

DOI: 10.32636/01308521.2025-(77)-2-2

Оригінальна наукова стаття

УДК 633.85:631.81(1-15)(292.485)

**ВПЛИВ УДОБРЕННЯ СОНЯШНИКА
НА ДИНАМІКУ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ У ҐРУНТІ ТА РОСЛИНАХ
В УМОВАХ ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ****Д. В. Баранський¹, П. С. Гнатів², В. Я. Іванюк¹, О. В. Гаськевич¹**

¹Львівський національний
університет ветеринарної медицини
та біотехнологій
імені С. З. Гжицького
вул. В. Великого, 1, Дубляни,
Львівська обл., 80381

²Інститут сільського господарства
Карпатського регіону НААН
вул. Грушевського, 5, с. Оброшине,
Львівський р-н, Львівська обл.,
81115

Про авторів

Дмитро БАРАНСЬКИЙ,
здобувач РВО «Доктор філософії»
ORCID: 0000-0003-0868-6716

Петро ГНАТІВ,
доктор біологічних наук
ORCID: 0000-0003-2519-3235

Віктор ІВАНЮК,
кандидат сільськогосподарських
наук
ORCID: 0000-0002-6885-9212

Оксана ГАСЬКЕВИЧ,
кандидат географічних наук
ORCID: 0000-0002-4354-3860

Для листування:

Дмитро БАРАНСЬКИЙ
e-mail: dmytrotom916@gmail.com

Інформація про фінансування:

Міністерство освіти і науки
України

Отримано:
13 травня 2025 р.
Погоджено до друку:
30 травня 2025 р.

У геоморфологічному районі Пасмового Побужжя досліджено вплив норм і форм мінеральних добрив для оптимізації живлення соняшника основними елементами: азотом, фосфором і калієм. У фазі цвітіння критично важливе їх достатнє надходження для формування генеративних органів, запилення та наливу зерна. Особлива увага нами приділена щодо вивчення динаміки ресурсів легкогідролізного азоту, рухомих фосфатів та обмінного калію у темно-сірому опідзоленому ґрунті під культурою. Доведено, що комплексне застосування нітроамофоски та мікрогранульованих добрив значно покращує поживний режим ґрунту, сприяючи кращому засвоєнню азоту, фосфору і калію рослинами. З'ясовано, що за такого підходу у листках соняшника фіксується максимальний вміст азоту (4,16 %), фосфору (1,17 %) та калію (4,77 %). Це позитивно вплинуло на фізіологічний стан соняшника та його потенційну продуктивність. Контрольні варіанти, де добрива не вносили, демонструють найнижчі показники засвоєння макроелементів, що свідчить про необхідність внесення мінеральних добрив для отримання планового врожаю. Дослідження дозволяє зробити висновок про важливість збалансованого внесення добрив, для того, щоб у фазі цвітіння рослини мали достатній ресурс для реалізації потенціалу культури: найвищого врожаю та формування якісного зерна.

Ключові слова: мікрогранульоване добриво, ґрунт, азот, фосфор, калій, мінеральне удобрення, урожайність.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

© Баранський Д. В., Гнатів П. С., Іванюк В. Я., Гаськевич О. В., 2025

Influence of sunflower fertilization on the dynamics of nutrients in soil and plants in the Western Forest-Step zone

¹Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv, V. Velykoho street, 1, Dubliany, Lviv region, 80381

²Institute of Agriculture of Carpathian Region of NAAS, Hrushevskoho Street, 5, Obroshyne village, Lviv District, Lviv Region, 81115

About authors:

Dmytro BARANSKYI
ORCID: 0000-0003-0868-6716

Petro HNATIV
ORCID: 0000-0003-2519-3235

Viktor IVANIUK
ORCID: 0000-0002-6885-9212

Oksana HASKEYVYCH
ORCID: 0000-0002-4354-3860

For corresponding:

Dmytro BARANSKYI
e-mail: dmytrotom916@gmail.com

Funding information:

Ministry of Education and Science of Ukraine

Received:
May 13, 2025
Accepted:
May 30, 2025

In the geomorphological region of the Pasmove Pobuzhzhia, the impact of different rates and forms of mineral fertilizers was studied to optimize sunflower nutrition with key macronutrients: nitrogen, phosphorus, and potassium. During the flowering stage, the adequate supply of these elements is critically important for the formation of generative organs, successful pollination, and seed filling. Particular attention was paid to examining the dynamics of easily hydrolysable nitrogen, available phosphates, and exchangeable potassium in dark gray podzolized soil under sunflower cultivation. It was proven that the combined application of nitroammophoska and microgranular fertilizers significantly improves the soil's nutrient regime, promoting better uptake of nitrogen, phosphorus, and potassium by plants. The findings revealed that under such treatment, sunflower leaves exhibited the highest recorded content of nitrogen (4,1 %), phosphorus (1,17 %), and potassium (4,44 %). This positively affected the physiological state of the plants and their potential productivity. Control plots without fertilizer application showed the lowest macronutrient uptake, confirming the necessity of mineral fertilization to achieve the target yield. The study underscores the importance of balanced fertilizer application to ensure that, during the flowering phase, sunflower plants have sufficient nutrient resources to realize their full genetic potential—achieving maximum yield and high-quality grain formation.

Keywords: microgranulated fertilizer, soil, nitrogen, phosphorus, potassium, mineral fertilizer, yield.

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

Вступ. Соняшник (*Helianthus annuus* L.) належить до родини айстрових і є однією з найважливіших олійних рослин у світі. З сім'янок цього виду отримують олію, а побічну продукцію використовують на корм. Збільшення посівних площ соняшнику здебільшого є результатом зміни клімату та економічної ситуації. Однак бракує нової інформації щодо оптимального внесення добрив під соняшник у зоні Лісостепу західного, де він поступово завойовує більші посівні площі в господарствах.

Серед агротехнологічних заходів, що спрямовані на підвищення врожайності, особливе значення має забезпечення рослин необхідними елементами живлення в найбільш критичні фази їхнього розвитку [17, 18, 21, 23]. Живлення рослин відіграє основну роль у процесі формування врожаю та визначає якість аграрної продукції, зокрема соняшнику, на всіх етапах його вегетаційного розвитку. На ранніх етапах росту, соняшник, розвивається досить повільно, що робить цей період критичним для подальшого

формування врожаю. Важливу роль відіграє вологозабезпеченість, вміст елементів живлення та їх доступність для насіння, які забезпечують дружні сходи та подальший розвиток культури [1, 4, 5, 7, 15].

Вирощування соняшнику є економічно вигідним, однак потребує врахування низки технологічних аспектів, обумовлених біологічними характеристиками рослини. Ця культура відзначається високою вимогливістю до родючості ґрунтів, оскільки формує значну біомасу, що супроводжується інтенсивним поглинанням макро- та мікроелементів. Для утворення 1 ц зерна, соняшник споживає близько 6 кг азоту, 2,6 кг фосфору та 18,5 кг калію. Поглинання рослиною поживних елементів залежить від низки чинників, зокрема від термінів і способів внесення добрив, рівня вологи в ґрунті, погодних умов, а також генетичних характеристик сорту або гібриду [6].

Живлення соняшника можна поділити на три основні фази. Перша охоплює період від сходів до формування кошика, коли рослина активно засвоює фосфор, а азот і калій споживаються в помірних кількостях. Друга фаза – від початку формування кошика до цвітіння, коли культура інтенсивно поглинає всі необхідні елементи. Третій етап починається з цвітіння і триває до дозрівання насіння, коли потреба в азоті й фосфорі зменшується, а в калії зростає. Проте питання мінерального живлення соняшника в нових зонах промивного та напівпромивного зволоження, зокрема щодо азоту, фосфору, калію і сірки, ще залишаються недостатньо вивченими [3, 16].

У своїх дослідженнях С. П. Танчик та Л. В. Центило [11] рекомендують варіант внесення мінеральних добрив у нормі $N_{90}P_{90}K_{90}$, бо використання вищих доз мінеральних добрив у досліді є невиправданим як з екологічної думки, так і з позицій економічної доцільності.

Дослідження О. В. Курач, Л. Я. Лукашук та В. В. Першута [7],

показали, що в умовах Західного Полісся найвищих показників урожайності соняшнику вдається досягти за внесення мінеральних добрив у дозі $N_{90}P_{60}K_{120}$.

Потреба в поживних речовинах у соняшника у фазі цвітіння загальновідома [4–6, 18]. У цей період спостерігаємо підвищену потребу в азоті, який забезпечує синтез білків та бере участь у стимулюванні ростових процесів, а також у фосфорі, що сприяє енергетичному обміну та закладанні генеративних органів. Не менш важливим є калій, який регулює водний баланс рослин, покращує транспорт асимілятів до репродуктивних органів та підвищує стійкість до абіотичних стресів, зокрема посухи та високих температур. Дефіцит калію у фазі цвітіння може призвести до зниження тургору клітин, що негативно впливає на стійкість рослин до несприятливих умов та зменшує ефективність транспорту поживних речовин до кошика. Це може спричинити нерівномірний розвиток квіток, що надалі знижує відсоток зав'язі та збільшує кількість пустозерних насінин.

З огляду на високу інтенсивність фізіологічних процесів у фазі цвітіння, внесення мінеральних добрив, які містять оптимальні пропорції азоту, фосфору та калію, є необхідним агротехнічним заходом для забезпечення високої продуктивності культури. Таким чином, фаза цвітіння визначає потенціал майбутнього врожаю, а забезпечення соняшника достатньою кількістю поживних речовин у цей період є запорукою високої продуктивності культури, покращення якісних характеристик насіння та підвищення його олійності [6, 18].

У ході агрохімічних спостережень, реалізованих Н. І. Веогою та ін. [3, 9, 12] у районі Пасмового Побужжя (Західний Лісостеп), було встановлено, що дозоване внесення мінеральних добрив істотно впливає на рівень легкогідролізного азоту в темно-сірому опідзоленому ґрунті при вирощуванні ячменю ярого. За результатами досліджень, при застосуванні норм $N_{60}P_{45}K_{45}$ та $N_{60}P_{60}K_{60}$ фіксувалося

істотне збільшення вмісту цієї форми азоту в орному шарі ґрунту – на 42–43 мг/кг та 50–55 мг/кг відповідно у порівнянні з контролем. Аналогічні тенденції виявив І. П. Поліщук [12], який у північній частині Лісостепу України встановив, що дворазове внесення мінеральних добрив у співвідношеннях $N_{50}P_{50}K_{100}$ і $N_{20}P_{20}K_{20}$ призводило до підвищення концентрації легкогідролізованого азоту на 20 % у порівнянні з неудобреним варіантом. Результати дослідження проведені В. А. Мазуром, І. М. Дідуром та ін. [15] в умовах дослідного поля ВНАУ, розташованого в с. Агрономічне, показують, що найвищий рівень урожайності було зафіксовано за внесення 180 кг/га азотних добрив. Подальше збільшення норми призводило до надмірного розвитку вегетативної маси, що зміщувало фізіологічний баланс рослин у бік вегетативного, а не генеративного

росту, й, відповідно, не забезпечувало додаткового приросту врожаю.

В районі Пасмowego Побужжя Лісостепу Західного досі не проводили ґрунтові дослідження щодо мінерального живлення соняшника, який останніми роками активно розширює свої посівні площі в регіоні.

Мета наших досліджень з'ясувати вплив удобрення із додаванням за різних норм і форм внесення на динаміку вмісту елементів живлення у ґрунті, рослині та їх вплив на продуктивність соняшника.

Матеріали і методи. У 2023–2024 рр. на базі ННЦ ЛНУП (з 01.03.2025 р. ННЦ ЛНУВМБ ім. С. З. Гжицького) було проведено польові дослідження, щодо вивчення форм та норм припосівного внесення добрив під соняшник. Схему досліду подано у таблиці 1.

1. Схема польового досліду з вивчення впливу припосівного удобрення мікрогранульованими добривами на врожай насіння соняшнику

№	Зміст варіанту	Форма добрив (фізична вага, кг/га)	Загальна норма діючої речовини
1	Контроль – без удобрення	–	–
2	Фон – $N_{15}P_{15}K_{15}$	НАФ* (400)	$N_{60}P_{60}K_{60}$
3	Без фону + $N_{10}P_{46} + S_5$	АФ** (22)	$N_{2,2}P_{10,1} + S_{1,1}$
4	Без фону + $N_{10}P_{46} + S_5$	АФ (44)	$N_{4,4}P_{20,2} + S_{2,2}$
5	Без фону + $N_{11}P_{47} + S_5$	МГД*** (20)	$N_{2,2}P_{9,4} + S_1$
6	Без фону + $N_{11}P_{47} + S_5$	МГД (40)	$N_{4,4}P_{18,8} + S_2$
7	Фон + $N_{10}P_{46} + S_5$	НАФ (400) + АФ (22)	$N_{62,2}P_{70,1}K_{60} + S_{1,1}$
8	Фон + $N_{10}P_{46} + S_5$	НАФ (400) + АФ (44)	$N_{64,4}P_{80,2}K_{60} + S_{2,2}$
9	Фон + $N_{11}P_{47} + S_5$	НАФ (400) + МГД (20)	$N_{62,2}P_{69,4}K_{60} + S_1$
10	Фон + $N_{11}P_{47} + S_5$	НАФ (400) + МГД (40)	$N_{64,4}P_{78,8}K_{60} + S_2$

Примітка: *НАФ – нітроамофоска (гранули, до 4 мм) $N_{15}P_{15}K_{15}$ під передпосівну культивування в нормі 400 кг/га згідно схеми досліду;

**АФ – амофос із сіркою (гранули, до 5 мм) $N_{10}P_{46} + S_5$ при сівбі в нормі 22 та 44 кг/га згідно схеми досліду;

***МГД – мікрогранульоване добриво, мікрогранули UltraStart (мікрогранули 0,5–1,5 мм) $N_{11}P_{47} + S_5$ при сівбі в нормі 20 та 40 кг/га згідно схеми досліду.

Соняшник вирощували за традиційною для даної зони технологією. Дослідне поле знаходиться у м. Дубляни геоморфологічному районі Пасмowego Побужжя природо-кліматичної зони Західного Лісостепу: N 49 54'14"; E 24 05'10".

За ґрунтово-екологічним районуванням: у зоні Західного Лісостепу,

вологої підзони, зимово-холодно-теплої фації, помірно вологій у першу і достатньо зволоженої у другу частини вегетаційного та добре гумідній у холодний період провінції, рівнинного педооротопу [13].

Облікова ділянка мала площу 20 м². Дослідні ділянки розташовувалися за рандомізованою схемою з триразовим повторенням. Рельєф дослідної ділянки –

рівнина. Структура ґрунту – грудкувата. Ґрунт – темно-сірий лісовий опідзолений легкосуглинковий слабогумусований – Greyic Luvic Phaeozem [13]. Агрохімічний аналіз ґрунту показав вміст гумусу на рівні 2,3 %, низьке забезпечення легкогідролізним азотом (за Корнфілдом) – 115 мг/кг, середній рівень рухомого фосфору – 90 мг/кг та обмінного калію – 100 мг/кг (за Чириковим). Реакція ґрунтового розчину (рН_{KCl}) становила 5,9. Сума ввібраних основ становила 22,0–22,7 ммоль/100 г ґрунту. Польові дослідники закладали за традиційною методикою в агрономії, описаною В. О. Єщенком та ін. [11].

Згідно з планом досліджень, перед закладанням дослідів, до сівби, у період вегетації, у фазі цвітіння та після збирання урожаю було відібрано ґрунтові зразки з горизонту 0–20 см.

Аналізи проводили в Інституті сільського господарства Карпатського регіону НААН. Відібрання та підготовка проб ґрунту до аналізів здійснювалися відповідно до вимог ДСТУ ISO 11464:2001.

Статистичний аналіз даних провели за допомогою MS Excel, Statistica 12, Dispersion.exe.

Результати та обговорення. На початку дослідження нами були зроблені агрохімічні аналізи орного шару темно-сірого опідзоленого ґрунту, результати яких потрапляють у діапазони параметрів, раніше встановлених багатьма авторами [3, 8–10, 12]. Попри те, що аналізи ґрунту та листового матеріалу проводили упродовж усієї вегетації культури, у своїй статті ми вирішили звернути увагу на фазі цвітіння соняшника, яка є найкритичнішим періодом органогенезу, оскільки саме в цей час відбувається формування генеративних органів, запилення та початковий етап наливання насіння. Будь-які стресові фактори у цій фазі, зокрема дефіцит елементів мінерального живлення, можуть значно вплинути на ефективність цих процесів, що надалі визначатиме рівень урожайності та якісні характеристики врожаю.

Дослідження показали, що без внесення добрив рівень легкогідролізного азоту в ґрунті становив 92–95 мг/кг (рис. 1, вар. 1). Використання нітроаммофоски (N₆₀P₆₀K₆₀), як фону, сприяло підвищенню вмісту даного елемента до 123–125 мг/кг у верхньому 20-сантиметровому шарі, однак на період збирання врожаю його запаси зменшувалися до 102 мг/кг (вар. 2, рис. 1).

Мікрогранульовані добрива (вар. 5 та 6, рис. 1) істотно підвищили вміст легкогідролізного азоту в ґрунті, який у фазі цвітіння становив 114–115 мг/кг. Найвищий рівень легкогідролізного азоту у цій фазі, а саме 132–138 мг/кг, досягнуто завдяки поєднанню фонового внесення нітроаммофоски (N₆₀P₆₀K₆₀) та мікрогранульованого добрива (вар. 9 та 10, рис. 1). Водночас на момент збирання врожаю його запаси в ґрунті стрімко знизилися і становили 96–94 мг/кг, що свідчить про ефективне використання добрив для підвищення врожайності.

Як свідчать результати досліджень А. В. Бикіна та І. П. Поліщука [2, 12], упродовж вегетаційного циклу спостерігається поступове виснаження темно-сірого опідзоленого ґрунту Північного Лісостепу внаслідок зменшення вмісту легкодоступних форм фосфору (P₂O₅) за умов відсутності мінерального живлення, що, в окремих випадках, призводить до втрати 5–8 % його загального резерву до завершення фази вегетації. Науковці дійшли висновку, що систематичне застосування мінеральних добрив сприяє підвищенню рівня фосфатного забезпечення орного шару ґрунту, що в окремих випадках може досягати приросту до 10 % порівняно з неудобреним варіантом, та забезпечує перехід ґрунту до категорії високої фосфатної насиченості.

У серії польових дослідів, здійснених В. І. Лопушняком та Н. І. Вегою впродовж 2013–2015 рр. на території Пасмового Побужжя [8], було встановлено, що за умов внесення добрив у дозах N₃₀P₃₀K₃₀ та N₄₅P₃₀K₃₀ під культуру ярого ячменю спостерігалось істотне збільшення вмісту

рухомих фосфатів у верхньому горизонті ґрунтового профілю – на 24 та 35 мг/кг відповідно. Подальше зростання дозування добрив спричинило ще помітніше перевищення вмісту фосфатів над контролем – на 32 та 41 мг/кг. Максимальні

значення рухомих форм фосфору – 124 мг/кг ґрунту були зафіксовані у варіанті з живленням $N_{60}P_{45}K_{45}$, що демонструвало приріст на 42 мг/кг відносно контролю, або ж на 51 % у відсотковому співвідношенні.

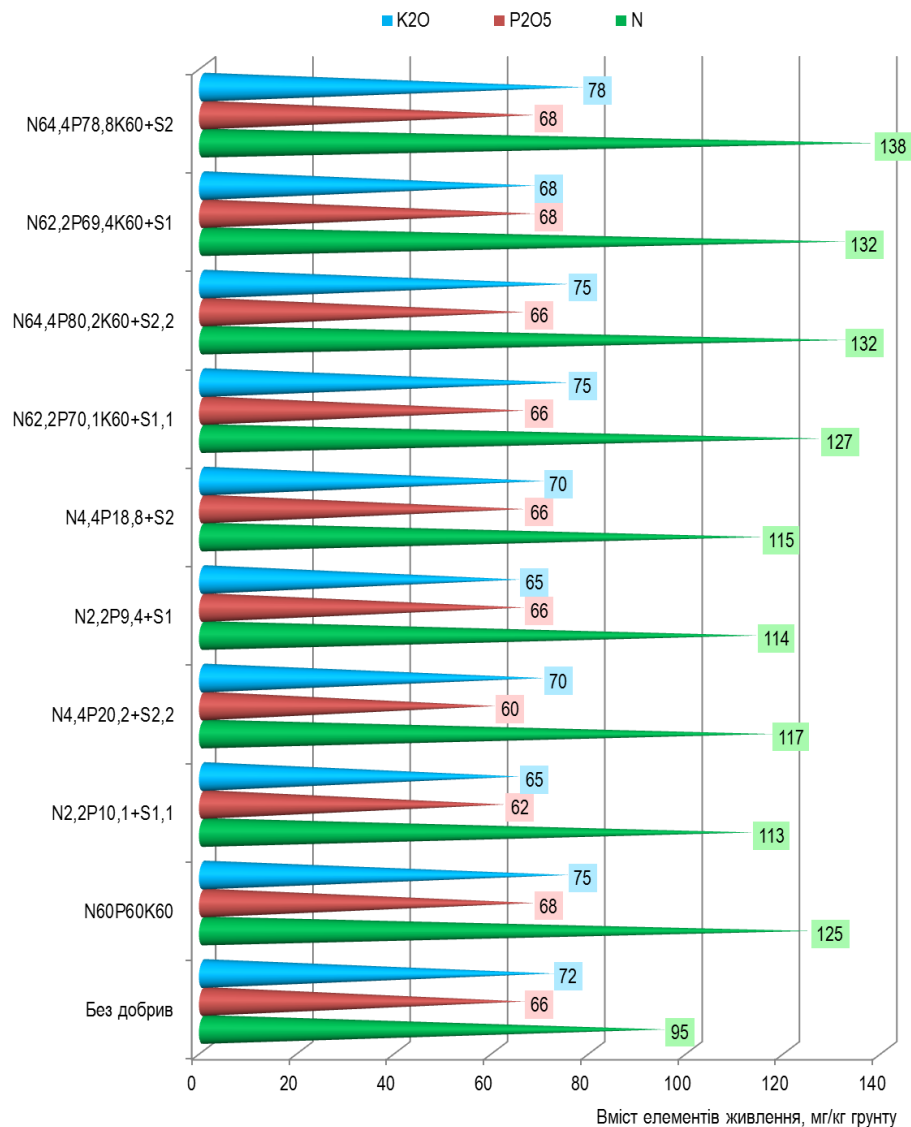


Рис. 1. Вплив норм і форм мінеральних добрив на ресурси легкогідролізного азоту, рухомих фосфатів та обмінного калію у фазі сояшника ВВСН 65, мг/кг ґрунту ($p < 0,05$) (зміст варіантів подано у табл. 1)

Наростання біомаси сояшника супроводжувалося виснаженням фосфору в ґрунті. На момент закладання досліду, вміст фосфору у ґрунті становив 62–66 мг/кг. Максимальні концентрації цього елемента у фазі цвітіння спостерігалися у варіантах із додатковим рядковим внесенням амофосу чи

мікрогранульованих добрив (вар. 7–10, рис. 1).

На початку вегетації сояшник мав значну потребу у фосфорі, тому додаткове рядкове удобрення значно підвищувало його доступність у фазах розвитку листків і цвітіння. Застосування мікрогранульованих добрив сприяло підвищенню рівня фосфору

на 0,20 мг/кг порівняно з амофосом та на 0,10 мг/кг порівняно з фоновим удобренням.

Як підтверджено у працях А. В. Бикіна та І. П. Поліщука [2], систематичне внесення добрив сприяє суттєвому покращенню калійного режиму темно-сірого опідзоленого ґрунту. Зокрема, у процесі вегетації рослин за умов удобрення зафіксували стабільне зростання вмісту обмінного калію в орному горизонті: до 17 % – на початку вегетаційного періоду,

до 20 % – у фазі появи 6–8 листків, до 11 % – у фазі 9–10 листків, та до 30 % – на етапі технічної стиглості у порівнянні з контролем. Стартові показники на неудобреному фоні відповідали низькому рівню калійного забезпечення, тоді як під впливом добрив рівень цього показника досягав середніх значень. Подібну динаміку підтверджує також дослідницький матеріал, наведений О. В. Шевчуком [16].

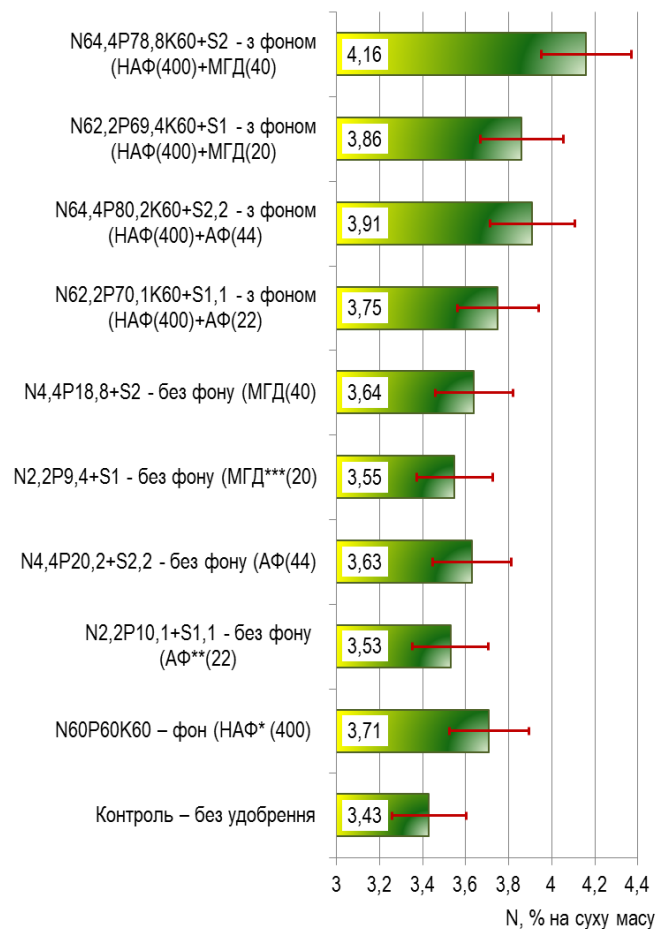


Рис. 2. Вплив норм і форм мінеральних добрив на вміст загального азоту в листках соняшника у фазі BBCH 65, % на суху масу

При закладанні досліду, вміст обмінного калію у ґрунті становив 70–73 мг/кг. Найнижчий рівень обмінного калію у фазі цвітіння становив 65 мг/кг (вар. 3, рис. 1). Протягом вегетації соняшник засвоював калій у межах 36–41 мг/кг, залежно від схеми удобрення. У варіантах без внесення калію до моменту збору врожаю його запаси значно

скорочувалися і становили 61–62 мг/кг. Отже, калійне удобрення сприяло підтримці достатнього рівня цього елемента в ґрунті. Водночас інтенсивне внесення азоту й фосфору пришвидшувало виснаження калію, що необхідно враховувати при плануванні системи живлення соняшника.

Наші дослідження показують, що застосування різних норм і форм добрив істотно змінює вміст азоту, фосфору та калію в листках культури, що є важливими показниками її фізіологічного стану та майбутньої врожайності. Результати аналізу свідчать, що найбільший вміст загального азоту у листках соняшника, а саме 4,16 % спостерігаємо у варіанті 10, рис. 2. Це пояснюється тим, що поєднання комплексного мінерального добрива з додатковими мікрогранулами сприяє більш ефективному засвоєнню азоту кореневою

системою та його подальшому транспортуванню у вегетативні органи рослин.

Подібну ефективність демонструє варіант 8, рис. 2, у якому вміст азоту досягає 3,91 %. Це підтверджує, що поєднання макроелементів, зокрема азоту та фосфору, у збалансованій формі сприяє кращому азотному живленню соняшника. Водночас контрольний варіант, де добрива не вносилися, має найнижчий показник (3,43 %).

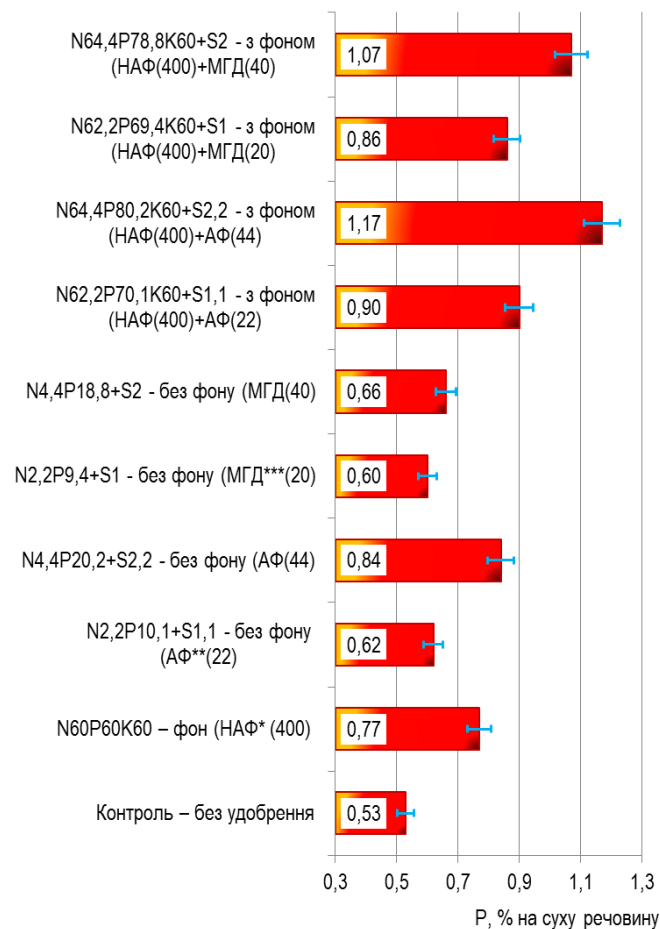


Рис. 3. Вплив норм і форм мінеральних добрив на вміст фосфору в листках соняшника у фазі ВВСН 65, % на суху масу

Щодо фосфорного живлення, найвищий вміст цього елемента (1,17 %) у листках спостерігаємо у варіанті 8, рис. 3. Це показує високу ефективність амофосу в поєднанні з нітроамофоскою, що забезпечує підвищене накопичення фосфору у вегетативних органах. Високі показники також зазначаємо у варіанті 10,

рис. 3 (1,07 %), що вказує на позитивний вплив мікрогранульованих добрив на фосфорне живлення соняшника. Контрольний варіант, у якому добрива не застосовували, показав найнижчі рівні засвоєння як азоту (3,43 %), так і фосфору (0,53 %), що свідчить про недостатнє забезпечення культури необхідними

елементами живлення за умов природної родючості ґрунту.

Результати досліджень підтверджують доцільність використання мінеральних добрив у вирощуванні соняшника. Оптимальними варіантами з погляду збалансованого живлення є поєднання нітроамофоски з

мікрогранульованими добривами та нітроамофоски з амофосом, що забезпечують максимальне засвоєння азоту та фосфору. Це дозволяє закласти потенційну основу високої врожайності культури.

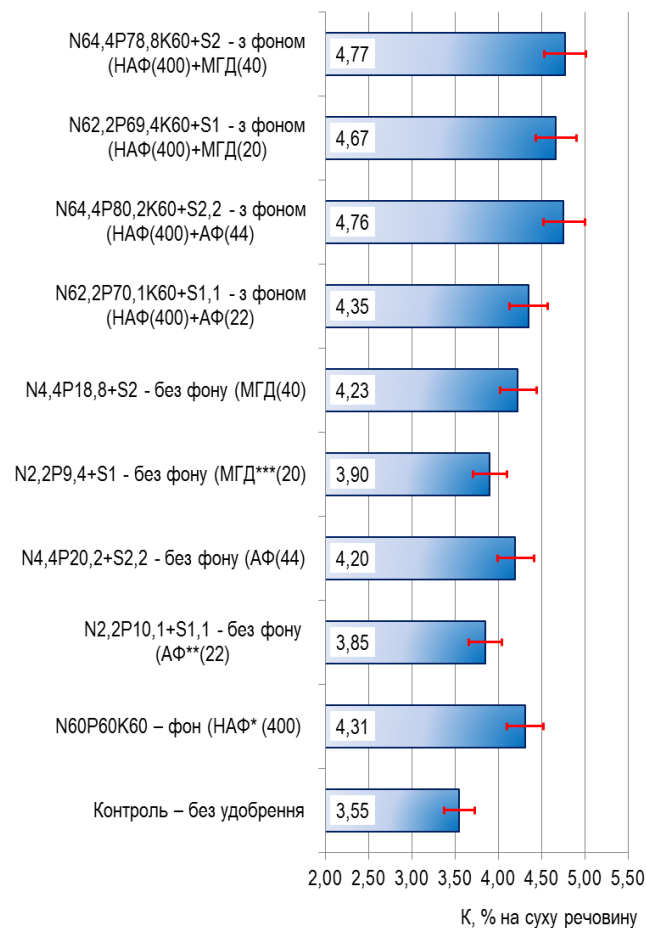


Рис. 4. Вплив норм і форм мінеральних добрив на вміст калію в листках соняшника у фазі ВВСН 65, % на суху масу

Аналізуючи вплив норм і форм мінеральних добрив на вміст загального азоту та фосфору в листках соняшника, можна виявити чітку закономірність: зі збільшенням рівня азоту у рослинах підвищується і вміст фосфору. Це пояснюємо тим, що ці два елементи тісно зв'язані у процесах метаболізму, беручи участь у синтезі білків, енергетичних процесах і загальному рості культури. Таким чином, оптимальні результати досягнуто при застосуванні комплексних добрив, особливо поєднання

нітроамофоски з мікрогранульованими формами або амофосом. Це свідчить про необхідність збалансованого внесення основних елементів живлення, адже дефіцит одного з них може обмежувати ефективно засвоєння іншого.

Проаналізувавши результати впливу норм і форм мінеральних добрив на вміст калію в листках соняшника у фазі цвітіння (рис. 4) спостерігаємо виражену залежність між рівнем забезпечення рослин поживними елементами та концентрацією калію в рослинних тканинах.

Контрольний варіант (вар. 1) показав найнижчий вміст калію – 3,55 % на суху речовину, що підтверджує недостатність цього елемента в природному ґрунтовому середовищі без додаткового живлення. Внесення лише нітроамофоски (вар. 2) сприяло підвищенню вмісту калію до 4,31 %, що пояснюється загальним покращенням поживного режиму рослин та активізацією кореневої системи. Комбінація нітроамофоски з амофосом (вар. 3–4) забезпечила вміст калію в межах 3,85–4,20 %. Внесення тільки мікрогранульованого добрива при сівбі (вар. 5–6) забезпечило вміст калію в діапазоні 3,90–4,23 %, що свідчить про позитивний вплив на формування

кореневої системи й тим самим забезпечує більший діапазон для живлення калієм. Максимальні показники вмісту калію (4,76–4,77 %) отримані при поєднанні нітроамофоски із мікрогранульованим добривом чи амофосом у нормі 40 та 44 кг/га відповідно (вар. 8 і 10).

Результати дослідження вказують на доцільність застосування комплексного удобрення з використанням мікрогранульованих добрив, оскільки це сприяє максимальному накопиченню калію в листках соняшника, що особливо важливо у фазі цвітіння, та може мати позитивний вплив на загальний рівень продуктивності культури.

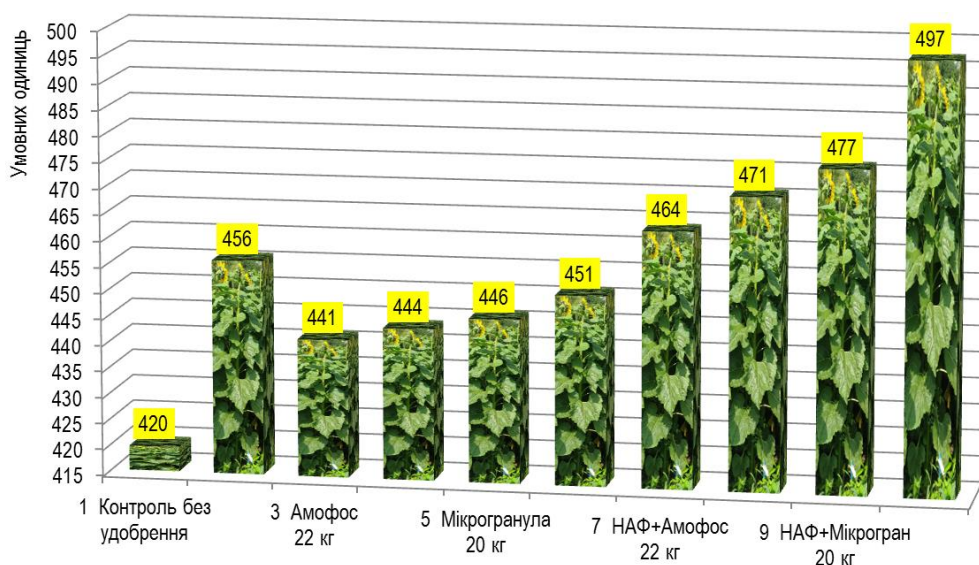


Рис. 5. Результати вимірювання активності хлорофілу приладом Yara N-Tester™ у фазі цвітіння (ВВСН 65), в умовних одиницях (НІР₀₅ абсол. = 3,69 ум. од.)

Активність хлорофілу є ключовим показником фізіологічного стану рослин, оскільки вона безпосередньо відображає рівень фотосинтетичної активності та забезпеченість рослин азотом. Вищий рівень хлорофілу свідчить про інтенсивніший фотосинтез, що сприяє більш активному росту, накопиченню біомаси та, зрештою, підвищенню врожайності. Зниження цього показника може сигналізувати про дефіцит азоту або інших елементів живлення, що обмежує продуктивність рослин. Вимірювання активності хлорофілу приладом Yara N-

Tester™ дозволяє оперативно оцінювати потребу рослин у добривах і коригувати стратегію удобрення для досягнення максимальної ефективності.

Аналіз отриманих результатів (рис. 5) показує, що найефективнішими варіантами є ті, що поєднують нітроамофоску із мікрогранульованими добривами (вар. 9, 10), оскільки вони забезпечують максимальний рівень активності хлорофілу. Це підтверджує важливість комплексного підходу до живлення рослин, де мікрогранульовані добрива забезпечили активний ріст і розвиток рослин соняшника

на початкових етапах вегетації, що в кінцевому результаті сприяє збільшенню фотосинтетичної активності. Застосування лише амофосу показало значно слабший ефект, що свідчить про його обмежену дію на рівень хлорофілу. Це підтверджує важливість комплексного внесення добрив

для оптимізації фотосинтетичної діяльності та підвищення врожайності.

Статистичний аналіз зв'язків між вмістом макроелементів у ґрунті та листках соняшника у фазі цвітіння (ВВСН 65), показав істотну взаємозалежність між азотом, фосфором і калієм (табл. 2).

2. Кореляції вмісту поживних елементів у листках та ґрунті у фазі цвітіння (ВВСН 65), $r \pm$

Показники	Листки, мг/кг			Ґрунт, мг/кг	
	N	P	K	P	K
N в ґрунті	0,82	0,75	0,87	0,84	0,82
P у ґрунті	0,87	0,81	0,87	X	0,98
K у ґрунті	0,81	0,76	0,82	–	X
N у листках	X	0,88	0,93	–	–
P у листках	–	X	0,91	–	–

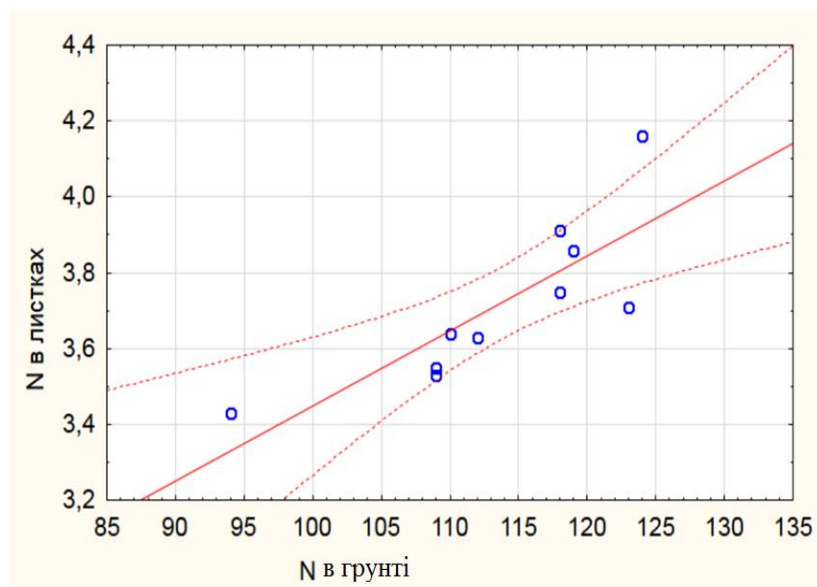


Рис. 6. Зв'язок вмісту загального азоту в листках соняшника з ресурсами легкогідролізного азоту в ґрунті (0–20 см) у фазі ВВСН 65, $r = 0,82$

Вміст легкодоступного азоту в ґрунті тісно позитивно корелює з його концентрацією у листках ($r = 0,82$), що вказує на активне поглинання цього елемента рослиною (рис. 6). З'ясування такого зв'язку є важливим для розробки рекомендацій щодо азотного живлення соняшника, зокрема для коригування норм внесення азотних добрив, з метою досягнення оптимальних результатів врожайності та якості продукції.

Крім того, статистично встановлено тісний зв'язок між азотом у ґрунті та

вмістом фосфору ($r = 0,75$) і калію ($r = 0,87$) у листках, що може свідчити про стимулювальний ефект азотного живлення на засвоєння інших макроелементів. Фосфор ґрунту теж тісно корелює з його вмістом у листках ($r = 0,81$), що підтверджує його активне надходження у рослини. Тісна кореляція між рівнем фосфору в ґрунті та вмістом азоту ($r = 0,88$) і вельми тісна для калію ($r = 0,93$) у листках вказує на їхню підсилювальну дію у метаболічних процесах і синергетичний вплив на ріст і розвиток рослин. Калій у

грунті також має тісний зв'язок із його концентрацією у листках ($r = 0,82$), що свідчить про його активне засвоєння. Особливо важливою є вельми тісна кореляція між фосфором і калієм у ґрунті ($r = 0,98$), що вказує на їхню взаємну динаміку у процесах міграції та доступності для рослин.

Статистичний аналіз зв'язків між макроелементами у листках показало вельми тісний рівень взаємозалежності між

фосфором і калієм ($r = 0,91$), що підтверджує їхню ключову роль у процесах живлення та підтриманні іонного балансу в рослинних тканинах.

Зв'язок між вмістом загального азоту в листках соняшника та ресурсами рухомих фосфатів у ґрунті ($r = 0,87$) свідчить про тісний позитивний зв'язок між процесом асиміляції та ґрунтовими ресурсами елементів живлення (рис. 7).

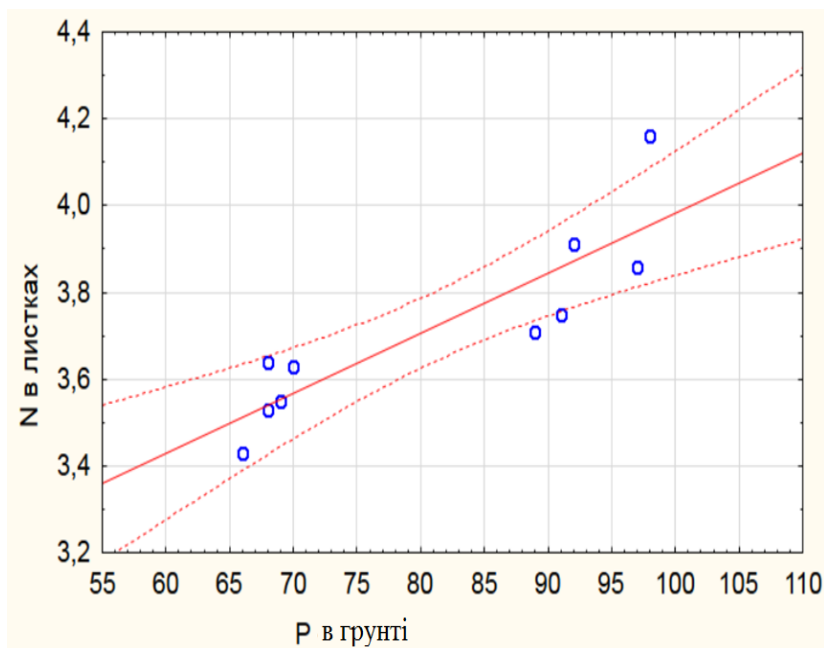


Рис. 7. Зв'язок вмісту загального азоту в листках соняшника з ресурсами рухомих фосфатів в ґрунті (0–20 см) у фазі ВВСН 65, $r = 0,87$

Це означає, що з підвищенням вмісту рухомих фосфатів у ґрунті збільшується вміст азоту в листках. Рухомі фосфати є важливим елементом живлення рослин, оскільки фосфор відіграє ключову роль у процесах енергетичного обміну та утворенні протеїнів, що впливає на загальний вміст азоту в рослині. Тісний позитивний зв'язок між вмістом фосфатів у ґрунті та азоту в листках свідчить про те, що на достатньому рівні фосфорного живлення соняшник краще засвоює азот, що підвищує активність фізіологічних процесів.

Зв'язок між вмістом загального азоту в листках соняшника та ресурсами

обмінного калію в ґрунті ($r = 0,81$) свідчить про тісний позитивний зв'язок між цими двома параметрами (рис. 8). Це означає, що з підвищенням вмісту обмінного калію в ґрунті зростає рівень загального азоту в листках соняшника. Калій є важливим елементом живлення, який регулює водно-сольовий баланс, синтез білків і ферментів, а також активує багато метаболічних процесів, що сприяють засвоєнню азоту. Підвищення доступності калію в ґрунті допомагає рослинам краще використовувати азот, що позитивно позначається на їхньому рості та розвитку.

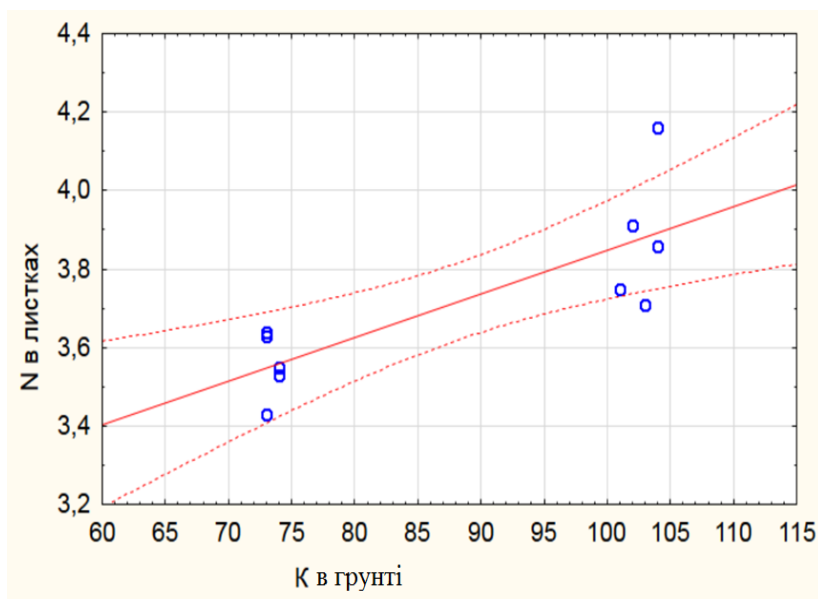


Рис. 8. Зв'язок вмісту загального азоту в листках соняшника з ресурсами обмінного калію в ґрунті (0–20 см) у фазі ВВСН 65, $r = 0,81$

Основним доказом ефективності добрив та оптимальних концентрацій поживних речовин у ґрунті є їхній вплив на кінцевий результат росту та розвитку соняшника – врожай зерна. На темно-сірому лісовому опідзоленому легкосуглинковому середньогумусованому ґрунті, за умов варіації погодних факторів років, можна отримати врожай зерна в межах до 3 т/га без застосування мінеральних добрив.

Основне внесення нітроамофоски в дозі $N_{60}P_{60}K_{60}$ перед сівбою було прийнято за виробничий контроль, при якому було отримано врожай 3,73 т/га зерна ($НІР_{05} = 0,14$ т/га). Відсутність основного внесення добрив при використанні рядкового внесення амофосу, збагаченого сіркою (вар. 3), призвела до зниження врожайності на 0,5–0,7 т/га. Це зниження, ймовірно, обумовлене зменшенням доступних елементів живлення в ґрунті у фазі цвітіння, що свідчить про погіршення умов для кореневого живлення соняшника. Система удобрення з використанням амофосу (вар. 4) мала незначний вплив на покращення ресурсу рухомого фосфору в ґрунті й відповідно урожайність була на 0,4–0,5 т/га меншою за наш контрольний варіант. Застосування мікрогранульованих добрив без основного внесення добрив (вар.

5 та 6) значно покращувало азотно-фосфорний баланс ґрунту, що призвело до збільшення врожаю на 0,26 т/га порівняно з використанням амофосу, і водночас на 0,15 та 0,20 т/га менше ніж у контрольному варіанті. Високий рівень врожайності зерна був досягнутий на фоні основного внесення нітроамофоски ($N_{60}P_{60}K_{60}$), як при внесенні амофосу, так і мікрогранульованого добрива. Найвищий урожай у досліді склав 4,35 т/га на варіанті 10.

Висновки

Внесення мінеральних добрив з оптимальними пропорціями азоту, фосфору та калію значно підвищує ефективність мінерального живлення соняшника. Було встановлено, що застосування мікрогранульованих добрив та комбінації з нітроамофоскою НАФ (400 кг/га + МГД (20 кг/га) та НАФ (400 кг/га) + МГД (40 кг/га)) є найбільш ефективними для підвищення вмісту легкогідролізного азоту, фосфору та калію в ґрунті (рівень легкогідролізного азоту становив 132–138 мг/кг, значення рухомих форм фосфору близько 68 мг/кг та обмінного калію на рівні 68–78 мг/кг ґрунту), що сприяє кращому живленню соняшника у критичний період цвітіння. Також у цих варіантах фіксуємо найвищий вміст макроелементів у листка, а саме вміст

азоту – 4,16 %, фосфору – 1,17 та калію – 4,77 %.

Отримані результати дослідів свідчать, що найбільш дієвими виявилися комбінації нітроамофоски з мікрогранульованими добривами, оскільки саме вони спричинили найвищу оптичну активність хлорофілу. Показники тестера Yara N-Tester™ у фазі цвітіння (BVCH 65) на варіантах з максимальною асиміляцією азоту становили 471; 477 та 497 умовних одиниць відповідно. Це доводить ефективність інтегрованої системи живлення, за якої мікрогранули стимулювали енергійний стартовий ріст соняшнику, що згодом позитивно відобразилося на фотосинтетичних процесах.

Встановлено тісні кореляції між вмістом макроелементів у ґрунті та їх

концентрацією в листках соняшника ($r = 0,75-0,93$). Особливо виражені синергетичні взаємозв'язки між фосфором і калієм як у ґрунті ($r = 0,98$), так і в листках ($r = 0,91$), що вказує на їхню спільну участь у живленні та метаболізмі.

Слід врахувати, що мікрогранульовані добрива позитивно починають діяти вже на початкових фазах росту і розвитку соняшника через кілька важливих факторів. Завдяки своїй дрібній грануляції, вони швидко розчиняються у вологому ґрунті, що дозволяє від початку вегетації закладати добру метаболічну базу з елементів живлення для проходження критичних етапів онтогенезу. Мікрогранульовані добрива знижують ризик втрати поживних елементів через вимивання або звітрювання.

Список використаної літератури

1. Баранський Д. В. Вирощування соняшнику за коливання клімату та вологозабезпеченості в умовах Лісостепу Західного. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія: Агрономія*. 2024. № 28. С. 57–66. <https://doi.org/10.31734/agronomy2024.28.057>.
2. Бикін А. В., Поліщук І. П. Вплив добрив на агрохімічні показники темно-сірого лісового ґрунту та продуктивність моркви столової. *Науковий вісник НАУ*. 2000. Вип. 32. С. 185–188.
3. Вега Н. І. Зміна вмісту лужногідролізованого азоту в темно-сірому опідзоленому ґрунті під впливом мінерального удобрення ячменю ярого. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2015. Вип. 83. С. 100–104. http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrohimigrn_2015_83_19.
4. Гарбар Л. А., Кнап Н. В. Ефективність удобрення в технології вирощування соняшнику. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2020. Том 11. № 4. С. 14–25. <https://doi.org/10.31548/agr2020.04.014>.
5. Ефективність удобрення у формуванні продуктивності соняшнику / Л. А. Гарбар та ін. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2021. Том 12. № 1. С. 28–38. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/agr2021.01.028>.
6. Коваленко А. Оптимізація мінерального живлення соняшнику. *Журнал Пропозиція*. 2016. № 6. С. 62–64. URL: <https://propozitsiya.com/ua/optimizaciya-mineralnogo-zhivlennya-sonyashniku>.
7. Курач О. В., Лукашук Л. Я., Першута В. В. Вплив доз мінерального удобрення та стимуляторів росту на продуктивність гібридів соняшнику. *Вісник*

References

1. Baranskyi D. V. Growing sunflowers under fluctuating climate and moisture conditions in the Western Forest-Steppe. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu pryrodokorystuvannia. Seriya: Ahronomiia*. 2024. No. 28. P. 57–66. <https://doi.org/10.31734/agronomy2024.28.057>.
2. Bykin A. V., Polishchuk I. P. The effect of fertilizers on agrochemical parameters of dark gray forest soil and productivity of table carrots. *Naukovyi visnyk NAU*. 2000. Issue 32. P. 185–188.
3. Veba N. I. Change in the content of alkaline hydrolyzed nitrogen in dark gray podzolized soil under the influence of mineral fertilization of spring barley. *Ahrokhimiia i gruntoznavstvo*. 2015. Issue 83. P. 100–104. http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrohimigrn_2015_83_19.
4. Harbar L. A., Knap N. V. Fertilizer efficiency in sunflower growing technology. *Roslynnytstvo ta gruntoznavstvo*. 2020. Vol. 11. No. 4. P. 14–25. <https://doi.org/10.31548/agr2020.04.014>.
5. The effectiveness of fertilizer in shaping sunflower productivity / L. A. Harbar et al. *Roslynnytstvo ta gruntoznavstvo*. 2021. Vol. 12. No. 1. P. 28–38. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/agr2021.01.028>.
6. Kovalenko A. Optimization of mineral nutrition of sunflower. *Zhurnal Propozitsiia*. 2016. No. 6. P. 62–64. URL: <https://propozitsiya.com/ua/optimizaciya-mineralnogo-zhivlennya-sonyashniku>.
7. Kurach O. V., Lukashchuk L. Ya., Pershuta V. V. The effect of doses of mineral fertilizer and growth stimulants on the productivity of sunflower hybrids. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2023. Vol. 101.

аграрної науки. 2023. Том 101. № 8. С. 12–19. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovvisnyk202308-02>.

8. Лопушняк В. І., Вега Н. І. Вплив рівня мінерального живлення ячменю ярого на вміст рухомих сполук фосфору в темно-сірому опідзоленому ґрунті Західного Лісостепу України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2015. Вип. 2. Том 1. Ч. 2. С. 30–37. <http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/1769/1/n85v2r2015t1lopushnyak.pdf>.

9. Лопушняк В., Поліухович М., Лагуш Н. Вплив систем удобрення на родючість темно-сірих опідзолених ґрунтів та продуктивність культур польової сівозміни Західного Лісостепу України. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2017. Вип. 51. С. 214–223. https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/07/021_Lopushniak_et_al.pdf.

10. Оптимізація азотного удобрення темно-сірого опідзоленого ґрунту Західного Лісостепу за використання інгібітора нітрифікації / П. С. Гнатів та ін. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С. З. Гжицького. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2023. Том 25. № 98. С. 167–176. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-a9828>.

11. Основи наукових досліджень в агрономії / В. О. Єщенко та ін. ; за ред. В. О. Єщенка. Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс і К». 2014. 332 с.

12. Поліщук І. П. Агрохімічна оцінка застосування добрив під моркву столову на темно-сірому опідзоленому ґрунті Північного Лісостепу України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.04. Київ, 2005. 19 с.

13. Полупан М. І., Величко В. А., Соловей В. Б. Розвиток українського агрономічного ґрунтознавства: генетичні та виробничі аспекти / за ред. д. с.-г. н. М. І. Полупана. Київ : Аграрна наука. 2015. 400 с.

14. Танчик С. П., Центило Л. В. Екологічні аспекти удобрення соняшнику за його вирощування на чорноземах типових в Правобережному Лісостепу України. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2018. № 286. С. 80–89. http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_agr_2017_269_12.

15. Формування продуктивності гібридів соняшника залежно від рівня удобрення та умов зволоження / В. А. Мазур та ін. *Сільське господарство та лісівництво*. 2020. № 19. С. 208–220. <http://forestry.vsau.org/storage/articles/February2021/ttCMNabumulkesnZhftI.pdf>.

16. Шевчук О. В. Поживний режим темно-сірого опідзоленого ґрунту та продуктивність сільськогосподарських культур за альтернативних систем удобрення в Західному Лісостепу України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.04. Київ, 2014. 17 с.

17. Are plant growth retardants a strategy to decrease lodging and increase yield of sunflower?

No. 8. P. 12–19. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovvisnyk202308-02>.

8. Lopushniak V. I., Veha N. I. The influence of the level of mineral nutrition of spring barley on the content of mobile phosphorus compounds in the dark gray podzolized soil of the Western Forest-Steppe of Ukraine. *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomoria*. 2015. Issue 2. Volume 1. Ch. 2. P. 30–37. <http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/1769/1/n85v2r2015t1lopushnyak.pdf>.

9. Lopushniak V., Poliukhovych M., Lahush N. The influence of fertilization systems on the fertility of dark gray podzolized soils and the productivity of field crop rotation crops in the Western Forest-Steppe of Ukraine. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya heohrafichna*. 2017. Issue 51. P. 214–223. https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/07/021_Lopushniak_et_al.pdf.

10. Optimization of nitrogen fertilization of dark gray podzolized soil of the Western Forest-Steppe using a nitrification inhibitor / P. S. Hnativ et al. *Naukovyi visnyk LNUVMB imeni S. Z. Gzhytskoho. Seriya: Silskohospodarski nauky*. 2023. Vol. 25. No. 98. P. 167–176. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-a9828>.

11. Fundamentals of scientific research in agronomy / V. O. Yeshchenko et al. ; za red. V. O. Yeshchenka. Vinnytsia : PP «TD «Edelweis i K». 2014. 332 p.

12. Polishchuk I. P. Agrochemical evaluation of fertilizer application for table carrots on dark gray podzolized soil of the Northern Forest-Steppe of Ukraine : avtoref. dys. ... kand. s.-h. nauk : 06.01.04. Kyiv, 2005. 19 p.

13. Polupan M. I., Velychko V. A., Solovei V. B. Development of Ukrainian agronomic soil science: genetic and production aspects / za red. d. s.-h. n. M. I. Polupana. Kyiv : Ahrarna nauka. 2015. 400 p.

14. Tanchyk S. P., Tsentylo L. V. Ecological aspects of sunflower fertilization when grown on chernozems typical of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy*. 2018. No. 286. P. 80–89. http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_agr_2017_269_12.

15. Formation of productivity of sunflower hybrids depending on the level of fertilization and moisture conditions / V. A. Mazur et al. *Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo*. 2020. No. 19. P. 208–220. <http://forestry.vsau.org/storage/articles/February2021/ttCMNabumulkesnZhftI.pdf>.

16. Shevchuk O. V. Nutrient regime of dark gray podzolized soil and crop productivity under alternative fertilization systems in the Western Forest-Steppe of Ukraine : avtoref. dys. ... kand. s.-h. nauk : 06.01.04. Kyiv, 2014. 17 p.

17. Are plant growth retardants a strategy to decrease lodging and increase yield of sunflower? / M. E. A. Carvalho et al. *Comunicata Scientiae*. 2016. 7 (1). 154–159. <https://doi.org/10.14295/cs.v7i1.1286>.

/ M. E. A. Carvalho et al. *Comunicata Scientiae*. 2016. 7 (1). 154–159. <https://doi.org/10.14295/cs.v7i1.1286>.

18. Ieremenko, O., Kalensky, S., & Kalytka, V. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) productivity under the effect of akm plant growth regulator in the conditions of the southern steppe of Ukraine. *Agricultural Science and Practice*, 2017. 4 (1), 11–19. <https://doi.org/10.15407/agrisp4.01.011>.

19. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. FAO. Rome. 2015. 106. URL: <http://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf>.

20. Linzmeier W., Gutser R., Schmidhalter U. The new nitrification inhibitor DMPP ENTEC allows increased N-efficiency with simplified fertilizing strategies, in: Horst et al. (Eds.), Proceedings of the 14th. Int. Plant Nutrition Colloquium. 2001. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. P. 760–761.

21. Miao, Y. F., Wang, Z. H. & Li, S. X. Relation of nitrate N accumulation in dryland soil with wheat response to N fertilizer. *Field Crops Res.* 2015. 170. 119–130. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.09.016>.

22. Pahlmann I. Using nitrification inhibitors in fertilization of rapeseed – Developing fertilization strategies under controlled and field conditions in German MSc Dissertation. *Bingen University of Applied Science*. 2008. 150 p.

23. Yeremenko, O., Kalenska, S. and Kalytka, V. Safflower Productivity Depending on Seed Treatment by AKM Plant Growth Regulator and Level of Mineral Nutrition. *Agriculture & Forestry*, 2018. 64, 65–72. <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.64.1.08>.

18. Ieremenko, O., Kalensky, S., & Kalytka, V. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) productivity under the effect of akm plant growth regulator in the conditions of the southern steppe of Ukraine. *Agricultural Science and Practice*, 2017. 4 (1), 11–19. <https://doi.org/10.15407/agrisp4.01.011>.

19. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. FAO. Rome. 2015. 106. URL: <http://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf>.

20. Linzmeier W., Gutser R., Schmidhalter U. The new nitrification inhibitor DMPP ENTEC allows increased N-efficiency with simplified fertilizing strategies, in: Horst et al. (Eds.), Proceedings of the 14th. Int. Plant Nutrition Colloquium. 2001. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. P. 760–761.

21. Miao, Y. F., Wang, Z. H. & Li, S. X. Relation of nitrate N accumulation in dryland soil with wheat response to N fertilizer. *Field Crops Res.* 2015. 170. 119–130. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.09.016>.

22. Pahlmann I. Using nitrification inhibitors in fertilization of rapeseed – Developing fertilization strategies under controlled and field conditions in German MSc Dissertation. *Bingen University of Applied Science*. 2008. 150 p.

23. Yeremenko, O., Kalenska, S. and Kalytka, V. Safflower Productivity Depending on Seed Treatment by AKM Plant Growth Regulator and Level of Mineral Nutrition. *Agriculture & Forestry*, 2018. 64, 65–72. <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.64.1.08>.