 20–23 мг/кг за показником нітрифікаційної здатності) із нормою внесення азоту впродовж років досліджень 67–70 кг/га д.р.; варіант де добрива не застосовували (абсолютний контроль). Азотні добрива (аміачна селітра) вносили весною за два тижні до початку цвітіння дерев. Повторення дослідних варіантів чотириразове, з п'ятьма обліковими деревами.

Для визначення вмісту суми хлорофілу (*а+в*) у листках яблуні використовувався спектрофотометричний метод. Він включав екстрагування хлорофілів за допомогою 96% етилового спирту, з послідуючим визначенням оптичної густини отриманого екстракту на спектрофотометрі Ulab 102 [11]. Визначення площі листкової пластинки проводили за допомогою мобільного додатку «Petiole». Товщину листкової пластинки вимірювали приладом "Тургометр-І". При визначенні найменшої істотної різниці середніх даних для всього досліду використовували багатофакторний дисперсійний аналіз [12].

Основні результати досліджень. За результатами досліджень, проведених у 2024–2026 рр.,

ISSN 3083-7448 (PRINT)
ISSN 3083-7464 ONLINE)

виявлений істотний вплив оптимізованого азотного живлення на листкову поверхню (табл. 1). Найбільше збільшення площі листка відмічене у варіанті виробничого контролю, де вносили у ґрунт 90 к/га д.р. азоту, перевищення абсолютного контролю становило 23%. Така норма азоту зумовлювала вищі показники росту листкової пластинки порівняно з варіантами, де застосовували розрахункові методи визначення норми внесення азотного добрива. Серед досліджуваних сортів більша площа листкової пластинки була у дерев сорту Ред Топаз й перевищувала на 5% сорт Рубінола.

Товщина листкової пластинки також в певній мірі залежала від азотного удобрення. Внесення азоту сприяло збільшення товщини листка на 6–15% порівняно з абсолютним контролем, де добрива не застосовували.

Площа листкової поверхні досліджуваних дерев у середньому за роки досліджень коливалася в межах 4,6–10,3 тис. м^2/га і залежала від сорту і варіантів азотного живлення (табл. 2). Так, найбільше площа листкової поверхні спостерігалася у варіанті виробничого контролю, де перевищення абсолютного контролю становило 48–52%. Більш облиствлені були також дерева у варіанті з моделюю розрахунку азотного живлення з перевищення контролю (без добрив) на 37–44%.

Зміни ґрунтового живлення під впливом азотного удобрення впливало на підвищення продуктивності фотосинтезу завдяки збільшенню вмісту хлорофілу в листках. В середньому за 2024–2026 рр. досліджень істотно більший вплив на вміст суми хлорофілів (*a*+*b*) у листі досліджуваних сортів яблуні Ред Топаз і Рубінола на слаборослій М. 26 підщепі мало застосування розрахункової норми добрив згідно моделі й застосування азоту в нормі N_{90}, відповідно, на 17 і 13 й 17 і 19%.

Таблиця 1

Вплив оптимізованого азотного живлення на показники листкової пластинки дерев яблуні, (середнє за 2024–2026 рр.)

Сорт (чинник А)	Удобрення азотом (чинник В)	Площа листкової пластинки, см^2	% до контролю	Товщина листкової пластинки, мкм	% до контролю
Ред Топаз	0 (абсолютний контроль)	39,0	100,0	212	100,0
	N_{90} (виробничий контроль)	47,9	122,8	243	114,6
	N за нітрифікаційною здатністю	43,4	111,3	240	113,2
	N модель розрахунку азотного живлення	42,1	107,9	239	112,7
Рубінола	0 (абсолютний контроль)	37,8	100,0	252	100,0
	N_{90} (виробничий контроль)	46,3	122,5	282	111,9
	N за нітрифікаційною здатністю	42,4	112,2	272	107,9
	N модель розрахунку азотного живлення	45,7	120,9	268	106,3
$НІР_{05}$		2,8	-	15	-

Таблиця 2

Площа листкової поверхні та вміст хлорофілу в листі дерев яблуні залежно від оптимізованого азотного живлення, (середнє за 2024–2026 рр.)

Сорт (чинник А)	Удобрення азотом (чинник В)	Площа листової поверхні, тис. м^2 /га	% до контролю	Сума хлорофілів (a+b), мг/г сирої маси	% до контролю
Ред Топаз	0 (абсолютний контроль)	6,4	100,0	2,41	100,0
	N_{90} (виробничий контроль)	9,5	148,2	2,83	117,4
	N за нітрифікаційною здатністю	8,4	130,0	2,69	111,6
	N модель розрахунку азотного живлення	8,9	137,8	2,86	118,7
Рубінола	0 (абсолютний контроль)	4,3	100,0	2,52	100,0
	N_{90} (виробничий контроль)	6,5	152,8	2,99	118,7
	N за нітрифікаційною здатністю	5,2	121,5	2,83	112,3
	N модель розрахунку азотного живлення	6,1	144,2	2,84	112,7
$НІР_{05}$		0,8	-	0,14	-

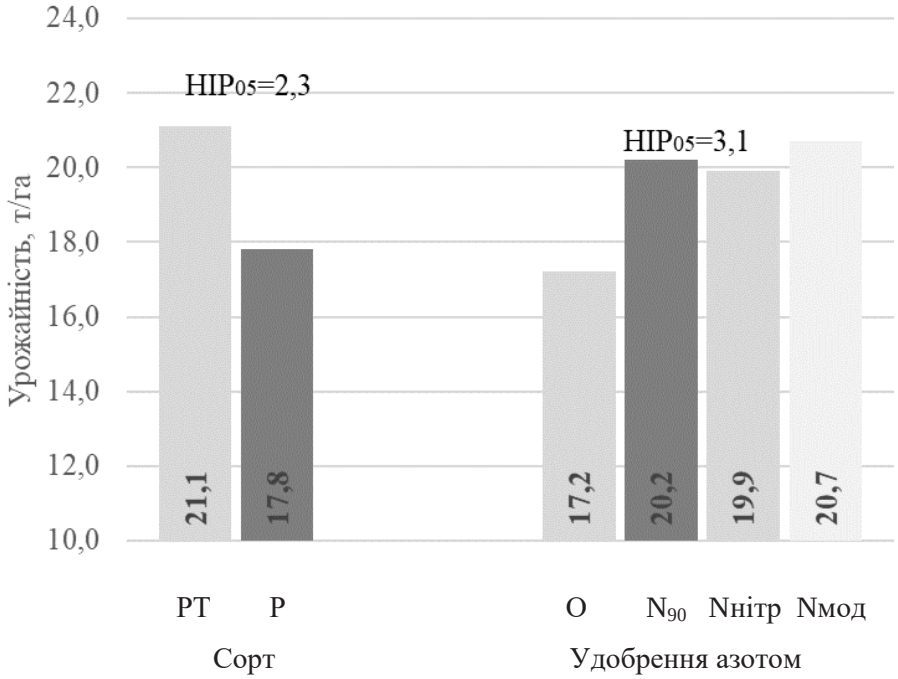


Рис. 1. Урожайність дерев яблуні залежно від оптимізованого азотного живлення (середнє за 2024–2026 рр.): (РТ – Ред Топаз, Р – Рубінола, О – без добрив, N90 – 90 кг/га д.р., Nнітр – за нітрифікаційною здатністю, Nмод – модель розрахунку азотного живлення)

Залежно від фізіологічних показників листя по різному формувалась врожайність дослідних дерев на ділянках варіантів оптимізованого азотного живлення (рис. 1). Двофакторним дисперсійним аналізом встановлено, що найвища середня врожайність дерев яблуні відмічена в сорту Ред Топаз, що істотно перевищувало сорт Рубінола на 3,3 т/га при $НІР_{05}$ = 2,3. Варіанти азотного живлення мали врожайність майже на одному рівні 19,9–20,7 т/га, але істотно вищою вона була у варіанті з моделюю розрахункового внесенням добрив порівняно з абсолютним контролем.

Висновки. Дослідження підтвердили позитивний вплив азотного живлення на параметри листя та продуктивність яблуні сортів Ред Топаз і Рубінола. Застосування підвищеної норми азоту (N_{90}) та оптимізованої розрахункової моделі живлення сприяло збільшенню площі облиствлення дерев на 37–52% порівняно з контрольним варіантом (без добрив). Разом із цим зафіксовано у зазначених варіантах потовщення листкової пластинки на 6–15% та підвищення концентрації суми хлорофілів (*a*+*b*). Модельний розрахунок норми добрив виявився найбільш ефективним і забезпечив середню урожайність дерев яблуні на рівні 20,7 т/га (проти 20,2 т/га на виробничому контролі) за істотного зниження обсягів внесення азоту.

Подяки. Це дослідження виконувалося у 2024–2026 роках відповідно до наукової тематики кафедри плодівництва і виноградарства Уманського національного університету. Автори висловлюють вдячність адміністрації університету за організаційну підтримку під час виконання дослідження.

Фінансування дослідження. Автори заявляють, що дослідження виконано без зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів. Відсутній.

Авторський внесок.

Лабунець В. Ю.: проведення експерименту; забезпечення ресурсами та обладнанням; підготовка рукопису – первинний текст; графічне представлення результатів.

Яковенко Р. В.: розробка програми досліджень, наукове консультування під час проведення досліджень, підготовка рукопису – перегляд і редагування.

Декларація використання генеративного штучного інтелекту. Під час підготовки рукопису генеративні інструменти штучного інтелекту / ШІ-асистовані технології не використовувалися.

References

1. Havryliuk, O., & Kondratenko, T. (2020). *Strukturno-funktsionalnyy stan lystkiv kolovydnykh sortiv yabluni v umovakh Kyivshchyny* [Structural and functional state of leaves of columnar apple cultivars under conditions of Kyiv region]. Naukovi dopovidi NUBiP Ukrayiny, 16(2), pp. 142-153. https://doi.org/10.31548/dopovidi2020.02.013 [in Ukrainian].

2. Chou S., Chen B., Chen J., Wang M., Wang S., Croft H., Shi Q. (2020). Estimation of leaf photosynthetic capacity from the photochemical reflectance index and leaf pigments. *Ecol. Indic*, Vol. 110, https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105867

3. Trushev I.M, Chetskyi I.M., Kucher I.O., Pelekhatyi V.M. (2025). *Pokaznyky lystia ta*

arkhitektonika krony derev yabluni zalezhno vid hruntovoho udobrennia ta pozakorenevoho pidzhyvlennia. [Leaf traits and crown architecture of apple trees depending on soil fertilization and foliar feeding]. Zbirnyk naukovykh prats UNU, 108, pp. 104-111. https://doi.org/10.32782/2415-8240-2026-108-1-104-111 [in Ukrainian].

4. Wojdyło, A.; Nowicka, P.; Tkacz, K.; Turkiewicz, I.P. (2021). Fruit Tree Leaves as Unconventional and Valuable Source of Chlorophyll and Carotenoid Compounds Determined by Liquid Chromatography-Photodiode-Quadrupole/Time of Flight-Electrospray Ionization-Mass Spectrometry (LC-PDA-QTof-ESI-MS). *Food Chem,* 349, https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129156.

5. Shubenko, L., Shokh, S., Karpuk, L., Pavlichenko, A., & Philipova, L. (2021). Features of growth processes of sweet cherry trees of various ripening terms in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Horizons*, 24 (7), pp. 61-67. https://doi.org/10.48077/scihor.24(7).2021.61-67

6. Youngsuk Lee, Hun Joong Kweon, Moo-Yong Park, Dongyong Lee (2019). Field Assessment of Macronutrients and Nitrogen in Apple Leaves Using a Chlorophyll Meter. *Hort Technology*. Volume 29: Issue 3 (Jun 2019). pp. 300-307. https://doi.org/10.21273/HORTTECH04217-18

7. Yakovenko, R., Kopytko, P., Pelekhatyi, V. (2021). The content of chlorophyll and nutrients in apple leaves depending on longterm fertiliser. *Scientific Horizons*, 24(2), 93-98. https://doi.org/10.48077/scihor.24(2).2021.93-98

8. Rutkowski K., Łysiak P. (2023). Effect of Nitrogen Fertilization on Tree Growth and Mineral Content in Soil and Cherry Leaves (*Prunus cerasus* L.). *Agriculture*. 13(3), 578. https://doi.org/10.3390/agriculture13030578

9. Sete, P.B.; Comin, J.J.; Nara Ciotta, M.; Almeida Salume, J.; Thewes, F.; Brackmann, A.; Toselli, M.; Nava, G.; Rozane, D.E.; Loss, A. (2019). Nitrogen Fertilization Affects Yield and Fruit Quality in Pear. *Sci. Hortic*. 258. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108782.

10. Kowalczyk, W.; Wrona, D.; Przybyłko, S. (2022). Effect of Nitrogen Fertilization of Apple Orchard on Soil Mineral Nitrogen Content, Yielding of the Apple Trees and Nutritional Status of Leaves and Fruits. *Agriculture*. 12. 2169. https://doi.org/10.3390/agriculture12122169

11. Hrytsaienko, Z. M., Hrytsaienko, A. O., & Karpenko, V. P. (2003). *Metody biolohichnykh ta ahrokhimichnykh doslidzhen roslyn i hruntiv* [Methods of biological and agrochemical research of plants and soils]. Kyiv, 320 p. [in Ukrainian].

12. Yeshchenko, V. O., Kopytko, P. H., Kostohryz, P. V., & Opryshko, V. P. (2014). *Osnovy provedennya doslidzhen v ahronomiyi: pidruchnyk* [Principles of doing the research in agronomy: a textbook]. Vinnytsia: PP "TD Edelveis i Ko", 332 p. [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 25.09.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 14.10.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 24.11.2026