

ОЦІНКА ЗАХОДІВ БІОЛОГІЗАЦІЇ АЗОТНОГО ЖИВЛЕННЯ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО В УМОВАХ ПІВДЕННОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

РУДІК О. Л. – доктор сільськогосподарських наук, професор

orcid.org/0000-0003-1384-5523

Одеський державний аграрний університет

ЛОТОЦЬКИЙ О. В. – аспірант

orcid.org/0009-0007-9833-3514

Одеський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Відповідно до зростання попиту на світовому ринку на насіння льону олійного та продукти його переробки, підвищується і зацікавленість виробників у вирощуванні цієї несправедливо забутої культури [1–4]. Важливою перевагою льону є те, що за нинішнього рівня цін його експорт залишається рентабельним навіть за умов використання більш витратних автоперевезень. Технологія вирощування олійного льону перебуває під впливом сучасних викликів, зумовлених як змінами клімату, так і трансформацією споживчих вимог. З одного боку, агропромисловість стикається з прогресуючою посушливістю клімату, що проявляється в зростанні середніх температур та нерівномірному розподілі опадів протягом вегетації. З іншого – зростає попит на продукцію харчового використання, отриману за умов мінімального використання хімічних засобів. Усе зазначене формує додаткові вимоги до технології вирощування культури.

Наявність сучасних високоврожайних пластичних та посухостійких сортів, запровадження інноваційних елементів є обов'язковими складовими інтенсивних технологій. Проте питання оптимальної й економічно доцільної системи живлення рослин, а також можливості органічного виробництва льону олійного залишаються незмінно актуальними [5–8].

Льон олійний є типовою азотофільною культурою, яка для формування насіння та відповідної кількості побічної продукції потребує 65–70 кг/га азоту, причому основна частка його споживання припадає на період від фази «ялинка» до цвітіння [9]. В умовах постійного зростання цін на мінеральний азот його застосування виходить за межі рентабельності багатьох культур, особливо в умовах тривалої посухи, що характерна для останніх років [10].

Одним із перспективних шляхів розв'язання проблеми азотного живлення, який водночас є напрямком переходу до органічного виробництва, вважається впровадження в технологію вирощування біологічних препаратів на основі штамів бактерій асоціативної азотфіксації. Це особливо важливо з огляду на відсутність природньої симбіотичної фіксації азоту культурою [11].

Вітчизняними та закордонними науковцями та виробниками запропоновано цілу низку біологічних препаратів покликаних покращувати азотне живлення сільськогосподарських культур, зокрема льону [12, 13]. Пропонуються продукти з різними штамми бактерій (*Agrobacterium radiobacter*; *Azotobacter chroococcum* та ін.), як самостійно так і в поєднанні із фітогормонами,

амінокислотами та мікроелементами. Ефективність таких препаратів аргументується, переважно лабораторними дослідженнями [14, 15]. Для підтвердження їх ефективності у конкретних господарсько-польових умовах необхідно проводити системні дослідження, результати яких можуть відповісти на питання – який саме біологічний препарат може покращити ефективність виробництва, чим допомогти виробнику у подоланні викликів що склалися.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Посилаючись на практичний досвід агропромисловців та наукові дослідження, можна відмітити, що використання мінеральних азотних добрив, при вирощуванні льону забезпечує вищу урожайність, порівняно із застосуванням біологічних препаратів [16, 17]. Але, що стосується показників якості продукції, екологічних критеріїв, така технологія безперечно має перевагу [18]. Слід також враховувати економічний ефект від застосування біологічних препаратів живильної дії. За даними дослідників, витрати на застосування біологічних елементів технології вирощування льону кудряшу переважно становлять від 2 до 4 % реалізаційної вартості вирощеної продукції [19].

Результати дослідження науковців Інституту зрошувального землеробства НААН показали, що з використанням мінеральних добрив, які, на думку вчених, є обов'язковим елементом технології вирощування льону олійного, істотно підвищувалася урожайність насіння та вмісту в ньому олії. Найвищою була олійність у сорту Віра 46 % у незрошуваних умовах за внесення $N_{60}P_{60}$ де вихід олії складав 569 кг/га. Внесення мінеральних добрив $N_{90}P_{60}$ забезпечило досягнення найвищої урожайності насіння сортів Еврика, Орфей та Віра відповідно 13,3; 14,5 та 14,7 ц/га [20].

Відомо також про багатосторонній позитивний ефект від поєднаного застосування мінеральних добрив та біологічних препаратів у системі азотного живлення. Зокрема, дослідники ДУ «Миколаївська державна сільськогосподарська дослідна станція ІКОСГ НААН» встановили, що передпосівна обробка насіння біопрепаратом Азотофіт (1 л/т), як самостійно, так і в поєднанні з нормою добрив $N_{15}P_{15}K_{15}$, сприяла раціональнішому використанню атмосферних опадів і запасів ґрунтової вологи сортами Водограй, Добродар та Запорізький богатир. [21].

Науковці Асканійської ДСДС Інституту зрошувального землеробства НААН встановили, що дворазове застосування препарату Азофосфорин, для обробки насіння (100 мл на гектарну норму) + обробка посівів у фазу

«ялинка» (1 л/га) забезпечувало підвищення урожайності насіння на 1,1 ц/га, та збільшення умовного виходу жиру на 31 % [22].

У досліджах Львівської філії ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого» одноразове позакореневе внесення біологічного препарату Азотофіт-р (0,1 л/га), сприяло підвищенню урожайності олійного льону на 1,3 ц/га та забезпечило високий економічний ефект [23].

Науковцями Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН шляхом польових досліджень встановлено, що передпосівна обробка біологічним препаратом Екофосфорин (*Azotobacter chroococcum*, *Azotobacter vinelandii*, *Agrobacterium radiobacter* і *Bacillus megaterium*) насіння льону олійного сорту Орфей (1 л/т) та рослин по вегетації культури у фазу «ялинки» (1 л/га), призводить до збільшення урожайності насіння на 1 ц/га порівняно із контролем (обробка насіння водою 1 л/т) [24].

Узагальнивши наукові публікації приходимо висновку, що досліджень із впливу біологічних препаратів асоціативної азотфіксації на продуктивність льону олійного, в посушливих умовах Півдня України є недостатньо, особливо порівняльного застосування препаратів та азотних добрив.

Метою статті є оцінка впливу біологічних препаратів на азотне живлення льону олійного та підвищення урожайності культури в сучасному виробництві, оцінка перспектив упровадження біологічних елементів системи азотного живлення в сучасних технологіях за умов посушливого клімату Півдня України.

Матеріали і методи досліджень. Польові дослідження проводились в 2023–2025 рр. на базі Одеської ДСДС Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН України у селищі Хлібодарське, Одеського району, Одеської області. Методики проведення дослідів були рекомендовані для польових досліджень. Сівозміна шестипільна (горох – пшениця м'яка озима – нут – пшениця тверда озима – льон – просо). Агротехніка вирощування культури є рекомендованою для зони Південного Степу. Луцання стерні попередника проводили агрегатом ЛДА – 2,1 на глибину 5–7 см., оранку плугом ПЛН 3–35 на глибину 20 см., передпосівну культивування – культиватором КПС–3,5 Гермес на глибину 3–4 см. Сівбу проводили за настання фізичної стиглості ґрунту: 30 березня 2023 року та 1 квітня в 2024 та 2025 роках. Для сівби використовували селекційну сівалку точного висіву «Клен–1,5» у режимі із звичайним рядковим способом сівби за ширини міжряддя 15 см. Норма висіву склала 600 шт. схожого насіння/м². В досліді використали посухостійкий та рекомендований для вирощування у Південних регіонах України сорт льону олійного «Водограй» Інституті олійних культур НААН України. Насіння обробляли біологічними препаратами згідно рекомендацій виробника безпосередньо перед сівбою. В досліді використано продукт відділу загальної та ґрунтової мікробіології Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України – (Екориз); та препарат «БТУ–Центр» – (Азотофіт-р).

Бур'яни контролювали шляхом застосування у фазі «ялинки» проти двосім'ядольних видів гербіциду Агрітокс

(1 л/га), та із інтервалом у два тижні, проти односім'ядольних видів, гербіциду Грінфорт (1,5 л/га). Варіанти були розміщені методом рендомізованих блоків у чотириразовій повторності. Посівна площа ділянок останнього порядку 37,2 м², облікова – 25 м². Мінеральні добрива, аміачну селітру виробництва ПАТ «Азот», м. Черкаси, вносили поверхнево у передпосівну культивування.

Схема досліду передбачала шість варіантів обробки насіння та внесення добрив: 1) Контроль, сівба насінням обробленого водою (1 л/т); 2) Екориз (1 л/т); 3) Азотофіт–Р (1 л/т); 4) фон N₁₅ сівба насінням обробленого водою (1 л/т); 5) фон N₃₀ сівба насінням обробленого водою (1 л/т); 6) фон N₄₅ сівба насінням обробленого водою (1 л/т).

Застосовані препарати мають азот–фіксуєючий та одночасно ріст–стимулюєючий механізми впливу.

Екориз – бактеріальний препарат на основі рістстимулюєючих асоціативних азотфіксуєючих ґрунтових бактерій *Agrobacterium radiobacter* IMB B–7246. Титр живих клітин бактерій у препараті становить не менше $5\text{--}7 \cdot 10^9$ клітин/мл.

Азотофіт-р – мікробний препарат, що містить живі клітини та бактерії *Azotobacter chroococcum*, які фіксують азот з атмосфери, переводять його природним чином у доступну для рослин форму. Бактерії здатні виробляти фітогормони (ауксини, гібереліни, цитокініни) які є біостимуляторами росту і розвитку рослин. Препарат містить клітини бактерії *Azotobacter chroococcum* в кількості не менше $1,0 \cdot 10^9$ КУО/см³.

Результати дослідження. Відомо, що гідротермічні умови проведення досліджень із біологічними препаратами є вагомим фактором впливу на результативність застосування як живих культур так і добрив [25]. Кількість опадів і температурний режим, які визначали умови періоду вегетації льону олійного, взяті із відкритих джерел по м. Одеса [26, 27].

Погодні умови суттєво різнилися від метеорологічної норми значень, в окремі роки та характеризувалися значною нестабільністю по надходженню опадів, температурному режиму та відповідно значення ГТК. За значеннями коефіцієнту Селянинова найбільш посушливим був 2023 рік. Тривалість посухи припала на основні фази розвитку льону від стеблуння і до завершення вегетації. При чому значення показника з травня по липень перебували на позначках, що відповідають екстремальній посуші (рис. 1).

Найбільш наближеними до багаторічних значень ГТК зони були умови 2024 року. Впродовж вегетації культури показник індексу був вище від багаторічної норми, з незначним зниженням у травні та зі зниженням у липні наприкінці вегетаційного періоду. В 2025 році спостерігалось перевищення значення ГТК у травні, тоді як решта місяців вегетації були посушливими.

Середньомісячні температури повітря $t_{(IV-VII)}$ у роки дослідження відповідно коливалися від 9,8 до 23,8; від 14,6 до 27,3; від 10,1 до 25,3. Найбільш наближеними до норми суми активних температур (1870 °С) були 2023 та 2025 роки із показниками 1909 та 1851 °С відповідно. У 2024 році сума температур була суттєво вище норми і склала 2058 °С.

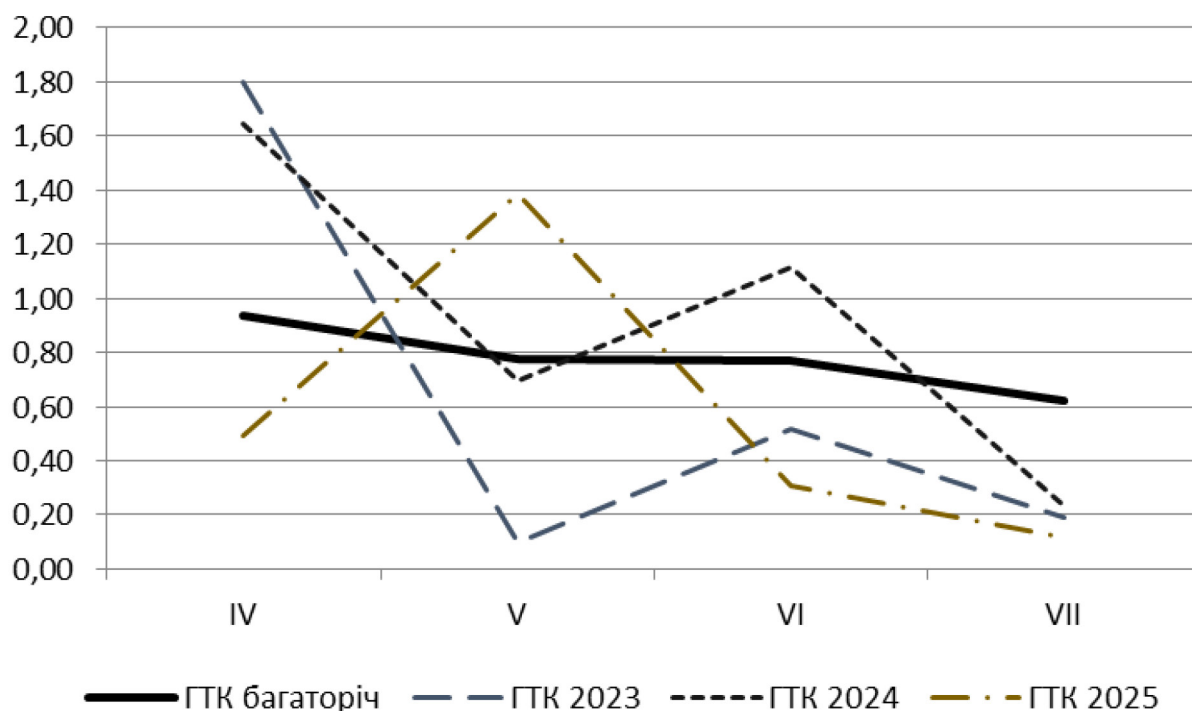


Рис. 1. Показники весняно-літнього періоду 2023–2025 рр. та норма значень ГТК

У таких неоднозначних абіотичних умовах проявилися наступні особливості впливу біологічних препаратів на елементи структури врожаю льону олійного (табл. 1).

Всі досліджувані біологічні препарати мали позитивний вплив на ріст та розвиток рослин льону, що проявилось у формуванні елементів індивідуальної продуктивності рослин.

Препарати Азотофіт-р та Екориз, при обробці насіння, в середньому за роки досліджень мали однаковий вплив на формування коробочок, збільшуючи їх кількість на 0,43 шт., що складає 8,5 %. Найбільші значення даного показника були встановлені на варіантах мінерального удобрення. Так внесення N_{45} збільшувало кількість коробочок на 0,88 шт., а N_{30} на 0,58 шт./рослину, що відповідно складає 11,5 та 17,5 %. В групі варіантів мінерального живлення найменшим, проте істотними,

були значення фону N_{15} де кількість коробочок збільшилася на 0,37 шт. (1,9 %), що є статистично достовірним результатом за величиною HIP_{05} .

Всі досліджувані зразки біологічних препаратів одночасно істотно вплинули на такий елемент структури урожаю як кількість насінин в одній коробочці. Обробка посівного матеріалу препаратом Азотофіт-р збільшувала кількість насіння на 5,56 %; препаратом Екориз на 4,45 %. У варіантах із внесенням азоту, статистично підтверджено збільшення кількості насіння в коробочці на фоні N_{45} – 6,04 % та за норми добрив N_{30} на 5,40 %. У варіанті внесення добрив N_{15} даний показник збільшився в абсолютній величині на 1,91 %, проте таке перевищення було статистично не достовірним.

Статистично достовірного впливу досліджуваних препаратів на масу 1000 насінин не було виявлено. Перевищення в абсолютних значеннях показника, що відмічено по кожному із варіантів, було меншим за значення HIP_{05} . Такий результат, на нашу думку, зумовлений посушливістю умов та вичерпуванням запасів ґрунтової вологи в період наливу насіння, що було відмічено в усі роки досліджень.

Варіанти досліду із внесенням мінерального азоту забезпечували підвищення маси 1000 насінин на 0,33 г та 0,19 г відповідно для фону живлення N_{45} та N_{30} . Рослини на цих варіантах формували більшу біомасу, що позначилося на відтоку пластичних речовин у процесі наливу насіння. На варіанті внесення азоту N_{15} маса тисячі насінин набувала найменших значень та становила 5,99 г.

Позитивний вплив елементів системи азотного живлення на складові структури врожаю підтверджуються розрахунками коефіцієнту кореляції. Встановлено тісні прямі кореляційні зв'язки між кількістю коробочок та

Таблиця 1

Структура урожаю льону олійного залежно від застосування біологічних препаратів та добрив, (середня за 2023–2025 рр.)

Варіант	Структура урожаю льону олійного		
	кількість коробочок з рослини, шт.	кількість насінин в коробочці, шт.	маса 1000 насінин, г.
Контроль	5,03	6,30	6,02
Азотофіт-р	5,46	6,65	6,09
Екориз	5,46	6,58	6,04
N_{15}	5,40	6,42	5,99
N_{30}	5,61	6,64	6,21
N_{45}	5,91	6,68	6,35
$HIP_{0,5}$	0,16	0,21	0,19

кількістю насіння в коробочці при застосуванні таких заходів $r = 0,863$ а також між кількістю коробочок та масою 1000 штук насіння $r = 0,850$. Посилення азотного живлення рослин також одновекторно впливало на процеси формування кількості насіння в коробочці та маси його 1000 шт., між якими коефіцієнт кореляції складав $r = 0,711$.

В несприятливих, надзвичайно посушливих, умовах 2023 року біологічні препарати та фони мінерального живлення забезпечували найнижчий врожай та найменшу прибавку порівняно із контролем (табл. 2).

Таблиця 2

Урожайність насіння льону олійного залежно від застосування біологічних препаратів та добрив, ц/га (середня за 2023–2025 рр.)

Варіант	Урожайність льону олійного, ц/га			
	2023 р.	2024 р.	2025 р.	середнє
Обробка насіння водою	7,36	8,55	10,85	8,92
Азотофіт-р	7,72	10,22	11,65	9,86
Екориз	7,67	9,92	11,53	9,71
N ₁₅	7,92	9,44	11,14	9,50
N ₃₀	8,87	10,60	11,92	10,46
N ₄₅	9,67	11,63	12,77	11,36
HIP _{0,5}	0,28	0,42	0,47	0,23

Так застосування препарату Азотофіт-р для обробки насіння збільшувало урожайність на 0,36 ц/га а Екориз на 0,31 ц/га, що становить 4,9 % та 4,2 % відповідно. Натомість всі варіанти дослідів із внесенням мінерального азотного добрива забезпечували прибавку в межах від 7,6 % на фоні N₁₅ до 31,4 % на фоні N₄₅. Такий результат впливу біопрепаратів зумовлений екстремальною посухою, яка розпочалася в травні місяця і тривала до завершення вегетації культури. Ґрунтова посуха в період активних температур ґрунту обмежувала активність мікроорганізмів, пригнітила розвиток кореневої системи, що не дозволило ефективно функціонувати такій біосистемі. В результаті чого рослини льону сформували меншу біомасу і як наслідок урожай.

Сприятливі погодні умови 2024 року забезпечили істотне підвищення врожайності порівняно з контролем у варіантах застосування досліджуваних біопрепаратів та добрив. Зростання врожаю проявилось у прирості абсолютних показників, які значно перевищували істотний рівень отриманий за результатами статистичного аналізу. Контрольний варіант (обробка насіння водою) забезпечив найнижчу урожайність 8,55 ц/га, що відображає природний рівень родючості. Застосування препарату Азотофіт-р забезпечило підвищення урожайності на 1,67 ц/га, а Екориз на 1,43 ц/га, що складає відповідно 19,5 та 16,0 %, та свідчить про їх позитивний вплив на формування врожаю в умовах року. Зростання урожайності за рахунок внесення мінерального азоту нормою N₁₅ складало 0,89 ц/га, тоді як за норми N₃₀ 2,05 ц/га а норми N₄₅ 3,08 ц/га. По відношенню до контролю таке зростання складало відповідно 10,4; 24,0 та 36,0 %.

У 2025 році урожайність льону олійного також демонструвала чітку тенденцію до зростання під впливом застосування біологічних препаратів та зростаючих норм азотного живлення. Використання біопрепарату Азотофіт-р забезпечило підвищення урожайності відносно контролю 10,85 т/га на 7,4 % (0,8 ц/га), а препарату Екориз на 6,3 % (0,68 ц/га), що свідчить про високу їхню ефективність за даних умов. При внесенні мінеральних добрив додатковий приріст урожайності складав на фоні N₁₅ 0,29 ц/га, на фоні N₃₀ 1,07 т/га а на фоні N₄₅ 1,92 ц/га.

У середньому за 2023–2025 рр. отриманні данні свідчать про стабільну позитивну реакцію культури на застосування біологічних препаратів та підвищення фону мінерального азоту. При цьому висока урожайність досягається в умовах достатнього азотного забезпечення. У середньому на варіанті контролю (обробка насіння водою) урожайність складала 8,92 ц/га. Застосування біопрепаратів Азотофіт-р та Екориз сприяло підвищенню врожайності порівняно з контролем відповідно на 10,53 та 8,85 %, та достовірно свідчить про їх позитивний вплив на азотне живлення посівів та загальну продуктивність культури.

Внесення мінерального азоту у нормах N₁₅, N₃₀ та N₄₅ забезпечило стабільне зростання врожайності відповідно на 0,58; 1,54 та 2,44 ц/га. Найбільший урожай – 11,36 ц/га та його приріст (27,3 %), отримано за максимальної норми азоту, що підтверджує ефективність азотного живлення у формуванні високої продуктивності льону олійного. За наближеними розрахунками обробка насіння льону біопрепаратами Азотофіт-р та Екориз співставно із внесенням мінеральних добрив відповідно нормою N_{20,6} та N_{18,2}.

Висновки і перспективи. Біологічні препарати асоціативної азотфіксації Азотофіт-р та Екориз при передпосівній обробці насіння льону, позитивно впливають на формування елементів структури врожаю, що забезпечує підвищення кількості коробочок на рослину на 8,55 %, кількості насінин в одній коробочці на 4,45–5,56 %. Препарат Азотофіт-р має більш виражений позитивний ефект і забезпечує збільшення кількості коробочок на 8,55 %; насіння – 5,56 % та підвищення урожайності на 10,53 %.

Внесенням азоту N₁₅ збільшувало кількість коробочок на 7,35 %; насіння – 1,90 %; підвищення урожайності на 6,50 %. Збільшення норми азоту до N₃₀ та N₄₅ забезпечує зростання кількості коробочок на 11,53–17,49 %; насіння на 5,39–6,03 %; підвищення урожайності на 17,26–27,35 %.

Найвищий урожай насіння, 11,36 ц/га, отримано при внесенні азоту нормою N₄₅.

Обробка насіння льону біопрепаратами Азотофіт-р та Екориз співставно із внесенням мінеральних добрив відповідно нормою N_{20,6} та N_{18,2}.

Отримані результати свідчать, що використання біологічних препаратів асоціативної азотфіксації у виробництві льону олійного є екологічно обґрунтованим та перспективним напрямком розвитку льонарства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Лон–кудряш повертається на карту олійних культур. URL: <https://ukragroconsult.com/news/lyon-kudryash-povertayetsya-na-kartu-olijnyh-kulytur/>
2. Xing Z., Tang. Flaxseed oil: extraction, health benefits and products. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*. 2021. No13(1). P. 1–19.
3. Stavropoulos P., Mavroeidis A., Papadopoulos G., Roussis I., Bilalis D., Kakabouki I. On the Path towards a “Greener” EU: A Mini Review on Flax (*Linum usitatissimum* L.) as a Case Study. *Plants*. 2023. No 12. P. 1–13.
4. Жуйков О. Г., Мельник М. А. Лон олійний в Україні – культура втрачених можливостей. *Таврійський науковий вісник*. 2022. № 123. С. 62–67. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.123.9>
5. Чуприн О. В., Пономарьова М. С. Агротехнічні та економічні аспекти вирощування льону олійного як механізм забезпечення високоефективного агрови­робництва. *КНЕУ. Вчені записки*. 2023. № 33. С. 315–322. https://doi.org/10.33111/vz_kneu.33.23.04.29.201.207
6. Tse T. J., Guo Y., Shim Y. Y., Purdy S. K., Kim J. H., Cho J. Y., Alcorn J., Reaney M. J. T. Availability of bioactive flax lignan from foods and supplements. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023. № 63(29). P. 9843–9858. doi:10.1080/10408398.2022.2072807
7. Gorach O. O. Current state of production and prospects of the use of oily flax in the food industry. *Intellectual and technological potential of the XXI century*: Monograph. 2023. No1. P. 41–59.
8. Hu Y., Tse T. J., Shim Y. Y., Purdy S. K., Kim Y. J., Meda V., Reaney M. J. T. A Review of flaxseed lignan and the extraction and refinement of secoisolariciresinol diglucoside. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022. Vol.64(15). P. 5057–5072. doi:10.1080/10408398.2022.2148627
9. Шувар А. М. Вплив форм азотних добрив на продуктивність льону олійного в умовах Лісостепу Західного. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2018. № 26. С. 108–114.
10. Вожегова Р. А., Нетіс І. Т., Онфран Л. І., Сахацький Г. І., Шарата Н. Г. Зміна клімату та проблема аридизації Південного Степу України. *Аграрні інновації*. 2021. № 7. С. 16–20.
11. Shumenova N., Nauanova A., Tleppayeva A., Ospanova S., Bekenova S. Effectiveness of microbial biofertilisers in oilseed flax cultivation technologies in the conditions of Northern Kazakhstan. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*. 2023. Vol. 18, No.2. P. 385–393. <https://doi.org/10.18280/ij dne.180216>
12. Волкогон В. В., Москаленко А. М., Дімова С. Б., Волкогон К. І., Пиріг О. В., Сидоренко В. П. Мікробні препарати в технологіях вирощування сільськогосподарських культур як чинник регулювання активності процесу денітрифікації. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2019. № 29. С. 3–11. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.29.3-11>
13. Остапчук М. О., Поліщук І. С., Мазур В. А. Мікробіологічні препарати – складова органічного землеробства. *Збірник наукових праць ВНАУ*. 2011. № 7 (47). С. 11–16.
14. Козар С. Ф., Білоконська О. М., Кравченко Н. О. Біосинтез фітогормонів та вірулентність *Azotobacter Chroococcum* 2.1 – Інокулянта *Cucumis sativus* L. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2022. № 35. С. 17–27.
15. Velmourougane K., Prasanna R. Influence of L-amino acids on aggregation and biofilm formation in *Azotobacter chroococcum* and *Trichoderma viride*. *Journal of Applied Microbiology*. 2017. № 123. P. 977–991.
16. Klein J., Zikeli S., Claupein W., Gruber S. Linseed (*Linum Usitatissimum*) as an Oil Crop in Organic Farming: Abiotic Impacts on Seed Ingredients and Yield. *Org. Agric*. 2016. № 7. P. 1–19.
17. Зелінський Ю. А. Урожайність льону олійного залежно від передпосівної обробки насіння, сортових особливостей та оптимізації живлення в умовах Південного Степу України. *Аграрні інновації*. 2024. № 28. С. 193–199.
18. Heller K., Wielgusz K. Yields of linseed cultivar Bukoz in organic and conventional farming. *J. Res Appl Agric Engng*. 2011. № 56 (3). P. 138–142.
19. Compant S., Duffy B., Nowak J., Clément C., Barka E. A. Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects. *Appl. Environ. Microbiol*. 2024. № 71. P. 4951–4959.
20. Вожегова Р. А., Боровик В. А., Коновалова В. М. Урожайність і якість насіння сортів льону олійного в Південному Степу України залежно від різних умов вирощування. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 3. С. 82–87.
21. Зелінський Ю. А. Вплив факторів вирощування на водоспоживання сортів льону олійного в умовах Південного Степу України. *Аграрні інновації*. 2025. № 30. С. 270–276.
22. Сябрук Т. А., Коновалова В. М., Левенець Т. П., Рудік О. Л. Вплив біологічних препаратів на продуктивність льону олійного в умовах Південного Степу України. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2021. № 34. С. 61–68. DOI: <https://doi.org/10.35868/1997-3004.34.61-68>
23. Думич В. Дослідження ефективності застосування біопрепаратів у технології вирощування льону олійного. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільськогосподарства України. *Збірник наукових праць УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого*. 2019. № 24. С. 296–301.
24. Заєць С. О., Мельник М. А. Врожайність льону олійного залежно від агрометеорологічних умов року та застосування мікробіологічних препаратів. *Аграрні інновації*. 2024. № 26. С. 34–40.
25. Бараболя О. В., Колісник А. В. Вплив метеорологічних умов і мінерального живлення на врожайність льону олійного в умовах Степу України. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 132. С. 3–10.
26. Метеорологічні показники за 2023–2025 рр. URL: [https:// meteoblue.com](https://meteoblue.com)
27. Середня багаторічна норма опадів та температури за місяцями з 2013 по 2022 рр. URL: <https:// meteopost.com.com>

REFERENCES:

1. Lon–kudriash povertaietsia na kartu oliinykh kultur [Flaxseed returns to the oilseed crop map]. URL: <https://ukragroconsult.com/news/>

- lyon–kudryash–povertayetysya–na–kartu–olijnyh–kulytur [in Ukrainian].
2. Xing, Z., & Tang. (2021). Flaxseed oil: extraction, health benefits and products. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 13(1), 1–19.
 3. Stavropoulos, P., Mavroeidis, A., Papadopoulos, G., Roussis, I., Bilalis, D., & Kakabouki, I. (2023). On the Path towards a “Greener” EU: A Mini Review on Flax (*Linum usitatissimum* L.) as a Case Study. *Plants*, 12, 1–13.
 4. Zhuikov, O. H., & Melnyk, M. A. (2022). Lon oliinyi v Ukraini – kultura vtrachenykh mozhlyvostei [Flaxseed in Ukraine – a culture of lost opportunities]. *Tavriyskiy naukovyi visnyk*, 123, 62–67. DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.123.9> [in Ukrainian].
 5. Chupryn, O. V., & Ponomarova, M. S. (2023). Ahrotekhnichni ta ekonomichni aspekty vyroshchuvannya lonu oliinoho yak mekhanizm zabezpechennia vysokoefektyvnoho ahrovyrobnystva [Agrotechnical and economic aspects of growing oil flax as a mechanism for ensuring highly efficient agricultural production]. *KNEU. Vcheni zapysky*, 33, 315–322. URL: https://doi.org/10.33111/vz_kneu.33.23.04.29.201.207 [in Ukrainian].
 6. Tse, T. J., Guo, Y., Shim, Y. Y., Purdy, S. K., Kim, J. H., Cho, J. Y., Alcorn, J., & Reaney, M. J. T. (2023). Availability of bioactive flax lignan from foods and supplements. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(29), 9843–9858. doi:10.1080/10408398.2022.2072807
 7. Gorach, O. O. (2023). Current state of production and prospects of the use of oily flax in the food industry. *Intellectual and technological potential of the XXI century: monograph*, 1, 41–59.
 8. Hu, Y., Tse, T. J., Shim, Y. Y., Purdy, S. K., Kim, Y. J., Meda, V., & Reaney, M. J. T. (2022). A Review of flaxseed lignan and the extraction and refinement of secoisolariciresinol diglucoside. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Vol. 64(15). P. 5057–5072. doi:10.1080/10408398.2022.2148627.
 9. Shuvar, A. M. (2018). Vplyv form azotnykh dobryv na produktyvnist lonu oliinoho v umovakh Lisostepu Zakhidnoho [The influence of forms of nitrogen fertilizers on the productivity of oil flax in the conditions of the Western Forest–Steppe]. *Naukovo–tekhnichniy biuletyn Instytutu oliinykh kultur NAAN*, 26, 108–114 [in Ukrainian].
 10. Vozhehova, R. A., Netis, I. T., Onufra, L. I., Sakhatyskiy, H. I., & Sharata, N. H. (2021). Zmina klimatu ta problema aridyzatsii Pivdennoho Stepu Ukrainy [Climate change and the problem of aridification of the Southern Steppe of Ukraine]. *Ahrarni innovatsii*, 7, 16–20 [in Ukrainian].
 11. Shumenova, N., Nauanova, A., Tleppayeva, A., Ospanova, S., & Bekenova, S. (2023). Effectiveness of microbial biofertilisers in oilseed flax cultivation technologies in the conditions of Northern Kazakhstan. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 18, 385–393. <https://doi.org/10.18280/ijdne.180216>
 12. Volkohon, V. V., Moskalenko, A. M., Dimova, S. B., Volkohon, K. I., Pyrih, O. V., & Sydorenko, V. P. (2019). Mikrobni preparaty v tekhnolohiiakh vyroshchuvannya silskohospodarskykh kultur yak chynnyk rehuliuвання aktyvnosti protsesu denitryfikatsii [Microbial preparations in crop cultivation technologies as a factor in regulating the activity of the denitrification process]. *Silskohospodarska mikrobiolohiia*, 29, 3–11. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.29.3-11> [in Ukrainian].
 13. Ostapchuk, M. O., Polishchuk I. S., & Mazur, V. A. (2011). Mikrobiolohichni preparaty – skladova orhanichnoho zemlerobstva [Microbiological preparations – a component of organic farming]. *Zbirnyk naukovykh prats VNAU*, 7 (47), 11–16 [in Ukrainian].
 14. Kozar, S. F., Bilokonska, O. M., & Kravchenko, N. O. (2022). Biosyntezy fitohormoniv ta virulentnist *Azotobacter Chroococcum* 2.1 – Inokulianta *Cucumis sativus* L. [Phytohormone biosynthesis and virulence of *Azotobacter Chroococcum* 2.1 – *Cucumis sativus* L. inoculant]. *Silskohospodarska mikrobiolohiia*, 35, 17–27 [in Ukrainian].
 15. Velmourougane, K., & Prasanna, R. (2017). Influence of L–amino acids on aggregation and biofilm formation in *Azotobacter chroococcum* and *Trichoderma viride*. *Journal of Applied Microbiology*, 123, 977 – 991.
 16. Klein, J., Zikeli, S., Claupein, W., & Gruber, S. (2016). Linseed (*Linum Usitatissimum*) as an Oil Crop in Organic Farming: Abiotic Impacts on Seed Ingredients and Yield. *Org. Agric*, 7, 1–19.
 17. Zelinskyi, Y. A. (2024). Urozhainist lonu oliinoho zalezno vid peredposivnoi obrobky nasinnia, sortovykh osoblyvostei ta optymizatsii zhyvlennia v umovakh Pivdennoho Stepu Ukrainy [Yield of oil flax depending on pre–sowing seed treatment, varietal characteristics and nutrition optimization in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine]. *Ahrarni innovatsii*, 28, 193–199 [in Ukrainian].
 18. Heller, K., & Wielgusz, K. (2011). Yields of linseed cultivar Bukoz in organic and conventional farming. *J. Res Appl Agric Engng*, 56 (3), 138–142.
 19. Compant, S., Duffy, B., Nowak, J., Clément, C., & Barka, E.A. (2015). Use of plant growth–promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects. *Appl. Environ. Microbiol*, 71, 4951–4959.
 20. Vozhehova R. A., Borovyk V. A., Konovalova V. M. (2020). Urozhainist i yakist nasinnia sortiv lonu oliinoho v Pivdennomu Stepu Ukrainy zalezno vid riznykh umov vyroshchuvannya [Yield and quality of oilseed flax varieties in the Southern Steppe of Ukraine depending on different growing conditions]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 3, 82–87 [in Ukrainian].
 21. Zelinskyi, Y. A. (2025). Vplyv faktoriv vyroshchuvannya na vodospozhyvannya sortiv lonu oliinoho v umovakh Pivdennoho Stepu Ukrainy [The influence of growing factors on water consumption of oil flax varieties in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine]. *Ahrarni innovatsii*, 30, 270–276 [in Ukrainian].
 22. Siabruk, T. A., Konovalova, V. M., Levenets, T. P., & Rudik, O. L. (2021). Vplyv biolohichnykh preparativ na produktyvnist lonu oliinoho v umovakh Pivdennoho Stepu Ukrainy [Influence of biological preparations on oilseed flax productivity in the Southern Steppe of Ukraine]. *Silskohospodarska mikrobiolohiia*, 34, 61–68. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.34.61-68> [in Ukrainian].
 23. Dumych, V. (2019). Doslidzhennia efektyvnosti zastosuvannya biopreparativ u tekhnolohii vyrobnystva lonu oliinoho [Study of the efficiency of biological products application in oil flax production technology]. *Tekhnikotekhnolohichni aspekty rozvytku ta*

- vprovadzhennia novykh tekhnolohii i metodyk dlia silskoho hospodarstva Ukrainy. Zb. nauk. pr. UkrNDIPVT im. L. Pohoriloho*, 24(38), 296–301 [in Ukrainian].
24. Zaiets, S. O., & Melnyk, M. A. (2024). Vrozhainist lonu oliinoho zalezno vid ahrometeorolohichnykh umov roku ta zastosuvannia mikrobiolohichnykh preparativ [Yield of oil flax depending on the agrometeorological conditions of the year and the use of microbiological preparations]. *Ahrarni innovatsii*, 26, 34–40 [in Ukrainian].
 25. Barabolia, O. V., & Kolisnyk, A. V. (2023). Vplyv meteorolohichnykh umov i mineralnogo zhyvlennia na vrozhainist lonu oliinoho v umovakh Stepu Ukrainy [The influence of meteorological conditions and mineral nutrition on the yield of oil flax in the conditions of the Ukrainian Steppe]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*, 132, 3–10 [in Ukrainian].
 26. *Meteorolohichni pokaznyky za 2023–2025 rr.* [Meteorological indicators for 2023–2025]. URL: [https:// meteoblue.com](https://meteoblue.com) [in Ukrainian].
 27. *Serednia bahatorichna norma opadiv ta temperatury za misiatsiamy z 2013 po 2022 rr.* [Average longterm rate of precipitation and temperature by months from 2013 to 2022]. URL: [https:// meteoport.com.com](https://meteoport.com.com) [in Ukrainian].

Рудік О. Л., Лотоцький О. В. Оцінка заходів біологізації азотного живлення льону олійного в умовах Південного Степу України

Запровадження сучасних біологічних елементів у технологію вирощування льону олійного, які включають використання біологічних препаратів живильної дії рослин, для покращення умов росту та розвитку – є напрямком забезпечення споживача більш чистою та здоровою продукцією. **Метою статті** є узагальнення результатів польових досліджень щодо застосування біологічних препаратів асоціативної азотфіксації у сучасному виробництві льону кудряшу та оцінка перспектив запровадження біологічних елементів технології при його вирощуванні в посушливих умовах Півдня України. **Методи.** Під час збору та аналізу доступної наукової інформації були задіяні загальнонаукові методи такі як аналіз, синтез, абстрагування, узагальнення, порівняння. Польові дослідження проводились в 2023–2025 рр. на базі Одеської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН України у шестипільній сівоzmіні (горох – пшениця м'яка озима – нут – пшениця тверда озима – льон – просо) за загальноприйнятими методиками і вказівками. **Результати досліджень.** В середньому за роки дослідження встановлено, що біологічні препарати Азотофіт-р та Екориз позитивно впливають на формування елементів структури врожаю та урожайність, що забезпечує підвищення кількості коробочок на рослину на 8,55 %, кількості насінин в одній коробочці на 4,45–5,56 %; підвищенню врожайності на 8,85 % – 10,53 %. Внесенням азоту N_{15} збільшувало кількість коробочок на 7,35 %; насіння – 1,90 %; підвищення урожайності на 6,50 %. Збільшення норми азоту до N_{30} та N_{45} забезпечує зростання кількості коробочок на 11,53–17,49 %; насіння на 5,39–6,03 %; підвищення урожайності на 17,26–27,35 %. **Висновки.** Застосування мікробіологічних препаратів асоціативної азотфіксації Азотофіт-р (1 л/т) виробництва

«БТУ–Центр» та Екориз (1 л/т) Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України при вирощуванні льону олійного сорту Водограй сприяють підвищенню урожайності відповідно на 0,94 і 0,79 ц/га. Встановлено позитивний вплив біологічних препаратів на елементи структури врожаю. Обробка насіння льону біопрепаратами Азотофіт-р та Екориз співставно із внесенням мінеральних добрив відповідно нормою $N_{20,6}$ та $N_{18,2}$. Ефективність біопрепаратів залежить від погодно-кліматичних умов року.

Ключові слова: біологічні препарати, асоціативна азотфіксація, біологізація виробництва, структура урожаю, урожайність.

Rudik O. L., Lototsky O. V. Evaluation of measures for biologization of nitrogen nutrition of oilseed flax in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine

The introduction of modern biological elements into the technology of growing oil flax, which includes the use of biological preparations with plant nutritional effects to improve growth and development conditions, is a direction for providing consumers with cleaner and healthier products. **Purpose.** Summarize the results of field research on the use of biological preparations of associative nitrogen fixation in modern oil flax production and to assess the prospects for introducing biological elements of technology when growing it in arid conditions of Southern Ukraine. **Methods.** During the collection and analysis of available scientific information, general scientific methods such as analysis, synthesis, abstraction, generalization, comparison were used. Field research was conducted in 2023–2025 on the basis of the Odessa State Agricultural Research Station Institute of Climate-Oriented Agriculture of the NAAS of Ukraine in a six-field crop rotation (peas – soft winter wheat – chickpeas – hard winter wheat – flax – millet) according to generally accepted methods and instructions. **Research results.** On average, over the years of research, it was found that the biological preparations Azotofit – r and Ecoriz have a positive effect on the formation of crop structure elements and yield, which ensures an increase in the number of pods per plant by 8.55 %, the number of seeds in one pod by 4.45–5.56 %; an increase in yield by 8.85 %–10.53 %. Applying nitrogen N_{15} increased the number of pods by 7.35 %; seeds – 1.90 %; increased yield by 6.50 %. Increasing the nitrogen rate to N_{30} and N_{45} provides an increase in the number of pods by 11.53–17.49 %; seeds by 5.39–6.03 %; increased yield by 17.26–27.35 %. **Conclusions.** The use of microbiological preparations of associative nitrogen fixation Azotofit-R (1 l/t) produced by “BTU–Center” and Ecoriz (1 l/t) of the Institute of Microbiology and Virology named after D. K. Zabolotny of the NAS of Ukraine when growing oil flax of the Vodograi variety contributes to an increase in yield by 0.94 and 0.79 c/ha. A positive effect of biological preparations on the elements of the crop structure has been established. Treatment of flax seeds with biological preparations Azotofit-r and Ecoriz is comparable to the application of mineral fertilizers at the rate of $N_{20,6}$ and $N_{18,2}$, respectively. The effectiveness of biological preparations depends on the weather and climatic conditions of the year.

Key words: biological preparations, associative nitrogen fixation, biologization of production, crop structure, yield.

Дата першого надходження рукопису до видання: 28.10.2025
Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025
Дата публікації: 14.12.2025