

ВПЛИВ АЗОТНИХ ДОБРИВ, НІТРАПРИНУ ТА ІНОКУЛЯНТІВ НА ЗЕРНОВУ ПРОДУКТИВНІСТЬ СОЇ У МАЛОМУ ПОЛІССІ

Б. І. КОЦЮБА, здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти (доктор філософії)
Львівський національний університет природокористування

Досліди виконані у Малому Поліссі на Заході України упродовж 2022–2024 років. Вивчали вплив форм азотних добрив за різних норм внесення, інгібітора нітрифікації *N-Lok™* та інокулянтів насіння на врожай зерна сої Дані статистики погоди проаналізували як за три роки досліджень, так і за попередні 14 років спостережень, щоб оцінити тенденцію кліматичних змін. За системи азотного удобрення N_{30} (сульфат амонію) на фоні $P_{60}K_{60}$ із використанням азофіксувального інокулянта було отримано найвищу врожайність за три роки, а максимальний врожай зерна – у 2023 році. За використання стабілізатора нітратів *N-Lok™* 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: погода, сульфат амонію, амонійна селітра, інгібітор нітрифікації, соя, азотфіксація, фосформобілізація, врожай зерна.

Вступ. Соя, як нова для Заходу України культура, просувається все більше на північний захід і стає вельми рентабельною для виробництва [14, 24]. Соя містить не менше 40 % білка в зерні, основою якого є азот, тому потреба рослин в цьому елементі велика [10, 18, 23, 25]. На відміну від пшениці, кукурудзи та більшості решти культур, посіви сої, як і інших бобових культур [2], здатні здобути основну частину необхідного азоту шляхом симбіотичних взаємовідношень рослини з бактеріями *Rhizobia* [18, 23]. Азотфіксація відбувається завдяки складному біотичному механізму взаємообміну між соєю та ґрунтовими бактеріями – *Bradyrhizobium japonicum*. Бактерії отримують цукор від сої для використання в якості джерела енергії, а соя отримує азот від бактерій, які асимілюють його із повітря. Такі взаємовідношення вигідні як для сої, так і для бульбочкових бактерій. Приблизно 50–60 % асимільованого рослиною азоту надходить до неї від фіксації елемента з атмосфери [10, 18, 23].

Соя також засвоює мінералізований азот ґрунту [15]. Решта – 40–50 % асимільованого азоту сої – це ґрунтові ресурси. Це означає часткове виснаження ґрунтових запасів азоту унаслідок мінералізації ґрунтової органічної речовини або з розкладання рослинних решток попередніх культур [4, 10, 15, 17]. Часто сою успішно вирощують без внесення азотних добрив у ґрунт. Азотне удобрення інколи технологічно обмежується інокуляцією ризобіями полів, відведених для сої [18].

Система удобрення сої, розроблена на основі численних досліджень, показує, що в ґрунті, зазвичай, недостатньо ресурсів мінерального азоту [10, 15, 19, 23]. Тому фіксований бульбочковими бактеріями азот лише частково покриває потреби сої в цьому елементі. За вирощування високих врожаїв зернових культур може виникати дефіцит азоту, фосфору, калію та мікроелементів для живлення рослин [4, 21]. Для оптимального функціонування азотфіксувальних бактерій має великий вплив і кислотність ґрунту [15, 25].

Виробники зацікавлені, а науковці працюють над збільшенням здатності сої фіксувати адекватну кількість азоту для високої врожайності [18, 23]. Спеціальні дослідження показали, що підвищений рівень нітратного азоту в ґрунті може гальмувати процес фіксації азоту симбіотичними бактеріями сої, яка фізіологічно потребує великої кількості енергії [18]. З огляду на це, застосування інгібіторів нітрифікації при вирощуванні сої може бути ефективним [9, 23, 26]. Окрім того, в умовах промивного вологісного режиму ґрунту у Малому Полісі виникають ризики втрати частину нітратів через вилугування їх у близько лежачі ґрунтові води [5, 15].

Тому, предметом нашого дослідження стали закономірності формування врожаю зерна сої залежно від системи азотного удобрення, побудованої на різних формах і дозах азотних туків, внесених у період бутонізації і цвітіння культури, у поєднанні з використанням стабілізатора азоту нітрапірину та мікробіологічних інокулянтів в нових для культури умовах Малого Полісся.

Метою досліджень було встановити вплив дії форм азотних добрив за різних норм внесення, використання інгібітора нітрифікації N-Lok™ та інокуляції насіння на врожай зерна сої у Малому Поліссі.

Методика досліджень. Досліди проведені при кафедрі агрохімії та ґрунтознавства у рамках ОНП «Агрономія» третього рівня вищої освіти у Львівському національному університеті природокористування (ЛНУП – Дубляни) впродовж 2022–2024 років. Дослідне поле у районі Малого Полісся природо-кліматичної зони Західного Лісостепу були розміщені біля села Шайноги, на полі з координатами: 50°12'07.8" N та 24°32'52.9" E. (Physical-geographical zoning..., Agro-soil zoning...; <https://www.google.com/maps/place/>). Польові дослідні заклади за загальноприйнятою методикою в агрономії [12].

Для аналізу кліматичних показників основні дані статистики погоди, взяли на сайті Метеопост (<https://meteopost.com/weather/climate/> і <https://meteopost.com/weather/climate/year/>). На досліді ми описали розріз дернового глибокого глейового піщанисто-легкосуглинкового ґрунту на водно-льодовикових відкладах [11, 20] перед початком робіт для з'ясування генетико-морфологічної будови профілю та відбору зразків для аналізу. Рельєф дослідної ділянки – рівнина. Вид угіддя – рілля.

Вміст легкогідролізного азоту визначали за методом Корнфілда (ДСТУ 7863:2015), рухомі сполуки фосфору й обмінного калію – за Чириковим (ДСТУ 4115-2002) у товщі 0–20 см. Аналізи виконали на базі філіалу кафедри агрохімії та ґрунтознавства ЛНУП в Інституті сільського господарства Карпатського

регіону НААН. Проби ґрунту відбирали і готували до аналізів згідно з ДСТУ ISO 11464 2001.

Для експериментування з нормами і формами азотних добрив і внесенням нітропірину та інокулянтами розробили схему дослідження (табл. 1).

Табл. 1. Схема польового досліджу

| Варіант досліджу | N, кг/га |
|---|-----------|
| Контроль – без удобрення | 0 |
| Фон – P60 K60 (*п.ор.) | 0 |
| Фон + N30 – *Nsa (*п.с.) | 30 |
| Фон + N30 – Nsa+нітрапірин (п.с.) | 30 |
| Фон + N30 – Nsa (п.с.)+N30 – Nsa (ф.б.ф.б.) | 60 |
| Фон + N30 – Nsa+нітрапірин (п.с.)+N30 – Nsa (ф.б.) | 60 |
| Фон + N30 – *Naa | 30 |
| Фон + N30 – Naa+нітрапірин (п.с.) | 30 |
| Фон + N30 – Naa+нітрапірин (п.с.)+N30 – Naa (ф.б.) | 60 |
| Фон + N30 – Nsa (п.с.)+N-мобілізуючі бактерії | 30 |
| Фон + N30 – Nsa (п.с.)+P-мобілізуючі бактерії | 30 |
| Фон + N30 – Nsa (п.с.)+N-мобілізуючі+P-мобілізуючі бактерії | 30 |

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

Технологія вирощування сої традиційна: оранка на 20–22 см, внесення фосфорних і калійних добрив практикували під оранку. Під передпосівну культивуацію в нормі згідно схеми досліджу вносили сульфат амонію та амонійну селітру, а також підживлювали сою в дозі N₃₀ різними формами туків у фазі бутонізації. Інгібітор нітрифікації N-Lock™ – нітрапірин [13, 22], вносили за схемою досліджу у нормі 1,7 л/га. Для інокуляції насіння використали препарати ХайКот Супер Соя (виробник БАСФ), які містять азотмобілізаційні бактерії *Bradyrhizobium japonicum* та Райс Пі (виробник Агрітема), які містять фосформобілізаційні бактерії *Bacillus amyloliquefaciens*.

Статистичний аналіз і моделювання динамік клімату виконали за допомогою пакету Microsoft Excel, для урожайних даних застосували метод ANOVA за допомогою програми Dispersion.exe., розміщеної в Інтернеті (<https://github.com/dimbaida/variance-analysis>) [6].

Результати досліджень. Дерновий глейовий ґрунт дослідного поля утворений на пониженому елементі рельєфу в надзаплавній терасі річки Західний Буг, сформувався на алювіальних, флювіогляціальних суглинкових відкладах під лучною, лучно-болотною і дерев'янистою рослинністю в умовах надлишкового постійного підґрунтового і періодично поверхневого зволоження [3, 11]. На властивості і будову дернового ґрунту, впливав намулок паводкових вод. В 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 ґрунтотвірній 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.

На дослідному полі нами описаний дерновий глибокий глейовий піщанисто-легкосуглинковий ґрунт на водно-льодовикових відкладах [11, 20]:



| | |
|---------------------------|--|
| <p>Hg1 – 0–40</p> | <p>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.</p> |
| <p>HPg1 – 41–53</p> | <p>Перехідний горизонт брудно-сірого з сизуватим відтінком забарвлення, піщанисто-легкосуглинковий, в'язкий, щільний, оглеєння у формі вохристих і сизих плям, корінці рослин, червоточини, копроліти, перехід поступовий за забарвленням, перехід поступовий, затічний.</p> |
| <p>P(h)G1 – 54–91</p> | <p>Слабогумусована ґрунтотворна порода, сиза з сірими плямами, неоднорідна, сира, супіщана, безструктурна, щільна, сильнооглеєна, рясні вохристі плями, перехід поступовий за забарвленням, затічний.</p> |
| <p>PG1 – 92–123</p> | <p>Сильнооглеєна ґрунтотворна порода – водно-льодовикові відклади сизуватожовтого забарвлення, неоднорідна, мокра, супіщана, безструктурна, щільна, сильнооглеєна.</p> |

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

Іншим важливим, хоч і не контрольованим фактором дослідження є гідротермічні умови вирощування: температурний та вологісний режим погоди і ґрунту. Ці чинники є більш обмежувальними факторами максимальної врожайності [10, 15]. Абіотичні стреси, такі як посуха, надмірні дощі, екстремальні температури та слабе освітлення, можуть значно знизити врожайність агрокультур [23].

2023 рік став першим роком в історії спостережень, коли кожен день був як мінімум на 1 градус тепліший, ніж у доіндустріальний період 1850–1900 років. Крім того, близько половини днів були більш ніж на 1,5°C тепліші за рівень 1850–1900 років, а два дні в листопаді – більш ніж на 2°C тепліші. 2023 рік був на 0,60°C тепліше, ніж в середньому за 1991–2020 роки, і на 1,48°C тепліше, ніж доіндустріальний період 1850–1900 років.

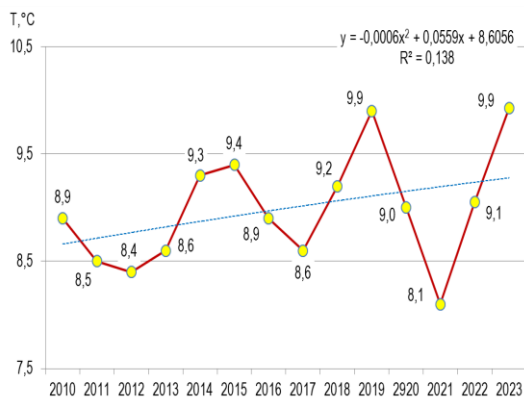
Середньорічна температура повітря була найвищою за всю історію

спостережень або близька до найвищої на значній частині всіх океанських басейнів і всіх континентів, крім Австралії. Кожен місяць з червня по грудень був теплішим, ніж відповідний місяць у будь-якому попередньому році. Глобальна середня температура поверхні моря залишалася стійкою та незвичайно високою, досягнувши рекордних рівнів для цієї пори року з квітня до грудня. 2023 рік став другим найтеплішим роком у Європі: температура на $1,02^{\circ}\text{C}$ вища за середній показник за 1991–2020 роки, на $0,17^{\circ}\text{C}$ холодніша, ніж у 2020 році, найтеплішому році за всю історію спостережень. Європейська зима (грудень 2022 року – лютий 2023 року) була другою найтеплішою зимою за всю історію спостережень. За вісім місяців 2023-го рівень льоду в Антарктиці був рекордно низьким для відповідної пори року.

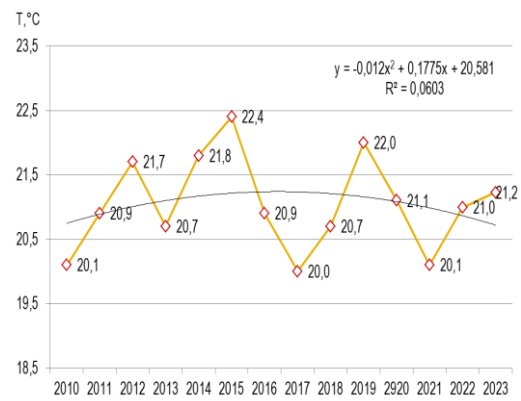
Клімат Малого Полісся помірно континентальний [16]. Середня температура взимку 4°C , а в теплі місяці $18\text{--}19^{\circ}\text{C}$. За холодне півріччя (листопад – квітень) загальна кількість опадів становить 220 мм, а за тепле півріччя (травень – жовтень) на височини випадає від 350 до 400 мм. Сніговий покрив може триматися до 80 днів на рік, а вегетаційний період тепер триває понад 150–160 днів. За даними державної метеостанції “Львів” теплові ресурси Львівщини за рік становлять 2865°C при $t > 5^{\circ}\text{C}$ і 2595°C при $t > 10^{\circ}\text{C}$. За історичний період метеоспостережень безморозний період триває 156 діб, останні заморозки бувають орієнтовно 24.05, перші – 15.09. Середньорічна температура повітря [16] – $7,9^{\circ}\text{C}$, середньомісячна за липень – $17,5^{\circ}\text{C}$, за січень – $-4,5^{\circ}\text{C}$. Абсолютний максимум температури становив 38°C , мінімум – -34°C . Середня глибина промерзання ґрунту становила 27 см, максимальна – 85 см, товщина снігового покриву впродовж зими була 4–9 см.

Річна сума середньобогаторічних опадів становить 748 мм, на липень припадає 102 мм [16]. Проте, останніми десятиліттями кліматична ситуація на Львівщині помітно змінюється. З півночі, північного сходу та зі сходу повторюваність вітрів у Львові найменша і становить відповідно 6, 7 та 9 %.

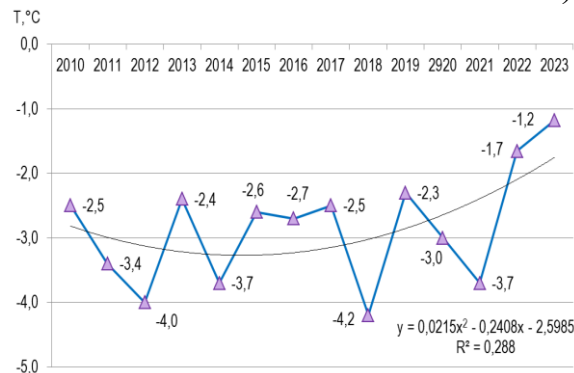
Як повідомляють автори [7, 8, 24], зміни мезоклімату за 10 років посприяли активному просуванню на північ таких теплолюбних культур, як соняшник, кукурудза і соя, персик тощо. За 14 років (рис. 1) відбувалося відчутне підвищення середньорічної температури, але виявилася тенденція до зменшення річної суми опадів (рис. 2). Тож межа кліматичних зон, ймовірно, змістилася майже 200 км [1, 7, 24]. За нашими спостереженнями середньорічна температура повітря за 2010–2023 роки становила $9,0$ проти $8,3^{\circ}\text{C}$ у період 2001–2015 років (рис. 1 А). Середня максимальна температура сягнула 21°C (рис. 1 Б), мінімальна $-2,8^{\circ}\text{C}$ (рис. 1 В). В період проведення досліджень (2010–2024 рр.) метеорологічні умови були різними. Дуже теплим був 2018 та 2024 роки. Проте 2022 рік був найсухішим за 14 років. Достатньо теплим і збалансовано вологим виявився 2023 рік, що позитивно позначилося на продуктивності сої. Виділялися відносно сприятливі та несприятливі (посушливі та перезволожені) роки із значним коливанням температур. Щодо суми та розподілу атмосферних опадів вологими були 2023, 2016, 2018, 2020 роки, перезволоженими 2011 і 2016 роки, а найсухішим був 2019 рік.



A)



B)



B)

Рис. 1. Динаміка середніх температур року упродовж 2010–2023 рр. (метеопост Львів): А) середньорічна температура, °С; Б) середньорічна максимальна температура, °С; В) середньорічна мінімальна температура, °С

Середня максимальна температура повітря та середньорічна кількість опадів упродовж п'яти років помітно зросли (рис. 1 Б).

Сума річних опадів від 2010 до 2023 року коливалася від мінімальної 2022 року (553 мм) до максимальної (878 мм) в перший рік спостережень (рис. 2).

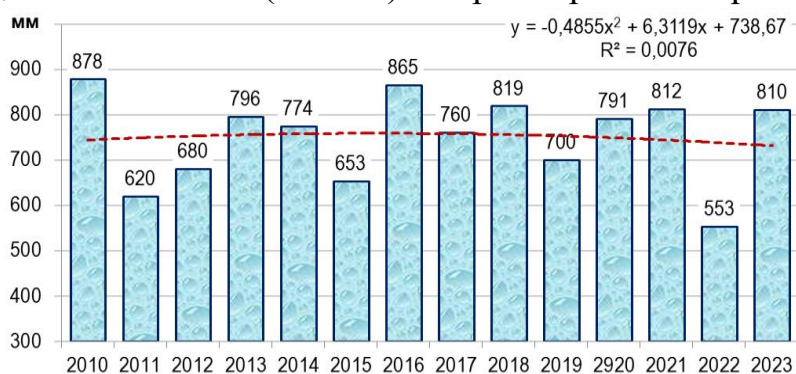
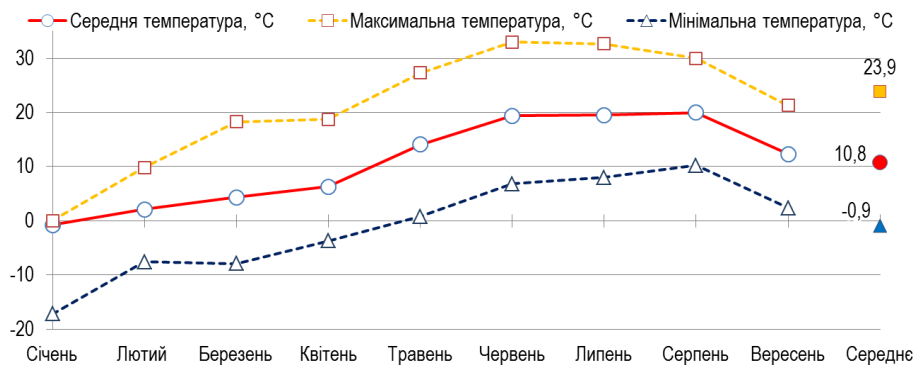


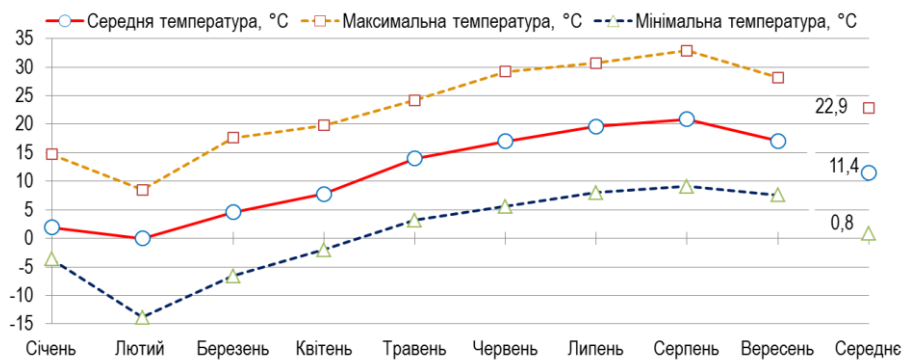
Рис. 2. Динаміка суми опадів упродовж 2010-2023 рр. (метеопост Львів)

Сухий 2022 рік спричинив зниження врожайності сої, не зважаючи на достатній тепловий ресурс вегетаційного періоду. Загалом рівняння поліноміальної регресії показує тенденцію до юридизації вологісного режиму мезоклімату у Західному Лісостепу.

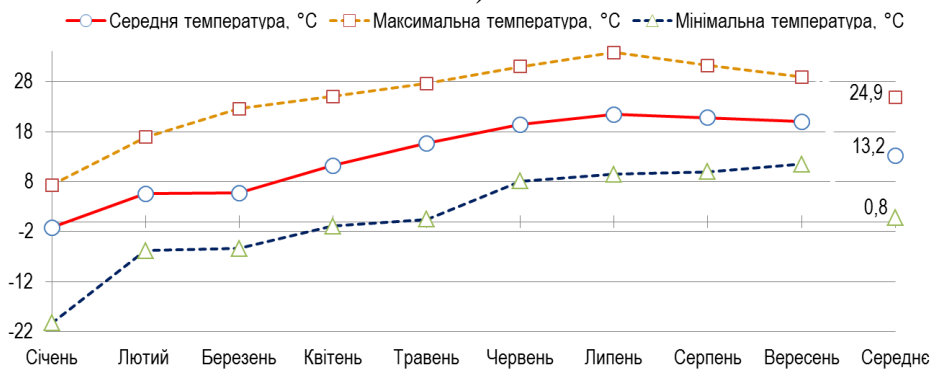
Вегетаційна динаміка температур 2022 року досліджень була традиційною, але серпень відрізнявся найвищою максимальною температурою – 20°C (рис. 3), що позитивно відобразилося на формуванні врожаю сої, не зважаючи на травневий і червневий дефіцит опадів (рис. 3). 2023 рік був теплішим і серпні максимальна температура вже сягнула 21°C.



А)



Б)



В)

Рис. 3. Динаміка ходу середньомісячної температури до завершення вегетації сої упродовж 2022-2024 рр., °C. (метеопост Львів):
 А) 2022 рік; Б) 2023 рік; В) 2024 рік

Хоч травень 2023 та 2024 року були посушливими, у червні випав надлишок опадів в обидва роки, що дуже посприяло формування врожаю сої. Липень в усі роки досліджень був вологим, проте лише 2023 рік відрізнявся істотним перевищенням середньобагаторічної норми на 19 мм (рис. 4).

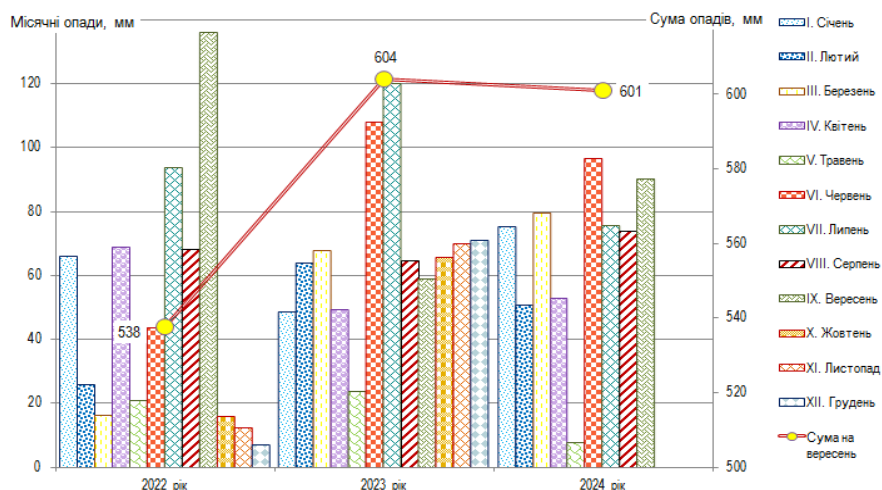


Рис. 4. Динаміка середньомісячних упродовж 2022-2024 рр. і суми річних опадів (метеопост Львів)

Загалом травень, червень і липень 2023 року були найвологішими за всі роки, достатньо теплими, тому цей рік забезпечив максимальну в досліді продуктивність сої.

Головним результатом взаємодії гідротермічних чинників та внесених добрив є врожай зерна сої [10, 15]. Без мінеральних добрив на дерновому глибокому глейовому піщанисто-легкосуглинковому ґрунті ми отримали в середньому за 2022–2024 рр. 2,81 т/га зерна (рис. 5).

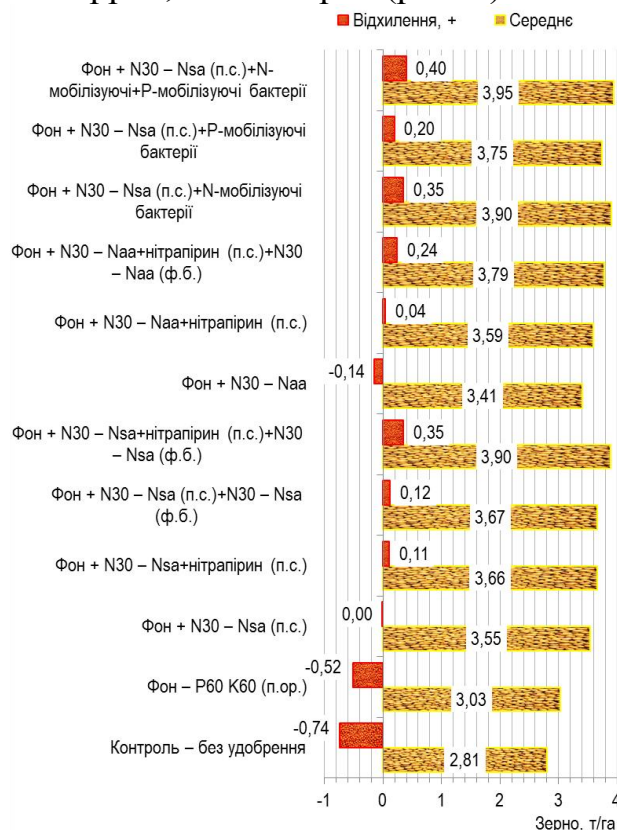


Рис. 5. Середня врожайність зерна сої та відхилення від контролю (00) залежно від системи удобрення та застосування нітрапірину упродовж 2022-2024 рр. (p < 0,05)

Залежно від умов року врожай коливався від найменшого 2022 року до найбільшого 2023 року (рис. 6). Третій – 2024 рік досліджень забезпечив середній врожай.

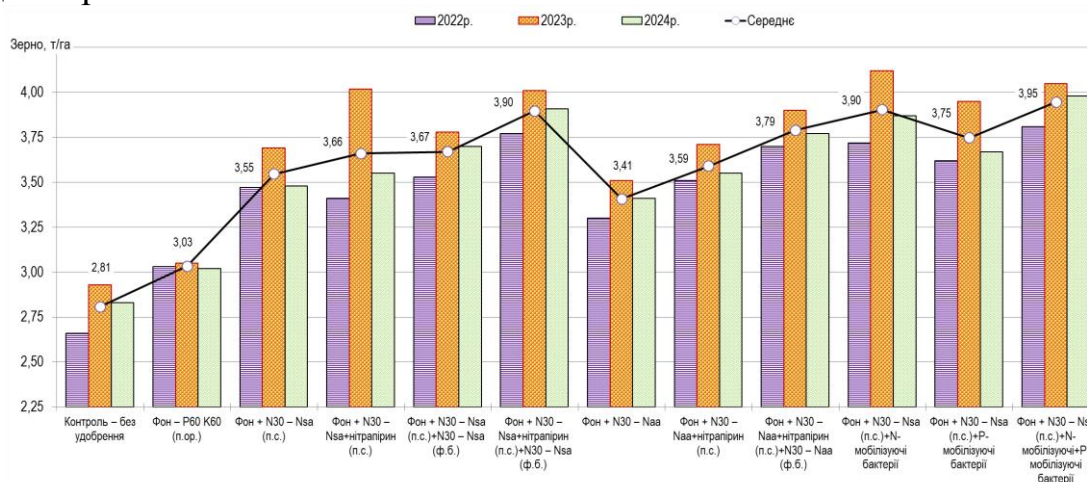


Рис. 6. Врожайність зерна сої залежно від системи удобрення та застосування нїтрапїрину упродовж 2022-2024 рр., т/га (НІР₀₅ абсолютна: 2022 рік – 0,13 т/га; 2023 рік – 0,16; 2024 рік – 0,15 т/га)

Внесення під оранку P₆₀K₆₀ та перед сівбою N₃₀ (сульфат амонїю) ми вважали виробничим контролем. 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 (P₆₀K₆₀). Підживлення сої сульфатом амонїю у фазі бутонїзації N₃₀ за попереднього внесення N₃₀P₆₀K₆₀, як основного добрива, істотної надвишки, порівняно традиційною системою удобрення, не забезпечило (НІР₀₅ абсолютна коливалася від 0,13 до 0,16 т/га).

Поєднання удобрення P₆₀K₆₀ з варіантами норм азоту N₃₀₊₃₀ та внесення нїтрапїрину підвищувало врожайність сої в середньому на 0,11–0,35 т/га (рис. 5). Найсприятливішого 2023 року нїтрапїрїн діяв найефективніше і вже за меншої норми сульфату амонїю забезпечив більшу прибавку, ніж за додаткового підживлення азотом у фазі бутонїзації.

Звертаємо увагу, що амонїйна селїтра N₃₀+P₆₀K₆₀ була менше ефективною щодо врожаю сої, порівняно з аналогічною нормою удобрення сульфатом амонїю у складі повного удобрення. Нїтрапїрїн теж діяв слабше й істотної прибавки вдалося досягти лише за поєднання основного удобрення N₃₀ та підживлення N₃₀ – 0,24 т/га.

Застосування інокулянтів для активїзації азотного і фосфорного живлення найвищі результати забезпечило у найкращий 2023 рік вирощування. Прибавка врожаю за використання азотмобїлізаційних бактерїї на фоні N₃₀P₆₀K₆₀ (сульфат амонїю) була такою ж, як і за внесення N₃₀₊₃₀P₆₀K₆₀ та нїтрапїрину з сульфатом амонїю – 0,35 т/га. Проте поєднання N₃₀P₆₀K₆₀ (сульфат амонїю), азотмобїлізаційних та фосформобїлізаційних бактерїї забезпечило найвищий врожай сої у досліді – 3,95 т/га, що на 0,40 т/га більше, ніж за звичайного удобрення N₃₀P₆₀K₆₀ (сульфат амонїю). Найбільший врожай зерна сої – 4,12 т/га,

забезпечило внесення $N_{30}P_{60}K_{60}$ (сульфат амонію) на обробка насіння азотфіксувальними бактеріями у найсприятливіший 2023 рік вирощування.

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

Система азотного удобрення N_{30} (сульфат амонію) на фоні $P_{60}K_{60}$ з використанням азофіксувального інокулянта забезпечила найвищу врожайність за три роки та максимальний врожай 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-Lok™ (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 N_{30} (сульфат амонію) на фоні $P_{60}K_{60}$, 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.

Література:

1. Адаменко Т. І. Агрокліматичне зонування території України з врахуванням зміни клімату. К.: В-во ТОВ «РІА» БЛІЦ. 2014. 16 с.
2. Андрушко М. О. Формування продуктивності гороху залежно від елементів системи удобрення. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2019. Вип. 66. С. 8–20.
3. Андрущенко Г. О. Ґрунти західних областей УРСР. Львів-Дубляни, 1970. 184 с.
4. Балюк С. А., Медведєв В. В., Мірошніченко М. М., Скрильник Є. В., Тимченко Д. О., Фатєєв А. І, Христенко А. О., Цапко Ю. Л. Екологічний стан ґрунтів України. *Український географічний журнал*. 2012. № 2. С. 38–42.
5. Впровадження Нітратної директиви в Україні. Новини. 17 Липня 2020. Режим доступу: https://menr.gov.ua/news/35591.html?fbclid=IwAR1WcstOugFHeoyIRfk9o_Vi4z4weytSrjdqFswMIJ1TpbO8cbvG_YMzko.
6. Гнатів П. С., Литвин О. Ф., Іванюк В. Я., Лагуш Н. І., Шестак В. Г., Коцюба Б. І. Створення й апробація програмного забезпечення статистичного моделювання вірогідності результатів агрономічних експериментів. *Вісник ЛНАУ*. 2022. № 26. С. 157–162. Doi.org/10.31734/agronomy2022.26.157.
7. Гнатів П. С., Снітинський В. В., Польовий В. М., та ін. Коливання клімату й екосистемогенез українського соціуму від Різдва Христового до становлення Великого Князівства Литовського. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С. З. Гжицького*. Серія: Сільськогосподарські науки. 2020. Т. 22. № 92. С. 100–108.
8. Гнатів П. С., Шестак В. Г., Полюхович М. М., Вега Н. І., Іванюк В. Я. Тенденції зміни клімату за спостереженнями у Львівському східному районі Пасмового Побужжя Західноукраїнської широколистянолісової зони. Матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції «Теоретичні та практичні аспекти розвитку садівництва, овочівництва та виноградарства» (online). ЛНАУ,

Львів-Дубляни, 2021. Режим доступу: [http://www.lnau.edu.ua/lnau/attachments/Міжн %20наук-практ.%20конф. %20- %20ЛНАУ %20-%202021.pdf](http://www.lnau.edu.ua/lnau/attachments/Міжн%20наук-практ.%20конф.%20-%20ЛНАУ%20-%202021.pdf).

9. Господаренко Г. М. Ефективність різних форм, строків і способів внесення мінеральних добрив та інгібіторів нітрифікації під буряк цукровий. Агрохімічна складова технології вирощування буряку цукрового / За заг. ред. Г. М. Господаренка. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2020. С. 139–188.

10. Господаренко Г. М., Любич В. В., Бомко С. М. Формування врожаю сої залежно від складових агротехнології. Київ: ТОВ «ТРОПЕА», 2021. 184 с.

11. Ґрунти Львівської області : колективна монографія / за ред. С. П. Позняка. Львів, ЛНУ імені Івана Франка, 2019. 424 с.

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

13. Компанія Dow Chemical. 2012. Оцінка безпеки продукту: Нітрапірін. Режим доступу. [http://msdssearch.dow.com/PublishedLiterature DOWCOM /dh_08c1/0901b803808c186f.pdf](http://msdssearch.dow.com/PublishedLiterature DOWCOM/dh_08c1/0901b803808c186f.pdf).

14. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Про революційні зміни у технологіях в рослинництві. *Зерно*. 2010. № 7. С. 42–48.

15. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Мінеральні добрива та їх застосування. 2-ге вид., доп. і випр. Львів: Українські технології, 2012. 324 с.

16. Львівська область: природні умови та ресурси: монографія / за заг. ред. д-ра геогр. наук, проф. М. М. Назарука. Львів: Видавництво Старого Лева, 2018. 592 с.

17. Системи удобрення сільськогосподарських культур у землеробстві початку ХХІ століття : монографія / за ред. С. А. Балюка і М. М. Мірошниченка. К. : Альфа-стевія, 2016. 400 с.

18. Gordon, A. J., Skøt, L., James, C. L., and Minchin, F. R. 2002. Short-term metabolic response of soybean root nodules to nitrate. *J. Exp. Bot.* № 53. P. 423–428. doi: 10.1093/jexbot/53.368.423.

19. IFA Agricultural Conference on Managing Plant Nutrition, International Fertilizer Association. Paris. 2019. P. 182–194. Режим доступу: https://www.fertilizer.org/Public/News_Events/IFA_News/IFA_News.aspx

20. 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 p. Режим доступу: <http://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf>.

21. Lykhochvor V., Hnativ P., Petrichenko V., Olifir Y. Threat of desertification of agricultural land in Ukraine through a negative balance of nutritional elements in growing of field cultures. *Journal of Elementology*. 2022. № 27(3). P. 695–707. DOI: 10.5601/jelem.2022.27.2.2290.

22. Nitrogen Stabilizer Products that Must Be Registered under FIFRA. Substances excluded from the definition of a nitrogen stabilizer. 2022. U.S. Environmental Protection Agency. Режим доступу: <https://www.epa.gov/pesticide-registration/nitrogen-stabilizer-products-must-be-registered-under-fifra#substances>

23. Ohyama T., Tewari K., Ishikawa Sh., Tanaka K., Kamiyama S. et al. Role of Nitrogen on Growth and Seed Yield of Soybean and a New Fertilization Technique to Promote Nitrogen Fixation and Seed Yield. From the edited volume Soybean. 2017. DOI: 10.5772/66743.

24. Polovyy V., Hnativ P., Balkovsky V., Ivaniuk V., Lahush N., Shestak V., Szulc W., Rutkowska B., Lukashchuk L., Lukanik M., Lopotych N. The influence of

climate changes on crop yields in Western Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. № 11(1). P. 384–390. doi: 10.15421/2021_56.

25. Salvagiotti F., Cassman K. G., Sprecht J. E., Walters D. T., Weiss A., Dobermann A. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crop Res.* 2008. № 108. P. 1–13.

26. Shestak V., Hnativ P., Ivaniuk V., Olifir Y., Szulc W., Rutkowska B., Veba N., Parkhuc B., Kachmar O., Kocyuba B., Bahaj T. Dynamics of forms of nutrient nitrogen in Greyic Luvic Phaeozem when regulating their resources with fertilizers and nitrapyrin when applied to winter barley. *Journal of Elementology*. 2023. № 28(1). P. 41–58. DOI: 10.5601/jelem.2023.28.1.2352.

References:

1. Adamenko, T. I. (2014). Agroclimatic zoning of Ukraine considering climate change. Kyiv: Publishing house "RIA BLITZ". 16 p. [in Ukrainian].

2. Andrushko, M. O. (2019). Formation of pea productivity depending on elements of the fertilization system. *Mountain and Foothill Agriculture and Animal Husbandry*, issue 66, pp. 8–20. [in Ukrainian].

3. Andrushchenko, H. O. (1970). Soils of the western regions of the Ukrainian SSR. Lviv-Dublyany. 184 p. [in Ukrainian].

4. Balyuk, S. A., Medvedev, V. V., Miroshnychenko, M. M., Skrylnyk, E. V., Tymchenko, D. O., Fateev, A. I., Khristenko, A. O., Tsapko, Yu. L. (2012). Ecological condition of the soils of Ukraine. *Ukrainian geographic journal*, no. 2, pp. 38–42. [in Ukrainian].

5. Implementation of the Nitrate Directive in Ukraine. News (2020). URL: https://menr.gov.ua/news/35591.html?fbclid=IwAR1WcstOugFHeoyIRfk9o_Vi4z4weytSrjddqFswMIJ1TpbO8cbvG_YMzkt0. [in Ukrainian].

6. Hnativ, P. S., Lytvyn, O. F., Ivaniuk, V. Ya., Lahush, N. I., Shestak, V. H., Kotsiuba, B. I. (2022). Development and testing of statistical modeling software for the probability of agronomic experiment results. *Bulletin of LNAU. Agronomy*, no. 26, pp. 157–162. DOI: 10.31734/agronomy2022.26.157. [in Ukrainian].

7. Hnativ, P. S., Snytynskyi, V. V., Polovyi, V. M., et al. (2020). Climate fluctuations and ecosystemogenesis of the Ukrainian society from the Nativity of Christ to the formation of the Grand Duchy of Lithuania. *Scientific Bulletin of S. Z. Gzhytskyi LNUVMB. Series: Agricultural Sciences*, vol. 22, no. 92, pp. 100–108. [in Ukrainian].

8. Hnativ, P. S., Shestak, V. H., Poliukhovich, M. M., Vega, N. I., Ivaniuk, V. Ya. (2021). Trends in climate change based on observations in the Lviv Eastern District of Pasmove Pobuzhzhia of the Western Ukrainian broadleaf forest zone. Materials of the I International Scientific and Practical Conference: "Theoretical and practical aspects of horticulture, vegetable growing, and viticulture development". LNAU, Lviv-Dublyany. URL: <http://www.lnau.edu.ua/lnau/attachments/Міжн%20наук-практ.%20конф.%20-%20ЛНАУ%20%202021.pdf>. (<http://www.lnau.edu.ua/lnau/attachments/Міжн%20наук-практ.%20конф.%20-%20ЛНАУ%20-%202021.pdf>). [in Ukrainian].

9. Hospodarenko, H. M. (2020). Effectiveness of different forms, terms, and methods of applying mineral fertilizers and nitrification inhibitors for sugar beet. Agrochemical component of sugar beet cultivation technology. Kyiv: TOV "SIK HRUP UKRAINE". Pp. 139–188. [in Ukrainian].

10. Hospodarenko, H. M. (2016). Fertilization of agricultural crops. Kyiv: TOV "SIK HRUP UKRAINE". 276 p. [in Ukrainian].
11. Soils of Lviv region (2019) / edited by S. P. Pozniak. Lviv: Ivan Franko LNU. 424 p. [in Ukrainian].
12. Yeshchenko, V. O., et al. (2014). Fundamentals of scientific research in agronomy. Vinnytsia: PP "TD "Edelweiss and K", 2014. 332 p. [in Ukrainian].
13. Dow Chemical Company. 2012. Product safety assessment: Nitrapyrin. URL: [http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_08c1_0901b803808c186f.pdf]. [in Ukrainian].
14. Lykhochvor, V. V., Petrychenko, V. F. (2010). On revolutionary changes in crop production technologies. *Zerno*, no. 7, pp. 42–48. [in Ukrainian].
15. Lykhochvor, V. V., Petrychenko, V. F. (2012). Mineral fertilizers and their application, 2nd ed., supplemented and revised. Lviv: Ukrainian Technologies. 324 p. [in Ukrainian].
16. Lviv Region: Natural Conditions and Resources (2018) / edited by Doctor of Geographical Sciences, Prof. M. M. Nazaruk. Lviv: Vydavnytstvo Staroho Leva. 592 p. [in Ukrainian].
17. Fertilization systems for agricultural crops in farming at the beginning of the 21st century (2016) / edited by S. A. Balyuk and M. M. Miroshnychenko. Kyiv: Alfa-stevia. 400 p. [in Ukrainian].
18. Gordon, A. J., Skøt, L., James, C. L., and Minchin, F. R. (2002) Short-term metabolic response of soybean root nodules to nitrate. *J. Exp. Bot.*, no. 53, pp. 423–428. doi: 10.1093/jexbot/53.368.423.
19. IFA Agricultural Conference on Managing Plant Nutrition, International Fertilizer Association. Paris (2019). URL: https://www.fertilizer.org/Public/News_Events/IFA_News/IFA_News.aspx.
20. 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*. 2015. 106 p. URL: <http://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf>.
21. Lykhochvor, V., Hnativ, P., Petruchenko, V., Olifir, Y. (2022). Threat of desertification of agricultural land in Ukraine through a negative balance of nutritional elements in growing of field cultures. *Journal of Elementology*, no. 27(3), pp. 695–707. DOI: 10.5601/jelem.2022.27.2.2290.
22. Nitrogen Stabilizer Products that Must Be Registered under FIFRA. Substances excluded from the definition of a nitrogen stabilizer (2022). U.S. Environmental Protection Agency. URL: <https://www.epa.gov/pesticide-registration/nitrogen-stabilizer-products-must-be-registered-nder-fifra#substances>.
23. Ohyama, 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 and Seed Yield. From the edited volume Soybean. Open access peer-reviewed chapter. DOI: 10.5772/66743.
24. Polovyy, 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*, no. 11(1), pp. 384–390. doi: 10.15421/2021_56.
25. Salvagiotti, F., Cassman, K. G., Sprecht, J. E., Walters, D. T., Weiss, A., Dobermann, A. (2008). Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crop Res.*, no. 108, pp. 1–13.

26. Shestak, V., Hnativ, P., Ivaniuk, V., Olifir, Y., Szulc, W., Rutkowska, B., Veba, N., Parkhuc, B., Kachmar, O., Kocyuba, B., Bahaj, T. (2023). Dynamics of forms of nutrient nitrogen in Greyic Luvic Phaeozem when regulating their resources with fertilizers and nitrapyrin when applied to winter barley. *Journal of Elementology*, no. 28(1), pp. 41–58. DOI: 10.5601/jelem.2023.28.1.2352.

Annotation

Kotsuba B.

Impact of nitrogen fertilizers, nitrapyrin, and inoculants on soybean grain productivity in the Male Polissia region

Introduction. *The objective of the research was to determine the effects of different forms of nitrogen fertilizers, applied at varying rates, the use of the nitrification inhibitor N-Lok™ and seed inoculants on soybean grain yield in Male Polissia, considering the mesoclimate dynamics in Western Ukraine.*

Methods. *The experiments were conducted at the Lviv National University of Nature Management during 2022–2024, at an experimental field located at coordinates 50°12'07.8" N and 24°32'52.9" E. Weather statistics were obtained from the Meteopost website (<https://meteopost.com/weather/climate/>). The experimental plot is characterized by deep gleyed soddy sandy-loam soil with 4 % humus content in the arable layer, elevated levels of easily hydrolyzable nitrogen and available phosphorus, medium levels of exchangeable potassium, and a slightly acidic pH of 5.6–5.8. Traditional research methods were applied.*

Results. *Over 14 years of observations, the climatic norm for precipitation, set at 748 mm, was exceeded in 9 years and fell below the norm in 5 years, with record-low precipitation in 2022 and 2024. The average annual temperature over 14 years, as well as in the last three years, showed a tendency to increase. In the last three years, July recorded lower average monthly temperatures compared to August, with temperatures reaching 20–21°C in 2022 and 2023. Under these conditions, soybeans provided an average three-year yield range of 2.81–3.95 t/ha of grain. With the nitrogen fertilization system N₃₀ (ammonium sulfate) on a P₆₀K₆₀ background and the use of a nitrogen-fixing inoculant, the highest three-year yield was achieved, with a maximum grain yield of 4.12 t/ha in 2023. This vegetative period was the most favorable for the crop, yielding 0.40 t/ha more than the average for 2022–2024.*

Conclusions. *The use of nitrapyrin and inoculants under different systems of nitrogen fertilization of soybeans on the P₆₀K₆₀ phosphorus-potassium background had different effectiveness, depending on the hydrothermal conditions of vegetation in Male Polissia on sod deep clayey sandy-light loamy soil. The use of the nitrate stabilizer N-Lok™ (applied before sowing at 1.7 l/ha) on a N₃₀+N₃₀P₆₀K₆₀ background resulted in a soybean yield of 3.90 t/ha, which was 0.36 t/ha higher than the N₃₀ (ammonium sulfate) on a P₆₀K₆₀ background, considered the traditional production method.*

Key words: *weather, ammonium sulfate, ammonium nitrate, nitrification inhibitor, soybeans, nitrogen fixation, phosphorus mobilization, grain yield.*