

ЧИННИКИ Й ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ЗЕРНОВОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ СОЇ НА ДЕРНОВОМУ ГЛЕЙОВОМУ ҐРУНТІ МАЛОГО ПОЛІССЯ

Богдан КОЦЮБА, здобувач ступеня доктора філософії
Львівський національний університет природокористування
вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Львівський р-н, Львівська обл., 80381, Україна
e-mail: bogdankotsuba@gmail.com

Висвітлено вплив форм азотних добрив та норм внесення, ефективність інгібітора N-Lock™ та інокуляції насіння на формування продуктивності сої у Малому Поліссі. Наведена характеристика властивостей дернового глейового піщанисто-легкосуглинкового ґрунту дослідного поля. Описано гідротермічні умови 2022-2024 років. Травень, червень і липень 2023 року були найвологішими, достатньо теплими, тому цей рік забезпечив максимальну продуктивність сої у досліді – 4,12 т/га. У 2022 році від січня до вересня включно випало 538 мм опадів, у 2023 році – 604 мм і 2024 року – 525 мм. Залежно від зміни гідротермічних умов змішувалися фази розвитку сої, формувалися параметри рослин і структура врожаю. Внесення азоту перед сівбою в нормі N_{30} підвищувало запаси доступного азоту на 7,1-12,1 мг/кг ґрунту у фазі сходів, порівняно з неудобреним фоном (121,0 мг/кг). Застосування нітрапірину після внесення сульфату амонію істотно, а амонійної селітри менш істотно, знижувало утворення в орному шарі нітрат-йонів. Виявлено тісні зв'язки ($r_{\pm}$) норм внесення азоту з вмістом ґрунтових форм азоту, а також $pH_{\text{сол.}}$ ґрунту та врожаєм зерна сої. Взаємозв'язок норм внесення та змін показників запасів азоту в ґрунті показаний на площинній 3D-моделі, яка описується регресійним поліноміальним рівнянням: $N_{\text{нітр.}}, \text{мг/кг} = 23,8079 + 0,0065 \times N_{\text{норма}} + 0,2244 \times N_{\text{гідр.}}$. Система удобрення сої з використанням нітрапірину та бактерійних інокулянтів, забезпечила істотне обмеження накопичення нітратів в орному та підорних горизонтах ґрунту (на 21,1% порівняно з контролем $N_{30}P_{60}K_{60}$ (сульфат амонію)). Система азотного удобрення N_{30} (сульфат амонію) на фоні $P_{60}K_{60}$ з використанням азотфіксуючого інокулянта забезпечила найвищу врожайність за три роки та максимальний урожай зерна 2023 року, що на 0,40 т/га більше, ніж в середньому за 2022-2024 роки. За використання стабілізатора азоту N-Lock™ (1,7 л/га перед сівбою) на фоні $N_{30+30}P_{60}K_{60}$ соя забезпечила врожай 3,90 т/га, що на 0,36 т/га вище від варіанту N_{30} (сульфат амонію) на фоні $P_{60}K_{60}$, який вважається традиційним у виробництві.

Ключові слова: соя, азотне удобрення, нітрапірин, інокулянт, нітратний азот, кореляція, регресія.

Вступ

Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) окультурена для вирощування у Східній Азії, але широко культивується і в помірних кліматичних зонах (Ohyama et al., 2017). Зерно сої є одним із найважливіших джерелом білка для людей і тварин в усьому світі (Światowa produkcja..., 2024). Крім того, соя є домінуючою олійною культурою, що забезпечує 58% світового виробництва зерна олійних культур (Board J. E., 2013).

Розвиток сої поділяють на вегетативний та репродуктивний періоди (Growth stages..., 2018). У сої вегетативний ріст листків, стебел і галушення збігаються з репродуктивним ростом до стадії формування зерна (Yoshiki M. et al., 2013).

Періоди вегетативного росту та репродуктивного розвитку різняться залежно від сорту й умов культивування, але вегетативний період росту становить приблизно два місяці. В найкращому для вирощування сої кліматі період репродуктивного розвитку становить майже три місяці (Cooper R. L., 2003).

Erie K. E. et al. (2023) повідомляють, що покращити врожайність і вміст корисних речовин у зерні сої можна завдяки кращому розумінню як фізіологія рослини реагує на внесення азотних добрив і зумовлює формування складу зерна в

різних умовах виробництва. У США більшість досліджень впливу азотних добрив були зосереджені на вирощуванні сої на Середньому Заході (Tamagno S. et al., 2018; de Borja Reis et al., 2021), де найродючіші темно-бурі ґрунти, а умови подібні до Лісостепу Західного в Україні. Тепліші кліматичні умови та червоно-жовті підзолисті, менш родючі, але і менше кислі, ґрунти на Південному Сході США сприяли вищому вмісту протеїну в зерні та більшому врожаю сої, ніж на Середньому Заході (Rotundo J. L. et al., 2016).

Liashenko V. V. et al. (2019) довели, що застосування азоту (N_{60-90}) на фосфорно-калійному фоні ($P_{60}K_{60}$) може зменшити вологоспоживання рослин сої на 34–39 % порівняно з неудобреним фоном. Покращення умов живлення зумовлене збільшенням вмісту нітратної й амонійної форм доступного азоту в орному й підорному пластах ґрунту: відповідно 0-20 см – 1,1 % і 20-40 см – 4,7 % за внесення азоту (N_{30-90} на фоні $P_{60}K_{60}$).

Авторами простежено позитивну дію мінеральних добрив на біометричні показники росту і розвитку рослин сої. У підсумку констатовано, що найвищий врожай зерна сої 2,53 т/га можна отримати за внесення азоту в дозі N_{90} .

Найвищий вміст сирого протеїну в зерні сої (38,2 %) отримано на цьому ж варіанті удобрення. Натомість найбільший вміст сирого жиру спостерігали на фоні без добрив – 22,0 %.

Milenko O. G. (2015) виявила, що тривалість періоду вегетації сої загалом та окремих фаз визначали погодні умови року і спостерігала значне зменшення міжфазних періодів вегетації рослин у посушливі роки.

Furman O. V. (2019) встановив, що максимально тривалий вегетаційний період сої спричинило оброблення насіння фосфонітрагіном, основне внесення азотних добрив N_{30} на фоні $P_{60}K_{60}$ та додаткове N_{15} підживлення рослин у фазі бутонізації. Автор виявив тісні кореляції між тривалістю вегетаційного періоду районованих сортів сої та погодними умовами вегетації.

Fedoruk I. V. et al., (2020; 2022) встановили, що чисельність бульбочок на коренях сої залежала від обробки насіння інокулянтами та застосування мікродобрив. Інокулянти зумовлюють вагоме збільшення числа бульбочок на кореневій системі сої порівняно з необробленим насінням.

Автори, зокрема, використовували препарат Хай Кот Супер в нормі 1,42 л/т і зробили висновок, що впровадження препаратів для інокуляції й мікродобрив забезпечують використання біопотенціалу сортів сої, які районовані в Лісостепу Західному.

Незважаючи на те, що гідротермічні умови та генотип мали значний вплив на більшість фізіологічних ознак та вимірних компонентів врожайності, внесення азоту істотно взаємодіяло з погодними умовами (Lykhochvor V. V. et al., 2016; Liashenko V. V. et al., 2019). Зокрема це позначалося на концентрації протеїнів та олії в зерні, урожайності. Внесений азот впливав на частку азоту, отриманого з атмосфери в листку упродовж періоду наповнення зерна.

В науковій літературі немає даних щодо впливу підвищених і високих норм азотного удобрення сої на дернових глейових ґрунтах Малого Полісся у Західному Лісостепу на запаси форм азоту – основного елемента живлення, який має два джерела надходження для бобових рослин.

Не досліджено вплив інгібіторів та інокулянтів на продуктивність сої. Проте, уже опубліковані нові дані про ефективність нітрапірину у системі удобрення ячменю озимого на темно-сірому ґрунті Пасмового Побужжя (Shestak V. et al., 2023). Є дослідження високої ефективності інокулянтів у підвищенні продуктивності сої та родючості цього ж типу ґрунту у Лісостепу Західному (Lykhochvor V. V. et al., 2017).

Метою досліджень було встановити вплив дії форм азотних добрив за різних норм внесення, використання інгібітора нітрифікації N-Lock™ та інокуляції насіння на формування продуктивності сої в умовах Малого Полісся.

Матеріали і методи

Досліди проведені упродовж 2022-2024 років у філії кафедри агрохімії та ґрунтознавства Львівського національного університету природокористування (ЛНУП) – на полі фермерського господарства "БІК АГРО" (село Шайноги). В роботі застосували традиційні методи в агрономії (Yeshchenko V. V. et al., 2014). Дослідне поле знаходилося у районі Малого Полісся природо-кліматичної зони Лісостепу Західного (координати: 50°12'07.8" N, 24°32'52.9" E. Для аналізу кліматичних показників користувались даними метеостанції Львів на сайті Метеопост (meteopost.com/weather/climate/year).

У полі описано профіль дернового глибокого глейового піщанисто-легкосуглинкового ґрунту на водно-льодовикових відкладах (Soils of Lviv region, 2019). Рельєф дослідної ділянки – рівнинний. Вміст легкогідролізного азоту аналізували за методом Корнфільда (ДСТУ 7863:2015), рухомі сполуки фосфору й обмінного калію – за ДСТУ 4115-2002.

Вміст нітратного азоту (Nn) визначали потенціометрично за допомогою йонселективного нітратного електрода у сольовій витяжці 1% розчину алюмокалієвого галуну при співвідношенні ґрунту до розчину 1:2,5. За показниками йономіра і калібрувального графіка визначали вміст нітратного азоту. Стандартні розчини для калібрування приладу і калібрувальний графік готували з використанням $1 \cdot 10^{-1} M$ KNO_3 шляхом поступового десятиразового розбавлення його дистильованою водою до концентрації $1 \cdot 10^{-2} M$, $1 \cdot 10^{-3} M$, $1 \cdot 10^{-4} M$. Вміст нітратів у ґрунті, в мг/кг, знаходили за величиною pNO_3 у пластах 0–20, 20–40 і 40–60 см. Лабораторні роботи виконали в Інституті сільського господарства Карпатського регіону НААН. Проби ґрунту відбирали і готували до аналізів згідно з ДСТУ ISO 11464 2001.

Для експериментів з нормами і формами азотних добрив і внесенням нітрапірину та інокулянтами розробили схему дослідження, наведену в таблиці 1.

Технологія вирощування сої традиційна: оранка на 20–22 см, внесення фосфорних і калійних добрив здійснили під оранку. Під передпосівну культивування в нормі згідно схеми досліду вносили сульфат амонію та амонійну селітру, а також підживлювали сою в дозі N_{30} різними формами туків у фазі бутонізації. Інгібітор нітрифікації N-Lock™ – нітрапірин, вносили за схемою досліду у нормі 1,7 л/га. Для інокуляції насіння використали препарати Хай Кот Супер Соя (виробник БАСФ), який містить азотмобілізуючі бактерії *Bradyrhizobium japonicum* та Райс Пі (виробник Агрітема), який містить фосформобілізуючі бактерії *Bacillus amyloliquefaciens*.

Статистичний аналіз і моделювання динамік клімату виконали за допомогою пакету *Microsoft Excel*, *Statistica-12*, для даних урожаю застосували метод ANOVA за допомогою програми *Dispersion*.

Таблиця 1. Схема польового експерименту

№	Варіант системи удобрення	N, кг/га
1.	Контроль – без удобрення	0
2.	Фон – P60K60 (*п.ор.)	0
3.	Фон + N30 – *Nsa (*п.с.)	30
4.	Фон + N30 – Nsa+нітрапірин (п.с.)	30
5.	Фон + N30 – Nsa (п.с.)+N30 – Nsa (ф.б.ф.б.)	60
6.	Фон + N30 – Nsa+нітрапірин (п.с.)+N30 – Nsa (ф.б.)	60
7.	Фон + N30 – *Naa	30
8.	Фон + N30 – Naa+нітрапірин (п.с.)	30
9.	Фон + N30 – Naa+нітрапірин (п.с.)+N30 – Naa (ф.б.)	60
10.	Фон + N30 – Nsa (п.с.)+N-мобілізуєчі бактерії	30
11.	Фон + N30 – Nsa (п.с.)+P-мобілізуєчі бактерії	30
12.	Фон + N30 – Nsa (п.с.)+N-мобілізуєчі+P-мобілізуєчі бактерії	30

Примітка. *: п.ор. – під оранку; Nsa – сульфат амонію; п.с. – після сівби; ф.б. – фаза бутонізації; Naa – амонійна селітра.

Результати та обговорення

Дерновий глейовий ґрунт дослідного поля утворений на рівнинному елементі рельєфу, сформувався на алювіальних, флювіогляціальних суглинкових відкладах під лучною, лучно-болотною рослинністю в умовах надлишкового постійного підґрунтового і періодично поверхневого зволоження (Soils of Lviv region, 2019). На властивості і будову дернового ґрунту, впливав намулок паводкових вод. У глейовому ґрунті оглеєним є весь профіль, під перехідним горизонтом залягає сизий і в'язкий глей.

За гранулометричним складом ґрунт належить до легкосуглинкових, вміст мулу і

фізичної глини поступово зменшується з глибиною і знову підвищується у ґрунотвірній породі. За кислотністю він належить до слабокислих ($pH_{\text{сол.}}$ 5,6–5,8), а за гідролітичною кислотністю – близький до нейтральних (1,0–2,8 мг-екв на 100 г ґрунту), вміст гумусу – середній (4%). Запаси легкогідролізних сполук мінерального азоту – 121–131, рухомих сполук фосфору – 124–135 та обмінних сполук калію – 104–109 мг/кг ґрунту.

Описаний на дослідному полі дерновий глибокий глейовий піщанисто-легкосуглинковий ґрунт (Soils of Lviv region, 2019) на водно-льодовикових відкладах має таку морфологічну будову:



Hgl – 0-40 Орний пласт до 25 см окультурений, гумусовий оглеєний горизонт, темно-сірий з іржавим відтінком, залізисто-марганцеві конкреції, вологий, піщанисто-легкосуглинковий, ущільнений, пронизаний корінцями рослин, червоточини, копроліти, перехід ясний за забарвленням.

HPgl – 41-53 Перехідний горизонт брудно-сірого з сизуватим відтінком, піщанисто-легкосуглинковий, в'язкий, щільний, оглеєння у формі вохристих і сизих плям, корінці рослин, червоточини, копроліти, перехід поступовий за забарвленням, перехід поступовий, затічний.

P(h)Gl – 54-91 Слабогумусована ґрунотвірна порода, сиза з сірими плямами, неоднорідна, сира, супіщана, безструктурна, щільна, сильнооглеєна, рясні вохристі плями, перехід поступовий за забарвленням, затічний.

PGl – 92-123 Сильнооглеєна ґрунотвірна порода – водно-льодовикові відклади сизувато-жовтого забарвлення, неоднорідна, мокра, супіщана, безструктурна, щільна, сильнооглеєна.

Рисунок 1. Морфологічна будова дернового глейового піщанисто-легкосуглинкового ґрунту на водно-льодовикових відкладах



Морфо- та фізико-хімічна діагностика дослідного ґрунту дозволила зробити висновок, що описаний ґрунт за своїми основними показниками цілком придатний для вирощування сої.

Гідротермічні умови 2022-2024 років формувалися під впливом інерції динаміки глобального клімату, регіональних змін ландшафтного мезоклімату (Poliovyi V. et al, 2021; Adamenko T. I., 2014), тому були дуже різними для отримання високих врожаїв зерна сої. Залежно від зміни гідротермічних умов зміщувалися фази розвитку сої, формувалися параметри рослин і структура врожаю.

Вегетаційна динаміка температур першого року досліджень (2022) була традиційною, але

серпень відрізнявся найвищою максимальною температурою – 20°C (рис. 2), що позитивно відобразилося на формуванні врожаю сої, не зважаючи на травневий і червневий дефіцит опадів (рис. 2).

Наступний 2023 рік був теплішим і в серпні максимальна температура вже сягнула 21°C. Хоча травень 2023 та третього 2024 року були посушливими. У червні випав надлишок опадів в обидва роки, що дуже посприяло формуванню врожаю сої. Липень в усі роки досліджень був вологим, проте лише 2023 рік відрізнявся істотним перевищенням середньобаторічного показника на 19 мм (рис. 3).

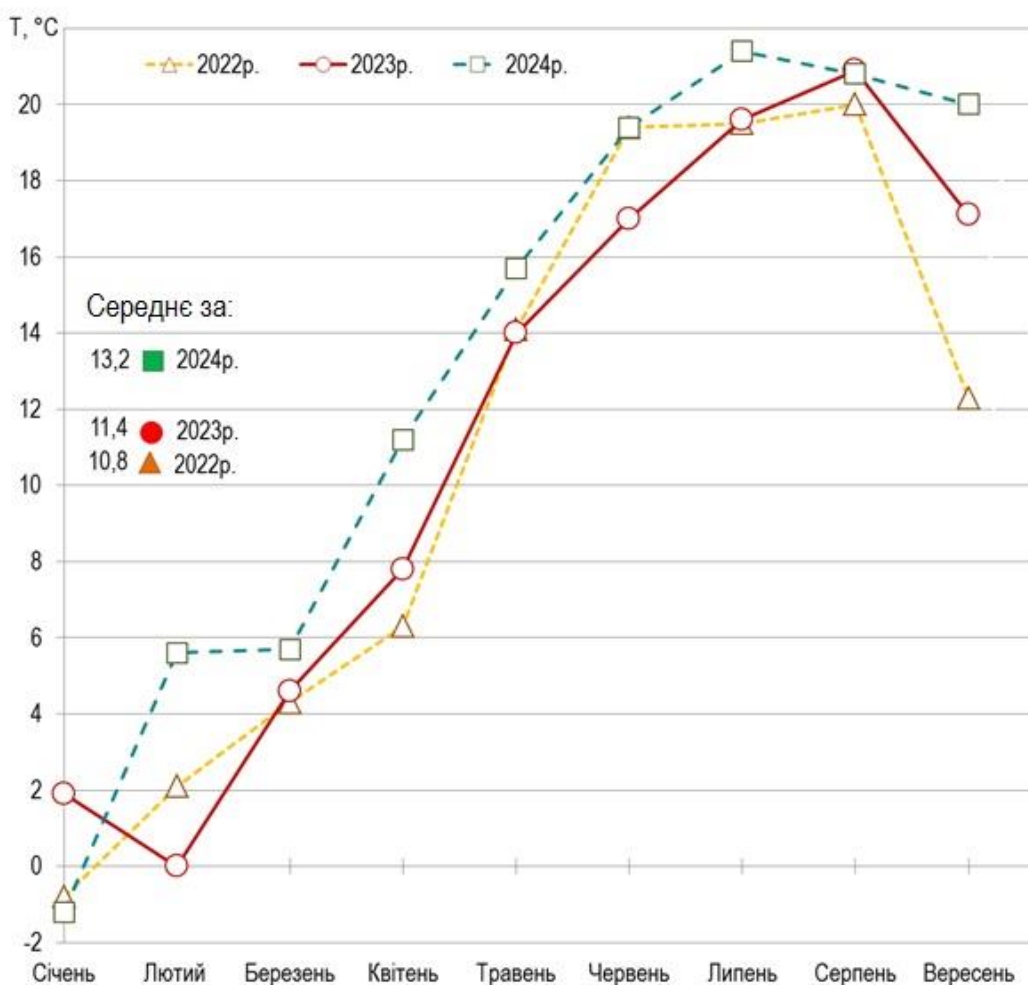


Рисунок 2. Середньомісячні та середньорічні температури повітря упродовж 2022-2024 рр.

Загалом травень, червень і липень 2023 року були найвологішими, достатньо теплими, тому цей рік забезпечив максимальну в досліді продуктивність сої. У 2022 році від січня до вересня включно випало 538 мм опадів, 2023 – 604 мм і 2024 року 525 мм. Найбільш урожайного 2023 року взаємодія природних чинників і технологічних прийомів дозволила зібрати 4,12 т/га зерна сої.

Внесення азоту в ґрунт перед сівбою в нормі N_{30} , а також підживлення N_{30} у фазі бутонізації підвищувало запаси доступного азоту на 7,1-12,1 мг/кг ґрунту у фазі сходів, порівняно з неудобреним фоном (121,0 мг/кг), що стало хорошим фоном для старту активної вегетації сої.

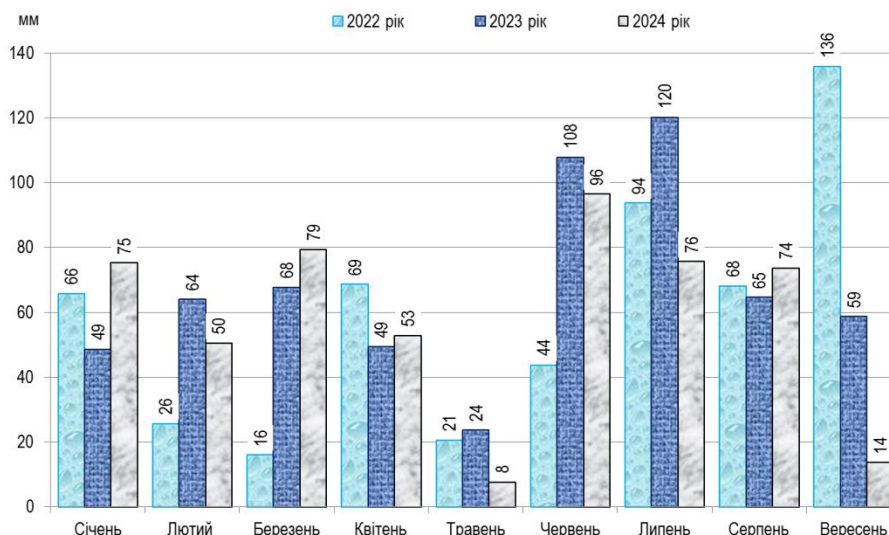


Рисунок 3. Динаміка середньомісячних опадів упродовж 2022-2024 рр.

Застосування нітрапірину після внесення сульфату амонію істотно, а амонійної селітри менш істотно, знижувало утворення нітрат-йонів в орному шарі.

Рівень їх вмісту опускається від 6,7 мг/кг ґрунту до рівня, наближеного до мінімального азотного удобрення N_{30} – 5,6 мг/кг ґрунту. До збирання вміст нітратів у ґрунті вагомо зменшується за внесення нітрапірину – нижче 3,5 мг/кг ґрунту. Це підтверджує високу ефективність інгібітора нітрифікації щодо обмеження накопичення небажаних для сої, на думку дослідників (Опо У. et al., 2021), нітратів у період активного бульбочкоутворення.

Фосфорно-калійне удобрення є обов'язковим для отримання найвищого врожаю сої. Ґрунт без внесення фосфорних і калійних добрив у фазі сходів містив 124,2 в орному та 120,1 мг/кг рухомих фосфатів та 104,4 і 101,4 мг/кг обмінного калію в підорному шарі.

Внесення фосфорно-калійних добрив у нормі $P_{60}K_{60}$ додавало в орному шарі відповідно 11,0-15,0 та 11,1-11,5 мг/кг поживних речовин.

Фосформобілізуючі бактерії спричинили максимальне підвищення запасу доступних фосфатів (139,1 мг/кг), активізувавши мікробіологічні процеси в орному шарі ґрунту.

Найвищі запаси фосфатів зберігалися і до збирання врожаю (132,2 мг/кг), порівняно з варіантами без інокуляції фосформобілізуючими бактеріями *Bacillus amyloliquefaciens*. Отже стає зрозумілим, що інокулянт Райс Пі (виробник Агрітема) на фоні P_{60} сприяв пролонгованому підвищенню родючості ґрунту за ресурсом рухомого фосфору.

Розрахунки кореляційних коефіцієнтів ($r \pm$) підтвердили зв'язок норм внесення азоту з багатьма

змінними агрохімічних властивостей ґрунту. Так, видно, що вміст легкогідролізного та нітратного азоту в орному пласті ґрунту практично прямо пропорційно залежав від обсягу внесення добрив ($r = 0,93-0,99$).

Тісний зв'язок вмісту легкогідролізного азоту зберігався до збирання врожаю (табл. 2). Орний і підорний пласти ґрунту достовірно тісно підкислювалися як у фазі сходів, так і до збирання під впливом збільшення норм внесення азоту. Агрохімічні та фізико-хімічні показники тісно корелювали між собою (табл. 3).

Збільшення концентрації нітрат-йонів у орному та підорних пластах ґрунту збільшувало кислотність усього профілю ($r = -0,84 - -0,98$). При збиранні врожаю утворення нітратів впливало на ґрунт у бік підкислення.

Концентрація легкогідролізного азоту менше підвищувала кислотність ґрунту та найсильніше в орному пласті.

Оскільки виявлені тісні перехресні зв'язки багатьох чинників азотного живлення та кислотності у профілях, виникла можливість застосувати графічне 3D-моделювання подвійного впливу різних форм доступного азоту, норм внесення, змін кислотності ґрунту та врожаю зерна в межах проведених досліджень.

З рисунка 4 (3D-модель синергії форм азоту) видно, що за меншого рівня вмісту легкогідролізної форми азоту не спостерігалось істотного підвищення концентрації нітратів у ґрунті.

За вищого вмісту легкогідролізного азоту, який зумовлений підвищенням норм внесення азотних добрив, спостерігалось стрімке зростання кількості нітратів у ґрунті. Регресійну залежність (рис. 4) добре описує формула (1):

$$N_{\text{нітр.}}, \text{ мг/кг} = 23,8079 + 0,0065 \times N_{\text{норма}} + 0,2244 \times N_{\text{гідр.}} \quad (1)$$

Таблиця 2. Показники кореляції ($r = \pm$) врожаю сої з нормами азотного удобрення, змінами вмісту форм азоту та зміщенням $pH_{\text{сол.}}$ в орному та підорному шарах ґрунту

Показник	Норма азоту	Урожай зерна
Урожай, т/га	0,74	X
Нітрати у фазі сходів, мг/кг	0,93	0,76
Нітрати при збиранні, мг/кг	0,66	0,27
$N_{\text{гидр.}}$ у фазі сходів, мг/кг	0,99	0,79
$N_{\text{гидр.}}$ при збиранні, мг/кг	0,91	0,83
Фаза сходів, pH, 0-20 см	-0,89	-0,79
Фаза сходів, pH, 20-40 см	-0,83	-0,68
Фаза сходів, pH, 40-60 см	-0,80	-0,44
Збирання, pH, 0-20 см	-0,70	-0,23
Збирання, pH, 20-40 см	-0,80	-0,38
Збирання, pH, 40-60 см	-0,93	-0,75

Таблиця 3. Кореляція агрохімічних та фізико-хімічних показників

Показник	Нітрати в орному шарі, мг/кг		$N_{\text{гидр.}}$ в орному шарі, мг/кг	
	у фазі сходів	при збиранні	у фазі сходів	при збиранні
Фаза сходів, pH, 0-20 см	-0,98	-0,71	-0,90	-0,93
Фаза сходів, pH, 20-40 см	-0,92	-0,61	-0,80	-0,78
Фаза сходів, pH, 40-60 см	-0,84	-0,64	-0,74	-0,66
Збирання, pH, 0-20 см	-0,79	-0,93	-0,67	-0,59
Збирання, pH, 20-40 см	-0,86	-0,93	-0,78	-0,70
Збирання, pH, 40-60 см	-0,97	-0,66	-0,93	-0,92

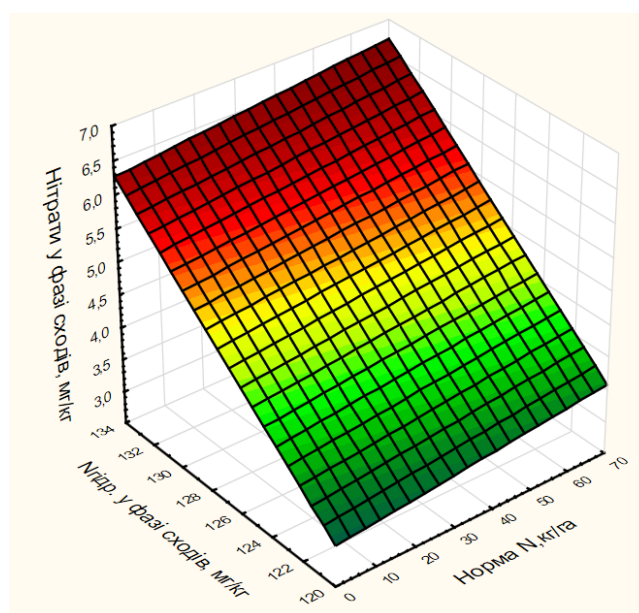


Рисунок 4. Просторова 3D-модель регресії показника вмісту нітратів у зв'язку зі змінами вмісту легкогідролізованих форм азоту в орному (0-20 см) пласті дернового глейового ґрунту та нормою азотного удобрення

На рисунку 4 (3D-модель синергії форм азоту) показано, що за меншого вмісту легкогідролізованого азоту підвищення концентрації нітратів у ґрунті спричинює сильніше його підкислення. За вищого вмісту легкогідролізованого азоту $pH_{\text{сол.}}$ змінюється до нейтрального.

Головним результатом взаємодії гідротермічних чинників та внесених добрив є врожай зерна сої (Lykhochvor V. V. et al., 2016; Poliovyi V. et al., 2021). У проведених експериментах

без мінеральних добрив на дерновому глибокому глейовому піщанисто-легкосуглинковому ґрунті в середньому за 2022-2024 роки було отримано 2,81 т/га зерна.

Синергія норм внесення азоту та концентрації нітратів у орному пласті ґрунту дуже позитивно позначилася на врожаї сої (рис. 5).

За досліджуваних систем удобрення сої, де нітрати були стабілізовані нітрапірином навіть на високих фонах азотного удобрення площа

регресії на рисунку 5 демонструє ефективність пропонуваніх прийомів і нейтралізацію негативних впливів нітратів як на бульбочкоутворення, так і на азотне живлення культури. Рівняння регресії (2)

переконливо підтверджує таке припущення:

$$\text{Урожай, т/га} = 2,5836 + 0,004 \times N_{\text{норма}} + 0,1833 \times N_{\text{нітр.}} \quad (2)$$

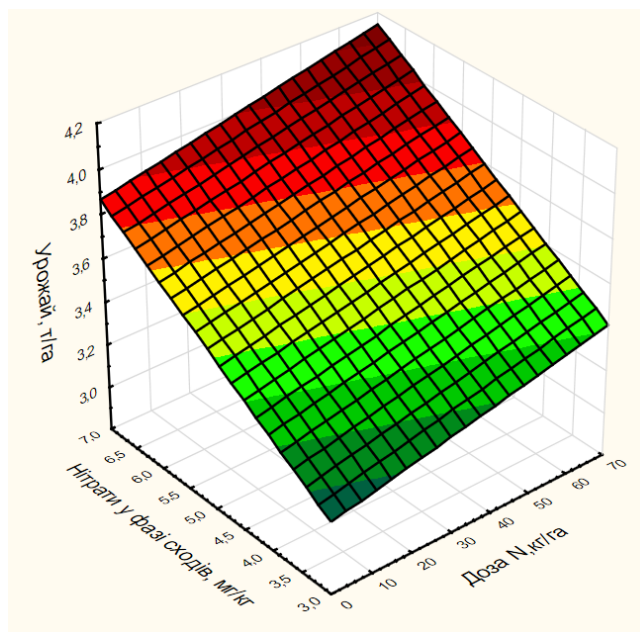


Рисунок 5. Просторова 3D-модель регресії показника $pH_{\text{сол.}}$ у зв'язку зі змінами вмісту доступних форм азоту в орному (0-20 см) пласті дернового глейового ґрунту

Досліджувані системи удобрення сої істотно змінюють поживний режим ґрунту від початку вегетації. В інших умовах вирощування сої доведено (Lykhochvor V. V. et al., 2017; Epie K. E. et al., 2017; Bobrecka-Jamro D. et al., 2018), що під впливом систематичного використання добрив вагомо поліпшувався поживний режим ґрунтів.

Дієвість стабілізаторів азоту – інгібіторів нітрифікації, у регулюванні азотного живлення культур досліджували за рубежом. Їхній позитивний вплив на ефективність азотних добрив встановили на озимій пшениці у Баварії, Німеччина (Hege U. et al., 2011), на ячмені яром у Ірландії (Roche L. et al., 2016) і на ячмені озимому у Лісостепу Західному України (Shestak V. et al., 2023).

Власними дослідженнями доведено, що хімічні властивості ґрунту визначають умови поглинання рослинами поживних речовин. Це є надзвичайно важливим для сприяння початкового розвитку сої, адже вона негативно реагує сповільненням бульбочкоутворення на додавання синтетичних нітратів.

Погодні умови і технологічні прийоми виразно впливають як на тривалість вегетації, так і на плин окремих фаз росту і розвитку сої (Milenko O. G., 2015; Lykhochvor V. V. et al., 2016; Liashenko V. V. et al., 2019; Furman O. V., 2019).

В умовах Малуго Полісся на дерновому глейовому ґрунті норми азотного удобрення та фосфорно-калійний фон впливав на дату настання кожної фази і тривалість міжфазних періодів росту.

Для розуміння біологічної природи врожаю, який формується на різних фонах мінерального, зокрема азотного живлення, та дії інгібітора нітрифікації в ґрунті важливо вести фіксацію фаз.

Як видно з таблиці 4 тривалість періодів «сівба – повні сходи» та «повні сходи – бутонізація» упродовж трьох років досліджень за варіантами досліду відрізнялися мало. Проте є виразна тенденція до прискорення початку вегетації за використання інокулянтів насіння на фоні $P_{60}K_{60} + N_{30}$ (сульфат амонію) + Хай Кот Супер Соя, або/і Райс Пі. Фаза «бутонізація – квітування» була найтривалішою за сумісного використання двох інокулянтів на фоні $N_{30}P_{60}K_{60}$. Подібна тенденція встановлена на фоні $P_{60}K_{60}$ із внесенням сульфату амонію N_{30} перед сівбою та з підживленням N_{30} у фазі бутонізації. Застосований нітрапірин на одну-дві доби скорочував цей перехід.

На фоні використання амонійної селітри в нормі N_{30} , а також з підживленням N_{30} інгібітор навпаки продовжував тривалість фази. Це свідчить про певне усунення антагонізму азофіксуючого апарату сої та нітратів у зоні кореневої системи. Період «квітування – стиглість» був найбільше розтягнутий за систем удобрення $N_{30}P_{60}K_{60} +$ підживлення N_{30} у формі сульфату амонію у фазі бутонізації – 69-71 доба. Дія нітрапірину скорочувала цей період на 2-3 доби.

Подовжена тривалість міжфазного періоду «квітування – стиглість» була також виявлена за використання інокулянтів на одинарній нормі азоту.

Таблиця 4. Вплив систем удобрення сої, нітрапірину та інокуляції на тривалість вегетаційних періодів

Номер варіанта системи удобрення	Норма внесення азоту, кг/га	Тривалість міжфазних періодів, діб												Тривалість вегетації, діб		
		Сівба – повні сходи (BVCH 09-10)			Сходи – бутонізація (BVCH 09-10 - 55-59)			Бутонізація – квітування (BVCH 55-59)			Квітування – повна стиглість (BVCH 55-59 - 87-92)					
		2022 р.	2023 р.	2024 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.
		Дата сівби			Дата збирання											
		29.04	20.04	25.04							10.10	15.10	01.10			
		1.	0	10	15	12	32	30	35	10	11	10	69	67	64	111
2.	0	10	13	11	30	28	33	10	9	9	67	64	63	107	101	105
3.	30	10	12	11	31	33	35	12	10	11	69	69	70	112	112	116
4.	30	10	12	12	30	31	34	13	10	12	68	67	67	111	108	113
5.	60	10	13	14	30	32	33	15	16	15	69	70	71	114	118	119
6.	60	10	12	13	29	30	30	14	15	14	67	69	68	110	114	112
7.	30	10	10	11	30	29	30	13	14	12	66	67	67	109	110	109
8.	30	10	11	10	29	31	30	15	15	16	67	68	69	111	114	115
9.	60	10	11	10	30	32	31	15	16	15	66	67	66	111	115	112
10.	30	9	9	9	28	29	29	13	15	14	68	70	68	109	114	111
11.	30	9	9	10	28	30	29	14	14	13	67	68	68	109	112	110
12.	30	9	9	9	29	28	30	15	16	16	69	70	69	113	114	115

Загальна тривалість вегетації культури сильно коливалася упродовж трьох років і була пов'язана з погодними умовами, які впливали на дію добрив, нітрапірину та інокулянтів. Подвійна норма азоту, а також одинарна із використанням азотних та фосфорних інокулянтів продовжувала вегетацію сої упродовж 2023 і 2024 років. Інгібітор нітрифікації у всіх випадках застосування із сульфатом амонію спричиняв пришвидшення завершення вегетації сої на 6-7 діб, з амонійною селітрою продовжував вегетацію на 4-5 діб.

Milenko O. G. (2015) повідомляла, що на Полтавщині все ж найбільше на тривалість періоду вегетації сої впливали погодні умови року і значне його скорочення було встановлене за посушливого сезону.

Отже проведені нами дослідження переконують, що живлення сої азотом і тривалість її вегетації можна регулювати застосуванням нітрапірину в комбінації з амонійною та нітратною формами добрив, а також з використанням інокулянтів азотфіксаторів та фосформобілізаторів.

Особливості росту й розвитку зернобобової культури сої передбачає певну залежність врожаю від кількості стебел. В середньо- і пізньостиглих сортів, як Ментор, ця властивість сильніша, що пов'язано з послідовною й тривалою диференціацією генеративних органів і, як наслідок – залежність цих процесів від умов вирощування та впливу погодних чинників. Соя сорту Ментор має

властивість добре гілкуватися. Мала висота рослин сої (73,1 см) виявлена на неудобреному контролі (рис. 6). На фосфорно-калійному фоні, де соя жила виключно бульбочковим фіксованим з повітря азотом, висота рослин становила 74,9 см. Мінеральний азот у формі сульфату амонію у нормі N_{30} сприяв збільшенню висоти рослин на 3,3-3,5 см відносно неудобреного контролю. Амонійна селітра забезпечувала такий самий ріст сої у висоту, а внесений в обох варіантах нітрапірин незначно посилював ефект.

Подвоєння норми азоту додатковим підживленням обома формами туків додавав рослинам 3,3-3,5 см висоти. Проте амонійна селітра не сприяла більшому росту сої з використанням нітрапірину. Натомість на фоні сульфату амонію інгібітор мав позитивний вплив. На мінімальному фоні азоту N_{30} і сульфату амонію використання інокулянта з азотмобілізуючими бактеріями сприяло росту рослин до 83,2 см, а поєднання двох інокулянтів: азотфіксуючого та фосформобілізуючого, збільшило висоту рослин до найвищого в досліді показника 84,1 см.

Удобрення сульфатом амонію в дозі N_{30} та обробка посівного матеріалу N-мобілізуючими та P-мобілізуючими бактеріями сприяло високому прикріпленню боба – 14,5 см від поверхні ґрунту (рис. 6). Приблизно подібну, але меншу висоту прикріплення, мали боби у рослин на фоні удобрення сульфатом амонію в дозі N_{30} з обробкою

посівного матеріалу N-мобілізуєчим інокулянтм та з подвійним удобрення сульфатом амонію – 14,2-14,3 см. Застосування нітрапірину лише за подвійного удобрення азотом зменшувало висоту

прикріплення боба. На малих нормах як сульфату амонію, так і амонійної селітри спостерігали підвищення розміщення боба над ґрунтом.

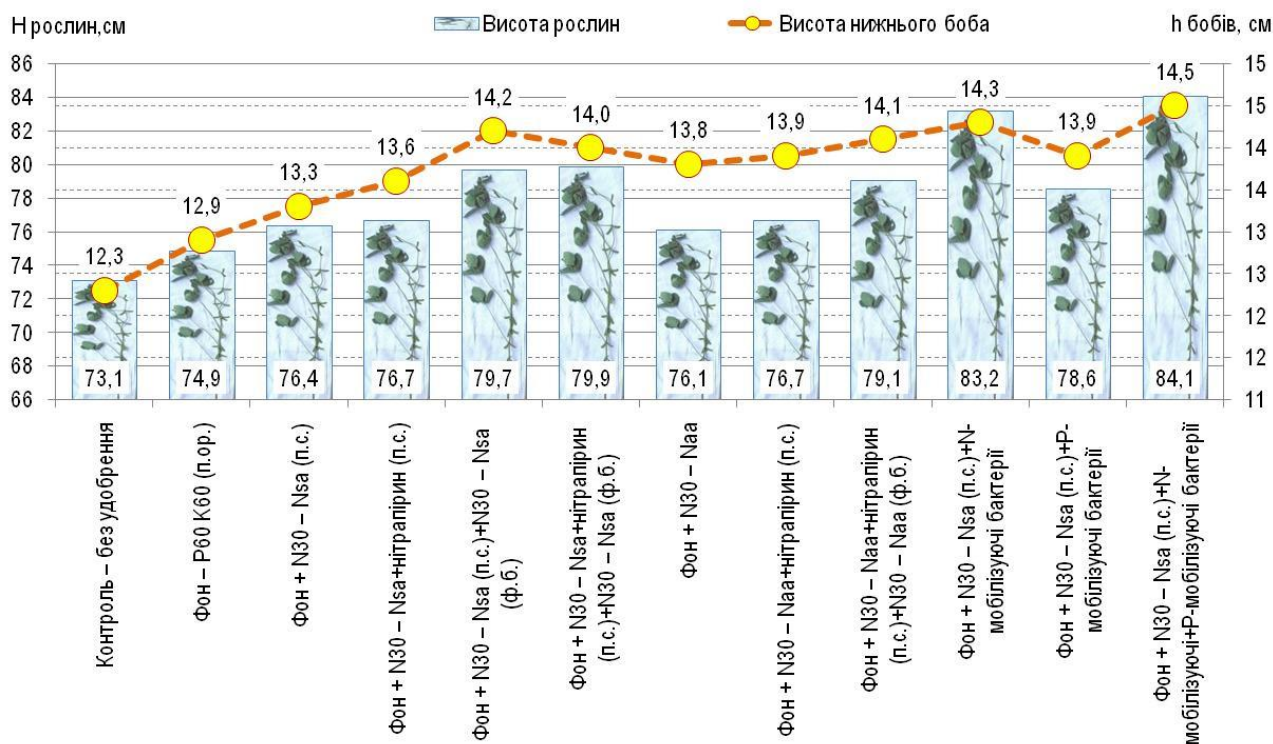


Рисунок 6. Залежність висоти рослин сої від системи удобрення, застосування нітрапірину та інокулянтів (за спостереженнями 2023 року)

Fedoruk I. V. et al. (2020) повідомляють, що найкращий ріст і розвиток сої різних сортів був на варіантах, де проводили поєднання високоефективних інокулянтів, у тому числі Хай Кот Супер, що сприяло активізації росту на 16,2 см порівняно до контролю.

Удобрення сої фосфором і калієм без азотних мінеральних добрив у проведених нами дослідженнях сприяло формуванню більшої маси бульбочок на коренях – на 0,08 г у фазі бутонізації та на 0,05 г при квітуванні рослин. Внесення мінімальної (N₃₀) норми азоту у вигляді сульфату амонію не змінило динаміку бульбочкоутворення. Проте, поєднання його з нітрапірином активізувало утворення азотфіксуючого апарату коренів від бутонізації до пристигання бобів. У фазі квітування приріст маси досяг 0,26 г (рис. 7). Подібний результат встановлений за підживлення сої N₃₀ – приріст маси бульбочок у фазі квітування досяг 0,29 г. Амонійна селітра як з нітрапірином, так і за подвійної норми внесення азоту менше сприяла бульбочкоутворенню.

Найдинамічніше процес бульбочкоутворення відбувався за оброблення насіння інокулянтами. Так, використаний препарат Хай Кот Супер Соє (виробник БАСФ), який містить азотмобілізуєчі бактерії *Bradyrhizobium japonicum*, забезпечив утворення бульбочок у фазі бутонізації масою

0,45 г, у фазі квітування – 0,78 та до фази стиглості 0,28 г. Інокулянт Райс Пі (виробник Агрітема), який містить фосформобілізуєчі бактерії *Bacillus amyloliquefaciens*, не перевищував за ефективністю азот-бактерійний інокулянт, але підтримував нарощування маси бульбочок на рівні найбільших норм добрив та нітрапірину. Поєднане застосування препаратів Хай Кот Супер Соє (азотмобілізуєчі бактерії *Bradyrhizobium japonicum*), та Райс Пі (фосформобілізуєчі бактерії *Bacillus amyloliquefaciens*), забезпечило найвагоміший позитивний ефект щодо утворення симбіотичного апарату азотфіксації у сої на фоні невеликих норм добрив N₃₀P₆₀K₆₀ без додаткового застосування стабілізатора азоту, який пригнічує утворення нітратів.

Отже, контроль концентрації нітратів у ґрунті, які затримують бульбочкоутворення сибіотичного апарату, за допомогою заміни амонійної селітри на сульфат амонію, з використанням інгібітора нітрифікації та обмеження норм внесення азоту не досягає такого вагомого результату, як сумісне застосування інокулянтів, які містять азотмобілізуєчі бактерії *Bradyrhizobium japonicum*, та фосформобілізуєчі бактерії *Bacillus amyloliquefaciens*. Маса бульбочок на рослині у бутонізацію була найвищою – 0,49 г, за квітування – 0,82 г.



Спостереження за верхньою частиною бульбочкового кореня сої і встановлення діаметра окремих бульбочок через 10–24 дні після початку росту в контрольованих умовах живильного середовища (Ohyama T. et al., 2011) показало, що діаметр кореневого вузлика, прикріпленого до первинного кореня, збільшився з 1 мм до 6 мм

упродовж двох тижнів в умовах без азоту. Збільшення діаметра вузликів було майже повністю зупинено після першого дня подачі 5 мМ нітрату. Це було пов'язано з припиненням розширення клітин вузликів. Проте ріст вузликів швидко повернувся до нормального темпу після видалення нітрату з розчину.

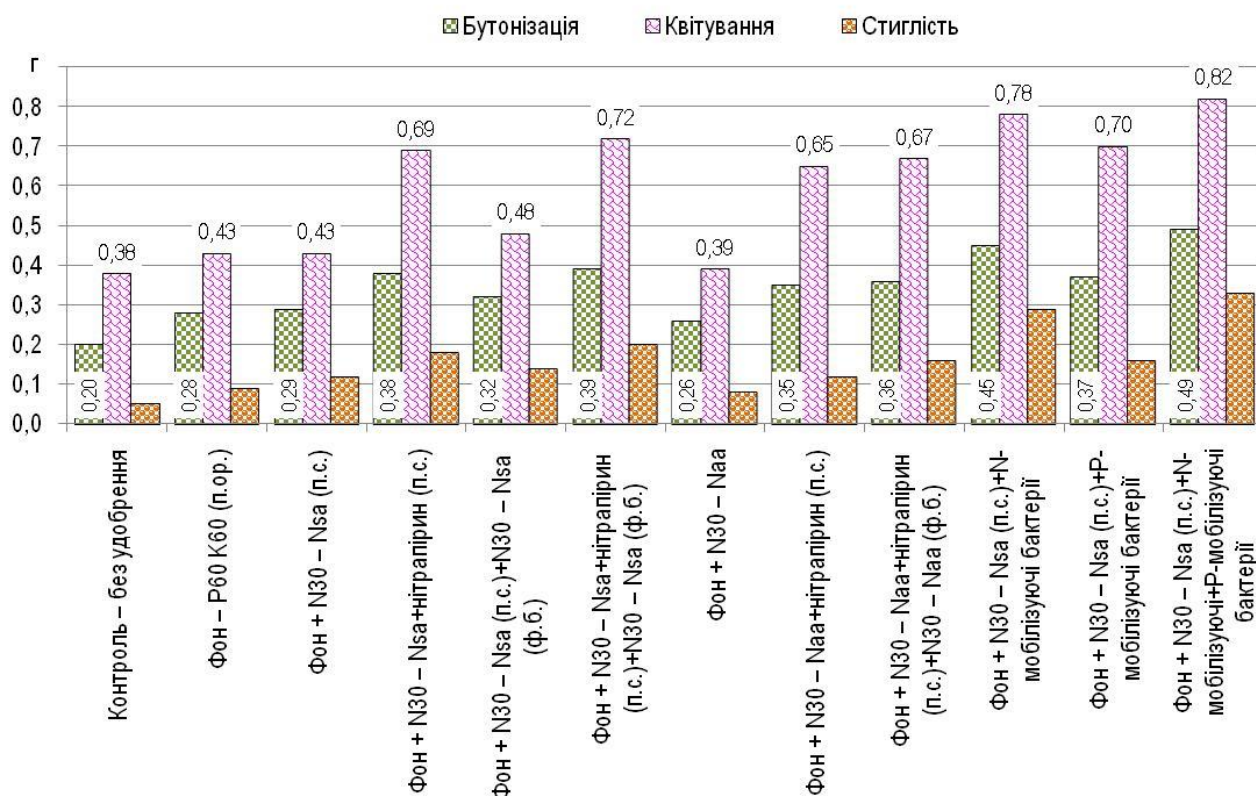


Рисунок 7. Залежність маси бульбочок на коренях сої від системи удобрення, застосування нітрапірину та інокулянтів (за спостереженнями 2023 року)

У науковій праці (Yoshiki M. et al., 2013) повідомлено, що додавання нітрату в живильний розчин швидко пригнічувало ріст бульбочок і активність азотфіксації сої. У цьому дослідженні автори виявили, що коли рослини сої культивували з поживним розчином без азоту інгібуючий ефект був відсутній. Видалення азоту з поживних розчинів після підживлення азотом призвело до відновлення росту бульбочок.

Формування врожаю сої прямо пов'язане з кількістю бобів на рослині та озерненістю кожної особини. Кількість бобів на рослині у наших дослідженнях залежала від систем удобрення сої. На неудобреному фоні виявлено 13,8 боба на рослині, що становило найменший показник у досліді (рис. 8). Лише фосфорно-калійний фон (P₆₀K₆₀) підвищував кількість бобів на 1,1 одиниці. Внесення на цьому фоні N₃₀ (як сульфату, так і нітрату амонію) сприяло збільшенню кількості бобів на 2,7–2,4 одиниці. На цих варіантах системи удобрення дія нітрапірину була тільки позитивною і підвищення кількості бобів становило 1,4–1,6 одиниці.

Найбільша кількість бобів (16,0–16,3 одиниці) утворювалася за внесення норми азоту N₃₀ на фоні P₆₀K₆₀ та при використанні інокулянта Хай Кот Супер Соя, який містить азотомобілізувачі бактерії *Bradyrhizobium japonicum*, а також поєднання його та інокулянта Райс Пі, який містить фосформобілізувачі бактерії *Bacillus amyloliquefaciens*.

Зернопродуктивність однієї рослини за використання інокулянта Хай Кот Супер Соя, а також поєднання його та інокулянта Райс Пі, при внесенні норми азоту N₃₀ на фоні P₆₀K₆₀ була максимальною в досліді і становила 33,9–34,4 зернини на рослину. Добре виражена позитивна реакція сої за показником озерненості як на фосфорно-калійному фоні без азоту (P₆₀K₆₀), так і на фоні N₃₀P₆₀K₆₀ із застосуванням інокулянта Райс Пі. Фосфор для азотфіксуючої культури сої відіграє дуже важливу роль щодо генеративних функцій, тому озерненість рослини зростає від 23,4 одиниць на контролі без добрив до 28,1 одиниці на фоні фосфорно-калійних добрив навіть без додаткового удобрення азотом.

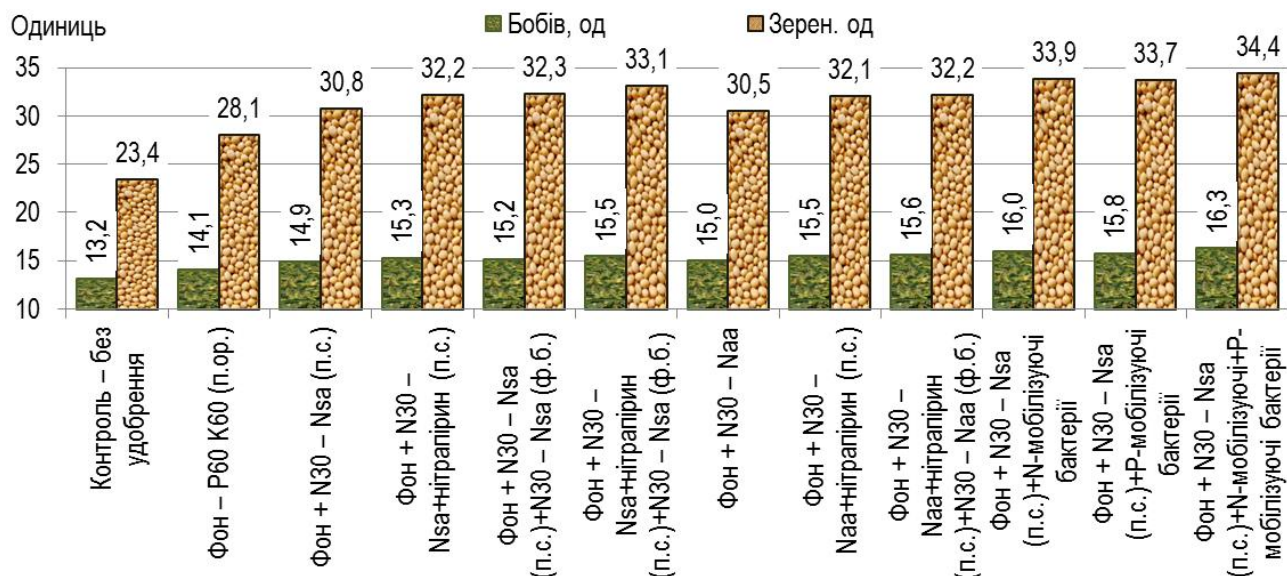


Рисунок 8. Вплив систем удобрення сої на кількість бобів та зерен на рослині (за спостереженнями 2023 року)

Системи удобрення, стабілізація азоту в ґрунті та інокуляція насіння істотно впливали на вагові параметри зерна сої. Мінімальну масу

1000 зерен спричинило внесення амонійної селітри на фоні Р₆₀К₆₀, що свідчить про негативний вплив нітратів на продуктивність культури (рис. 9).

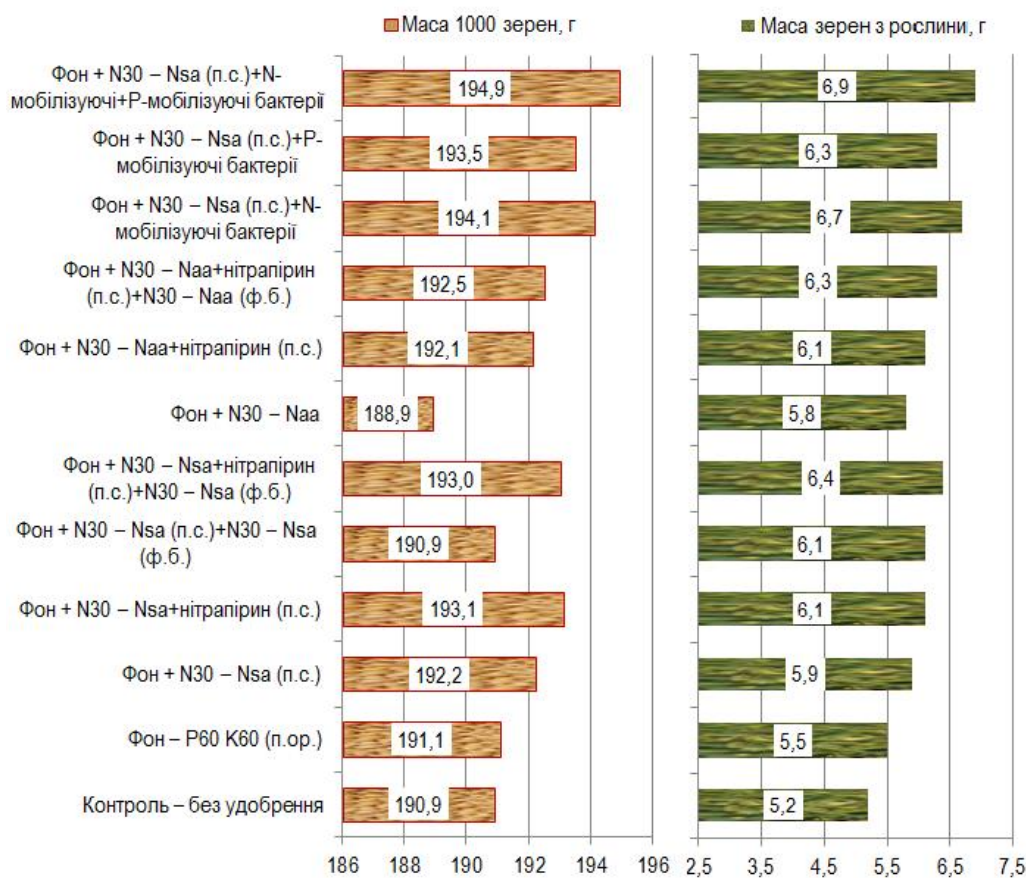


Рисунок 9. Вплив систем удобрення сої на масу зерен з рослини і на масу 1000 зерен (за даними спостережень 2023 року)

У зв'язку з цим відмічено дуже позитивну реакцію сої на внесення нітрапірину як за одинарної норми N_{30} , та і за подвійної N_{30-60} , як за внесення сульфату амонію, так і нітрату. Проте, найбільша маса 1000 зерен отримана при застосуванні інокулянтів: як азотбактерійного, так і фосформобілізаційного. Окреме застосування препарату Хай Кот Супер Соя, який містить азотмобілізуючі бактерії *Bradyrhizobium japonicum*, а також поєднання його та інокулянта Райс Пі, який містить фосформобілізуючі бактерії *Bacillus amyloliquefaciens*, забезпечило масу 1000 зерен в діапазоні 194,1 – 193,5 – 194,9 г.

На одній рослині виявлено від 5,2 до 6,9 г зерна, залежно від варіанту досліджу. Використання

інокулянтів Хай Кот Супер Соя та Райс Пі на фоні $N_{30}P_{60}K_{60}$ спричинило утворення на рослині 6,3-6,9 г зерна. Це на 1,0 г більше, ніж на фоні традиційного удобрення сої $N_{30}P_{60}K_{60}$. Сульфат амонію демонстрував перевагу над амонійною селітрою, а подвоєння норми азоту до 60 кг/га мало позитивний вплив лише за внесення нітрапірину.

Стан культури на варіантах систем удобрення упродовж весняно-літньої вегетації визначали за п'ятибальною системою оцінювання (Yeshchenko V. et al., 2014). У середньому за 2022-2024 роки експериментів варіанти систем удобрення за чотири фази із максимальних 20 балів набирали від 13 до 18,5 балів (табл. 5).

Таблиця 5. Візуальна оцінка загального стану посіву сої у середньому за 2022-2024 роки

Номер варіанта системи удобрення	Фази розвитку				Сума балів (макс. 20 б.)	Середній бал за варіантом
	3-5 трійчастих листочки ВВСН 13-15	Бутонізація - квітання ВВСН 55-59	Формування бобів ВВСН 71-77	Побуріння бобів ВВСН 85		
1.	2,0	3,0	3,5	3,0	11,5	2,9
2.	2,5	3,5	3,5	3,5	13,0	3,3
3.	3,0	3,5	4,0	3,5	14,0	3,5
4.	3,5	4,0	4,0	3,5	15,0	3,8
5.	3,5	4,0	4,5	4,0	16,0	4,0
6.	4,0	4,5	4,5	5,0	18,0	4,5
7.	3,0	4,0	4,0	3,5	14,5	3,6
8.	3,5	4,0	4,5	4,0	16,0	4,0
9.	3,5	4,5	4,5	4,0	16,5	4,1
10.	4,0	4,5	5,0	4,5	18,0	4,5
11.	3,5	4,0	4,5	4,5	16,5	4,1
12.	4,5	4,5	5,0	4,5	18,5	4,6
Середній бал у фазі	3,4	4,0	4,3	4,0	-	-

Неудобрені посіви набирали 11,5 балів, причому у фазі ВВСН 13-15 рослини оцінені 2,0 балами, але до формування бобів підтягувалися до 3,5 балів. Найвища бальна оцінка – від 4,0 до 5,0 балів, була зафіксована за системи удобрення фон $P_{60}K_{60} + N_{30}$ (сульфат амонію) + нітрапірин (перед сівбою) + N_{30} (підживлення у фазі бутонізації сульфатом амонію). Середній бал за вегетацію – 4,5. Проте на фоні $P_{60}K_{60} + N_{30}$ (сульфат амонію) використання інокулянтів Хай Кот Супер Соя + Райс Пі, що фіксують азот і мобілізують фосфор, посіви сої оцінені на рівні 4,5 – 5,0 балів. Причому, від фази 3-5 трійчастих листочки (ВВСН 13-15 – 4,5 балів) до фази формування бобів (ВВСН 71-77 – 5,0 балів) рослини покращували свій габітус. Середній бал по цій системі удобрення становив 4,6 балів.

З-поміж чотирьох вибраних для оцінювання фаз вегетації найменший середній бал встановлено у фазі 3-5 трійчастих листочків (ВВСН 13-15) – 3,4 балів. Найпривабливіше рослини сої виглядали у фазі формування бобів (ВВСН 71-77) – 4,3 балів.

Отже, найвищий середній за вегетацію бал та найбільшу сумарну оцінку отримали посіви, де застосована система удобрення $N_{30}P_{60}K_{60}$ (азотне добриво у формі сульфату амонію) з використанням інокулянтів Хай Кот Супер Соя + Райс Пі, що фіксують азот і мобілізують фосфор. Це означає, що рослини сої отримували добре мінеральне живлення для формування врожаю.

Головним критерієм ефективності досліджених прийомів удобрення сої є врожайність зерна. У проведених нами дослідженнях залежно від умов року врожай коливався від найменшого у 2022 році (2,66 т/га) до найбільшого у 2023 році (4,12 т/га) (табл. 6). Третій – 2024 рік досліджень характеризувався середнім врожаєм.

Внесення під оранку $P_{60}K_{60}$ та перед сівбою N_{30} (сульфат амонію) було прийнято за виробничий контроль. На цьому фоні зібрано на 0,74 т/га зерна більше, ніж без удобрення та на 0,52 т/га більше, ніж за тільки фосфорно-калійного удобрення ($P_{60}K_{60}$). Підживлення сої сульфатом амонію N_{30} у фазі

бутонізації за попереднього внесення $N_{30}P_{60}K_{60}$, як основного добрива, істотного збільшення порівняно

з традиційною системою удобрення не забезпечило ($НР_{05}$ абсолютний коливалася від 0,13 до 0,16 т/га).

Таблиця 6. Врожайність сої залежно від систем удобрення в умовах Малого Полісся на дерновому глибокому глейовому піщанисто-легкосуглинковому ґрунті

Номер варіанта системи удобрення	Роки дослідження						Середнє	Відхилення, ±
	2022	Відхилення, ±	2023	Відхилення, ±	2024	Відхилення, ±		
1.	2,66	-0,81	2,93	-0,76	2,83	-0,65	2,81	-0,74
2.	3,03	-0,44	3,05	-0,64	3,02	-0,46	3,03	-0,52
3.	3,47	-	3,69	-	3,48	-	3,55	-
4.	3,41	-0,06	4,02	0,33	3,55	0,07	3,66	0,11
5.	3,53	0,06	3,78	0,09	3,70	0,22	3,67	0,12
6.	3,77	0,30	4,01	0,32	3,91	0,43	3,90	0,35
7.	3,30	-0,17	3,51	-0,18	3,41	-0,07	3,41	-0,14
8.	3,51	0,04	3,71	0,02	3,55	0,07	3,59	0,04
9.	3,70	0,23	3,90	0,21	3,77	0,29	3,79	0,24
10.	3,72	0,25	4,12	0,43	3,87	0,39	3,90	0,35
11.	3,62	0,15	3,95	0,26	3,67	0,19	3,75	0,20
12.	3,81	0,34	4,05	0,36	3,98	0,50	3,95	0,40
$НР_{05}$, т/га	-	0,13	-	0,16	-	0,15	-	-

Поєднання удобрення $P_{60}K_{60}$ з варіантами доз азоту N_{30+30} та внесення нітрапірину підвищувало врожайність сої в середньому на 0,11-0,35 т/га. Найсприятливішого 2023 року інгібітор діяв найефективніше і вже за меншої норми сульфату амонію забезпечив більшу прибавку, ніж за додаткового підживлення азотом у фазі бутонізації.

Застосування інокулянтів для активізації азотного і фосфорного живлення найвищі результати забезпечило найкращого 2023 року вегетації. Прибавка врожаю за використання азотомобілізаційних бактерій на фоні $N_{30}P_{60}K_{60}$

(сульфат амонію) була такою ж, як і за внесення $N_{30+30}P_{60}K_{60}$ та нітрапірину з сульфатом амонію – 0,35 т/га.

Проте поєднання $N_{30}P_{60}K_{60}$ (сульфат амонію), азотомобілізаційних та фосформобілізаційних бактерій забезпечило найвищий врожай сої у досліді – 3,95 т/га, що на 0,40 т/га більше, ніж за звичайного удобрення $N_{30}P_{60}K_{60}$ (сульфат амонію).

Найбільший врожай зерна сої – 4,12 т/га, забезпечило внесення $N_{30}P_{60}K_{60}$ (сульфат амонію) та обробка насіння азотфіксуєчими бактеріями у найсприятливіший 2023 рік вирощування

Висновки

За показниками погоди 2023 рік був найсприятливішим для вирощування сої в умовах Малого Полісся заходу України.

На фосфорно-калійному фоні $P_{60}K_{60}$ застосування нітрапірину й інокулянтів за різних систем азотного удобрення сої на дерновому глибокому глейовому піщанисто-легкосуглинковому ґрунті мало різну ефективність залежно від гідротермічних умов вегетації.

Система удобрення сої з мінімальною та подвійною нормою азоту, внесеного у формі сульфату амонію з використанням стабілізатора нітратів та бактерійних інокулянтів, забезпечила істотне обмеження накопичення нітратів в орному та підорних горизонтах ґрунту (на 21,1% порівняно

з контролем $N_{30}P_{60}K_{60}$ (сульфат амонію). Застосування на цьому фоні азотфіксувального інокулянта Хай Кот Супер Соя неістотно змінювало запаси нітратів в орному шарі ґрунту.

Система азотного удобрення N_{30} (сульфат амонію) на фоні $P_{60}K_{60}$ з використанням азотфіксувального інокулянта забезпечила найвищу врожайність за три роки та максимальний урожай зерна 2023 року, як найкращого для культури – 4,12 т/га, що на 0,40 т/га більше, ніж в середньому за 2022-2024 роки.

За використання стабілізатора азоту N-Lock™ (перед сівбою 1,7 л/га) на фоні $N_{30+30}P_{60}K_{60}$ соя забезпечила врожай 3,90 т/га, що на 0,36 т/га

вище від варіанту N₃₀ (сульфат амонію) на фоні P₆₀K₆₀, який вважається традиційним у виробництві.

Застосування амонійної селітри замість сульфату амонію навіть з використанням

нітрапірину, як інгібітора нітрифікації, не дало вагомого позитивного результату, тому для сої вибір слід робити на користь сульфату амонію.

Список використаної літератури

Adamenko T. I. (2014) Agroclimatic zoning of Ukraine considering climate change. Kyiv: Publishing house "RIA BLITZ", 16 p. URL: gwp.org/globalassets/global/gwp-cee_files/idmp-cee/idmp-agroclimatic.pdf. (In Ukrainian).

Board J. E. (2013) A Comprehensive Survey of International Soybean Research – Genetics, Physiology, Agronomy and Nitrogen Relationships (Ed. Board, J. E.). Chapter 6, Soybean seed production and nitrogen nutrition. InTech, Rijeka, Croatia. URL: intechopen.com/books/3245. DOI: 10.5772/52287

Bobrecka-Jamro D.; Jarecki W.; Buczek J. (2018) Response of soya bean to different nitrogen fertilization levels. *J. Elem.* 23, 559–568. DOI: 10.5601/jelem.2017.22.3.1435

Cooper R. L. (2003) A delayed flowering barrier to higher soybean yields, *Field Crop Res.* 82, 27–35. DOI: 10.1016/S0378-4290(03)00003-0

de Borja Reis A. F., Moro Rosso L., Purcell L. C., Naeve S., Casteel S. N., Kovács P., Archontoulis S., Davidson D. and Ciampitti I. A. (2021) Environmental factors associated with nitrogen fixation prediction in soybean. *Frontiers in Plant science.* 12:675410. doi: 10.3389/fpls.2021.675410

Epie K. E., Bauer P. J., Stone K. C. & Locke A. M. (2023) Nitrogen fertilizer effects on soybean physiology, yield components, seed yield and protein content in the Southeastern United States. *Journal of Plant Nutrition.* 46(3): 462–472. DOI: 10.1080/01904167.2022.2084106

Fedoruk I. V., Khmelyanchyshyn Yu. V., Horodyska O. P. Peculiarities of growth and development of soybean plants depending on the variety and elements of cultivation technology. *Podilskyi Visnyk: Agricultural Sciences.* Issue 33. 2020. P. 54–61. DOI: 10.37406/2706-9052-2020-2-7. (In Ukrainian).

Fedoruk I. V., Kolodiy V. A., Khmelianchyshyn Y. V. (2022) Influence of nutrients on productivity of soybeans. *Taurian Scientific Bulletin.* No. 128. P. 221–228. DOI: 10.32851/2226-0099.2022.128.30. (In Ukrainian).

Furman O. V. Duration of the growing season and phases of growth and development of soybean plants depending on the technological measures of cultivation. (2019) *Taurian Scientific Bulletin.* No. 109. P. 148–154. DOI: 10.32851/2226-0099.2019.109-1.23. (In Ukrainian).

Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. (2018) BBCH Monograph. Edited by Uwe Meier Julius. Kühn-Institut (JKI). Quedlinburg: 204 p. URL: julius-kuehn.de/media/Veroeffentlichungen/bbch%20epaper%20en/page.pdf.

Hege U., Offenberger K. (2011) Effect of N fertilizer with nitrification inhibitors on winter wheat

yield in German Bavarian State Research Center for Agriculture. URL: lfl.bayern.de/iab/duengung/mineralisch/09628 (Accessed 26 August 2012).

Jarecki W., Bobrecka-Jamro D. (2015) Effect of fertilization with nitrogen and seed inoculation with *nitragina* on seed quality of soya bean (*Glycine max* (L) Merrill). *Acta Sci. Pol. Agric.* 14, 51–59. URL: researchgate.net/publication/291971774_Effect_of_fertilization_with_nitrogen_and_seed_inoculation_with_nitragina_on_seed_quality_of_soya_bean_Glycine_max.

Liashenko V. V., Lotysh I. I., Taranenko A. O., Krykunova V. Yu., Kundius K. O. (2019) The influence of nitrogen fertilizers on the productivity and quality of soybean seeds. *Scientific Progress & Innovations.* (4), 58–65. doi:10.31210/visnyk2019.04.07. (In Ukrainian).

Lyashenko V. V., Lotysh I. I., Taranenko A. O., Krykunova V. Yu., Kundius K. O. (2019) Effect of nitrogen fertilizers on yield and quality of soybean seeds. *PDAA Bulletin.* No. 4. P. 58–65. DOI: 10.31210/visnyk2019.04.07. (In Ukrainian).

Lykhochvor V. V., Panasiuk O. V., Panasiuk R. M., Shcherbachuk V. M. (2017) Optimize as a Means of Improving Soybean Productivity and Soil Fertility. *Bulletin of the Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University.* No. 1. P. 60–52. URL: nbuv.gov.ua/UJRN/vddau_2017_1_13 (in Ukrainian).

Lykhochvor V. V., Shcherbachuk V. M., Panasiuk R. M., Panasiuk O. V. (2024) The influence of fertilization systems on the formation of soybean grain yield. *Agronomist Journal.* URL: agronom-com.ua/vplyv-system-udobrennya-na-formuvannya-vrozhajnosti-ta-yakosti-zerna-soyi (in Ukrainian).

Milenko O. G. (2015) Change in duration of vegetation period and growth and development phases of soybean plants depending on growing conditions. *Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy.* No. 1–2. P. 165–171. URL: nbuv.gov.ua/UJRN/VPDAA-2015_1-2_40 (In Ukrainian).

Natsumi Y., Tanabata S., Ohtake N., Sueyoshi K., Sato T., Higuchi K., Saito A., Ohshima T. (2019) Effects of Different Chemical Forms of Nitrogen on the Quick and Reversible Inhibition of Soybean Nodule Growth and Nitrogen Fixation Activity *Front. Plant Sci.* V. 10. DOI: 10.3389/fpls.2019.00131. URL: frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.00131/full

Ohshima T., Fujikake H., Yashima H., Tanabata S., Ishikawa S., Sato T., Nishiwaki T., Ohtake N., Sueyoshi K., Ishii S., Fujimaki S. (2011) Effect of nitrate on nodulation and nitrogen fixation of soybean. In: *Soybean, Physiology and Biochemistry* (Ed. El-Shemy H. A.). P. 333–364.

Ohshima T., Tewari K., Ishikawa Sh., Tanaka K., Kamiyama S. et al. (2017) Role of Nitrogen on Growth and Seed Yield of Soybean and a New

Fertilization Technique to Promote Nitrogen Fixation. In: Soybean (Ed. Minobu Kasai). P. 475–484.

Ono Y., Fukasawa M., Sueyoshi K., Ohtake N., Sato T., Tanabata S., Toyota R., Higuchi K., Saito A., Ohya T. (2021) Application of Nitrate, Ammonium, or Urea Changes the Concentrations of Ureides, Urea, Amino Acids and other Metabolites in Xylem Sap and in the Organs of Soybean Plants (*Glycine max* (L.) Merr.). *International Journal of Molecular Sciences* 22(9). DOI: 10.3390/ijms22094573

Poliovyi V., Hnativ P., Balkovskyy V., Ivaniuk V., Lahush N., Shestak V., Szulc W., Rutkowska B., Lukashchuk L., Lukyanik M., Lopotych N. (2021) The influence of climate changes on crop yields in Western Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 11(1), 384–390. DOI: 10.15421/2021_56

Roche L., Forrestal P., Lanigan G., Richards K., Shaw L., Wall D. (2016) Impact of fertiliser nitrogen formulation, and N stabilisers on nitrous oxide emissions in spring barley. *Agric. Ecosyst. Environ.* 233: 229–237. DOI: 10.1016/j.agee.2016.08.031

Rotundo J. L., Miller-garvin J. E., Naeve S. L. (2016). Regional and temporal variation in soybean seed protein and oil across the United States. *Crop Sci.* 56 (2), pp. 797–808. DOI: 10.2135/cropsci2015.06.0394

Shestak V., Hnativ P., Ivaniuk V., Olifir Y., Szulc W., Rutkowska B., Spychaj-Fabisiak E., Vega N., Parkhuc B., Kachmar O., Kocyuba B., Bahaj T. (2023)

Dynamics of the forms of nutrient nitrogen in Greyic Luvic Phaeozem when regulating their resources with fertilizers and nitrapyrin applied to winter barley. *Journal of Elementology*. 28(1): 41–58. DOI: 10.5601/jelem.2023.28.1.2352

Soils of Lviv region. (2019) A collective monograph, edited by S. P. Pozniak. Lviv: Ivan Franko LNU, 424 p. URL: geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/09/gruntu-lviv-collect-monography-2019.pdf. (In Ukrainian).

Światowa produkcja soi według kraju. (2024). URL: atlasbig.com/pl/kraje-wedlug-produkcji-soi. (Accessed 3.10.2024).

Tamagno S., Sadras V. O., Haegerle J. W., Armstrong P. R. and Ciampitti I. A. (2018) Interplay between nitrogen fertilizer and biological nitrogen fixation in soybean: Implications on seed yield and biomass allocation. *Scientific Reports*. 8 (1):11. DOI: 10.1038/s41598-018-35672-1

Yeshchenko V. V. et al. (2014) Fundamentals of scientific research in agronomy. Vinnytsia: PP "TD "Edelweiss and K", 332 p. (In Ukrainian).

Yoshiki M., Horii S., Matsuno T., Kubo M. (2013) Soybean as a Nitrogen Supplier. In Book: A Comprehensive Survey of International Soybean Research – Genetics, Physiology, Agronomy and Nitrogen Relationships. DOI: 10.5772/51017

FACTORS AND PATTERNS OF THE FORMATION OF SOY GRAIN PRODUCTIVITY ON THE SOD CLAY SOIL OF THE MALE POLISSIA

Bohdan KOTSYUBA, PhD candidate
Lviv National University of Nature Management

The article highlights the impact of forms of nitrogen fertilizers and rates of application, the effectiveness of using the N-Lock™ inhibitor and seed inoculation on the conditions of formation of soybean productivity in Male Polissia in the West of Ukraine. The description of the properties of the sod clay sandy light-loamy soil of the experimental field is given. The hydrothermal conditions of 2022–2024 are described. May, June and July 2023 were the wettest, warm enough, so that year provided the maximum soy productivity in the experiment – 4.12 t/ha. From January to September including, 538 mm of precipitation fell in 2022, 604 mm in 2023, and 525 mm in 2024. Depending on the change in hydrothermal conditions, soy development phases shifted, plant parameters and crop structure were formed. Applying nitrogen before sowing at the rate of N₃₀ increased available nitrogen reserves by 7.1–12.1 mg/kg of soil in the seedling phase, compared to the unfertilized background (121.0 mg/kg). The use of nitrapyrin after the application of ammonium sulfate significantly, and ammonium nitrate less significantly, reduced the formation of nitrate ions in the soil layer. Close connections ($r \pm$) of nitrogen application rates with the content of soil forms of nitrogen, as well as pH_{saline solution}, and soy grain yield were revealed. The close relationship between application rates and changes in nitrogen reserves in the soil is shown on a planar 3D-model, which is described by a regression polynomial equation: $N_{\text{nit.}, \text{ mg/kg}} = 23.8079 + 0.0065 \times N_{\text{norm}} + 0.2244 \times N_{\text{hydr}}$. The soy fertilization system using a nitrate stabilizer and bacterial inoculants provided a significant limitation of nitrate accumulation in the arable and subsoil horizons of the soil (by 21.1% compared to the control N₃₀P₆₀K₆₀ (ammonium sulfate). The N₃₀ (ammonium sulfate) nitrogen fertilization system on the background of P₆₀K₆₀ with the use of nitrogen-fixing inoculant provided the highest yield in three years and the maximum grain yield in 2023, which is 0.40 t/ha more than the average for 2022–2024. When using N-Lock™ nitrogen stabilizer (1.7 l/ha before sowing) on the background of N₃₀₊₃₀P₆₀K₆₀ soy provided a yield of 3.90 t/ha, which is 0.36 t/ha higher than the N₃₀ (ammonium sulfate) option on the background of P₆₀K₆₀, which is considered traditional.

Keywords: soy, nitrogen fertilizer, nitrapyrin, inoculant, nitrate nitrogen, correlation, regression.

Отримано: 22.10.2024
Погоджено до друку: 28.11.2024