

УДК 633.521:631.8:581.132.4

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.145.1.15>

ВПЛИВ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ПІДХОДІВ ДО ЖИВЛЕННЯ НА ФОТОСИНТЕТИЧНУ АКТИВНІСТЬ СОРТІВ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО

Зелінський Ю.А. – в.о. директора,

Державна установа «Миколаївська державна сільськогосподарська дослідна станція Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства

Національної академії аграрних наук України»

orcid.org/0009-0004-1033-7878

У статті висвітлено результати досліджень щодо впливу удосконаленої систем живлення та передпосівної обробки насіння на чисту продуктивність фотосинтезу льону олійного в умовах Південного Степу України. Актуальність роботи зумовлена нестабільним зволоженням, абіотичними стресами та потребою підвищення врожайності й якості насіння цієї культури. Наведено дані щодо сортів Водограй, Добродар і Запорізький богатир за вирощування на чорноземі південному. Обґрунтовано, що одним із важливих чинників формування врожайності є чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ), яка відображає приріст сухої речовини на одиницю площі листової поверхні за добу. Встановлено, що максимальні значення ЧПФ визначено у фазу бутонізації – цвітіння. У контрольних варіантах без добрив ЧПФ становила 2,00–2,17 г/м² на добу, тоді як застосування комплексного мінерального добрива N₁₅P₁₅K₁₅ у поєднанні з позакореновими підживленнями (Органік баланс, Боропті, Азотофіт) підвищувало цей показник до 7,68–8,05 г/м², що істотно перевищувало контроль. Особливо ефективною була передпосівна обробка насіння Азотофітом, яка у поєднанні з оптимізованим живленням сприяла максимальному підвищенню фотосинтетичної активності рослин навіть у критичні фази розвитку. Для варіантів без мінерального живлення, але з позакореновими підживленнями, ЧПФ також була вищою за контроль (6,50–6,73 г/м² на добу). Динаміка ЧПФ вказує на її максимальну активність у фазу бутонізації – цвітіння з подальшим зниженням на етапах формування та дозрівання насіння. За поєднання досліджуваних факторів урожайність насіння усіх сортів суттєво зростала. Максимальний середній рівень урожайності сформовано сортом Добродар – 1,64 т/га (2023 р., обробка насіння Азотофітом). Запорізький богатир забезпечив 1,63 т/га, Водограй – 1,58 т/га. За обробки насіння водою врожайність склала на рівнях 1,37, 1,38 і 1,33 т/га відповідно. Встановлено тісний кореляційний зв'язок між ЧПФ і врожайністю насіння льону олійного ($R^2=0,7683-0,9675$), що підтверджує важливу роль фотосинтетичної діяльності у формуванні врожаю. Отримані результати можуть бути використані для розробки ефективних ресурсозберігаючих технологій вирощування льону олійного в посушливих регіонах та підвищення конкурентоспроможності продукції.

Ключові слова: льон олійний, чиста продуктивність фотосинтезу, оптимізація живлення, біопрепарати, позакореневі підживлення, врожайність насіння, Південний Степ України.

Zelinskyi Yu.A. The influence of resource-saving nutrient management approaches on the photosynthetic activity of oil flax varieties

The article presents the results of research on the effect of an improved nutrition system and pre-sowing seed treatment on the net photosynthetic productivity of oil flax (*Linum usitatissimum* L.) under the conditions of the Southern Steppe of Ukraine. The study's relevance is determined by unstable moisture availability, abiotic stresses, and the need to increase the yield and quality of flaxseed in this region. Data are provided for the varieties Vodohrai, Dobrodar, and Zaporizkyi Bohatyr grown on southern chernozem soils. It is substantiated that one of the critical factors in yield formation is net photosynthetic productivity (NPP), which reflects the accumulation of dry matter per unit leaf area per day. It was found that the maximum NPP values were observed at the bud formation and flowering stages. In the control variants without fertilizers, NPP ranged from 2.00 to 2.17 g/m² per day. In contrast, the use of the complex mineral fertilizer N₁₅P₁₅K₁₅ combined with foliar feeding (Organic Balance, Boropty, Azotofit) increased this indicator to

7.68–8.05 g/m², which significantly exceeded the control. Pre-sowing seed treatment with Azotofit proved remarkably effective, as its combination with optimized nutrition ensured the highest increase in photosynthetic activity even in critical phases of development. For variants without mineral nutrition but with foliar treatments, NPP was also higher than the control (6.50–6.73 g/m² per day). The NPP dynamics indicate its peak activity at the bud formation–flowering stage, followed by a decline during seed formation and ripening. Combining the studied factors led to a significant increase in seed yield for all varieties. The highest average yield was provided by the Dobroodar variety–1.64 t/ha (2023, pre-sowing seed treatment with Azotofit). Zaporizkyi Bohatyr yielded 1.63 t/ha, and Vodohrai 1.58 t/ha. With seed treatment using water, the yields were 1.37, 1.38, and 1.33 t/ha, respectively. A close correlation between NPP and seed yield of oil flax was established ($R^2 = 0.7683–0.9675$), confirming the crucial role of photosynthetic activity in yield formation. The results can be used to develop effective resource-saving technologies for growing oil flax in arid regions and to enhance the competitiveness of flaxseed products.

Key words: oil flax, net photosynthetic productivity, nutrition optimization, biopreparations, foliar feeding, seed yield, Southern Steppe of Ukraine.

Постановка проблеми. В умовах сучасного землеробства, особливо у регіонах нестійкого зволоження і значних кліматичних ризиків, підвищення продуктивності та якості врожаю олійних культур набуває особливої актуальності. Льон олійний є однією з важливих технічних і олійних культур України, яка має високий експортний і біоенергетичний потенціал. Проте у зоні Південного Степу ефективність вирощування льону олійного значною мірою обмежується недостатнім зволоженням, нерівномірним надходженням елементів живлення та впливом абіотичних стресів.

Одним із основних факторів формування високої та сталої врожайності є чиста продуктивність фотосинтезу – показник, що відображає інтенсивність нагромадження сухої речовини посівом у певний період часу. Саме фотосинтетична діяльність посівів забезпечує основний приріст біомаси, формування структури врожаю та кінцевої якості насіння. Однак інтенсивність фотосинтетичних процесів льону олійного, а також здатність рослин реалізувати свій потенціал у конкретних умовах вирощування, значною мірою залежать від системи живлення, генетичних особливостей сорту та адаптації до стресових чинників.

Незважаючи на наявність численних наукових досліджень, комплексні підходи до оптимізації живлення льону олійного з урахуванням сучасних біопрепаратів, позакоренових підживлень і передпосівної обробки насіння залишаються недостатньо розкритими для агрокліматичних умов Південного Степу України. Актуальним є дослідження взаємозв'язку між елементами живлення, сортовими особливостями і показниками фотосинтетичної продуктивності як основи для розробки ефективних елементів технології вирощування, що забезпечують стале підвищення врожайності та якості насіння льону олійного.

Аналіз останніх досліджень. Чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) є важливим показником ефективності використання сонячної енергії посівами льону олійного та формування біомаси упродовж вегетації. Динаміка ЧПФ льону тісно пов'язана із площею листової поверхні, рівнем мінерального живлення, особливостями сорту та кліматичними умовами року вирощування [1–3].

Дослідженнями визначено, що найбільших значень ЧПФ льону олійного досягає у фазу бутонізації – цвітіння, коли рослини перебувають у найінтенсивнішій фазі росту [4]. Саме у цей період відзначають активне наростання листової поверхні, що забезпечує максимальний фотосинтетичний потенціал посіву, й інші автори [5]. Встановлено, що застосування оптимізованої системи живлення, особливо у поєднанні мінеральних добрив (НРК) з позакореновими підживленнями, суттєво підвищує ЧПФ – на 30–60% порівняно з контролем [6, 7].

Особливо помітна позитивна динаміка ЧПФ за проведення передпосівної обробки насіння біопрепаратами [6, 8], що підвищує ефективність використання рослинами елементів живлення й підсилює фотосинтетичну активність у критичні фази розвитку.

Важливим є встановлення тісного кореляційного зв'язку між чистою продуктивністю фотосинтезу та врожайністю льону олійного [1, 2, 6]. Коефіцієнти детермінації у сучасних дослідженнях авторів коливаються у межах 0,76–0,97, що свідчить про визначальну роль фотосинтетичних процесів у формуванні продуктивності посівів.

Крім того, адаптивні властивості сортів льону олійного до несприятливих погодних умов також опосередковано впливають на ЧПФ, забезпечуючи стабільність фотосинтетичної діяльності навіть за умов дефіциту вологи або високих температур [6, 9].

Загалом, огляд літератури свідчить, що підвищення ЧПФ льону олійного можливе завдяки комплексній оптимізації системи живлення, впровадженню біопрепаратів, раціональному підбору сортів та врахуванню специфіки погодних умов. Це є одним із основних шляхів підвищення врожайності та якості насіння культури льону олійного в сучасному агровиробництві.

Матеріали і методи досліджень. Експериментальні дослідження проводили на дослідному полі ДУ «Миколаївської державної сільськогосподарської дослідної станції ІКОСГ НААН». Сорти льону олійного Водограй, Добродар та Запорізький богатир вирощували після пшениці озимої. Грунтова відміна – чорнозем південний з вмістом гумусу в орному шарі ґрунту 3,2–3,3%, середньою забезпеченістю рухомими формами азоту, фосфору і калію. Агротехніка вирощування льону олійного у досліді була загальноприйнятою для зони Півдня України.

Льон олійний висівали у третій декаді березня – першій декаді квітня, коли температура ґрунту на глибині 5 см досягала 6–8 °С. Сівбу проводили нормою 5,5–7,0 млн схожих насінин на гектар, з глибиною загортання насіння 2–3 см. Перед сівбою насіння льону олійного обробляли біологічним препаратом Азотофіт у нормі 1,0 л/т для покращення азотного живлення та стимуляції росту, а також протруювали фунгіцидом Максим XL 035 FS у нормі 1,0 л/т з метою захисту від комплексу насінневої та ґрунтової інфекцій. У фазу 4–6 листків проводили позакореневе підживлення рослин згідно схеми досліді Органік баланс 1,0 л/га. На початку бутонізації проводили позакореневе підживлення Органік балансом 1,0 л/га та борвмісним препаратом Боропті у нормі 150 г/га. У фазу початку наливу насіння в період активного транспорту асимілянтів у генеративні органи проводили позакореневе підживлення Азотофітом 0,5 л/га.

Схема досліді включала 3 фактори: *Фактор А* – сорти льону олійного (Водограй, Добродар та Запорізький богатир). *Фактор В* – Обробка насіння перед сівбою (1. Обробка водою; 2. Обробка препаратом Азотофіт 1,0 л/т). *Фактор С* – Фон живлення (1. Контроль; 2. $N_{15}P_{15}K_{15}$; 3. $N_{15}P_{15}K_{15}$ + Органік баланс 1,0 л/га (фаза 4–6 листків); 4. $N_{15}P_{15}K_{15}$ + Органік баланс 1,0 л/га + Боропті 150 г/га (початок бутонізації); 5. $N_{15}P_{15}K_{15}$ + Азотофіт 0,5 л/га (початок наливу насіння); 6. Без добрив + Органік баланс 1,0 л/га (фаза 4–6 листків) + Органік баланс 1,0 л/га + Боропті 150 г/га (початок бутонізації) + Азотофіт 0,5 л/га (початок наливу насіння); 7. $N_{15}P_{15}K_{15}$ + Органік баланс 1,0 л/га (фаза 4–6 листків) + Органік баланс 1,0 л/га + Боропті 150 г/га (початок бутонізації) + Азотофіт 0,5 л/га (початок наливу насіння)). Спостереження за станом рослин, відбір зразків та

облік урожаю в дослідях із льоном олійним проводили згідно зональних методичних рекомендацій та ДСТУ [10–13].

Виклад основного матеріалу дослідження. Рівень фотосинтетичної діяльності визначається не лише площею листової поверхні та фотосинтетичним потенціалом посівів, важливим показником виступає чиста продуктивність фотосинтезу, яка відображає приріст загальної біомаси рослин стосовно площі листків за певний період вегетації. Чиста продуктивність фотосинтезу характеризує кількість сухої речовини, що утворюється за добу з розрахунку на 1 м² листової поверхні, та виражається у грамах. Ми розраховували значення чистої продуктивності фотосинтезу для рослин льону олійного у середньому по сортах та за роки вирощування (табл. 1).

У результаті трирічних досліджень (2022–2024 рр.) у середньому за сортами було встановлено істотний вплив різних варіантів живлення та передпосівної обробки насіння на чисту продуктивність фотосинтезу посівів льону олійного. Дані табл. 1 свідчать, що максимальні значення цього показника визначені у фазу бутонізація – цвітіння, коли рослини перебувають у найбільш активному етапі вегетативного розвитку.

Таблиця 1

Чиста продуктивність фотосинтезу посіву льону олійного (середнє по сортах за 2022–2024 рр.), г/м² за добу

Варіанти живлення (фактор С)	Передпосівна обробка насіння (фактор В)					
	Обробка водою			Обробка Азотофітом		
	Ялинка – Бутонізація	Бутонізація – Цвітіння	Цвітіння – Зелена стиглість насіння	Ялинка – Бутонізація	Бутонізація – Цвітіння	Цвітіння – Зелена стиглість насіння
1.Контроль	2,00	5,59	0,90	2,17	5,77	0,90
2.N ₁₅ P ₁₅ K ₁₅	2,17	6,23	1,25	2,23	6,55	1,40
3.N ₁₅ P ₁₅ K ₁₅ + Органік баланс	2,63	6,68	1,50	2,80	6,91	1,55
4.N ₁₅ P ₁₅ K ₁₅ + Органік баланс + Боропті	2,83	7,27	1,75	2,93	7,55	2,15
5.N ₁₅ P ₁₅ K ₁₅ + Азотофіт	3,00	6,82	1,50	2,97	7,18	1,90
6.Без добрив + Органік баланс + Органік баланс + Боропті + Азотофіт	2,27	6,50	1,70	2,30	6,73	1,90
7. N ₁₅ P ₁₅ K ₁₅ + Органік баланс + Органік баланс + Боропті + Азотофіт	2,83	7,68	2,25	2,87	8,05	2,50

У контрольному варіанті без добрив визначили найнижчі показники чистої продуктивності фотосинтезу – у межах 2,00–2,17 г/м² за добу у фазу ялинка–бутонізація та 0,90 г/м² у фазу цвітіння–зелена стиглість насіння, незалежно від способу передпосівної обробки насіння (водою чи Азотофітом).

Варіанти з мінеральним живленням N₁₅P₁₅K₁₅ забезпечували зростання фотосинтетичної активності рослин. У випадку поєднання внесення комплексного

мінерального добрива з проведенням позакореневх підживлень препаратами (Органік баланс, Боропті, Азотофїт) визначено подальше зростання чистої продуктивності фотосинтезу. Зокрема, у фазу бутонізації – цвітіння за комбінованого застосування $N_{15}P_{15}K_{15}$ + Органік баланс 1,0 л/га (фаза 4–6 листків) + Органік баланс 1,0 л/га + Боропті 150 г/га (початок бутонізації) + Азотофїт 0,5 л/га на початку наливу насіння значення досягали 7,68–8,05 г/м² за добу, що істотно перевищувало контроль.

Обробка насіння Азотофїтом також забезпечувала підвищення фотосинтетичної активності рослин у всіх варіантах живлення порівняно з передпосівною обробкою його водою, особливо у критичні фази росту. Найбільший позитивний ефект в наших дослідженнях визначено у варіантах, за поєднання мінерального удобрення з позакореневими підживленнями: у фазу цвітіння – зелена стиглість насіння продуктивність фотосинтезу становила до 2,50 г/м². За поєднання зазначених факторів істотно зростала врожайність насіння усіх досліджуваних сортів льону олійного (рис. 1). Найвищий середньозважений рівень урожайності забезпечив сорт Добродар – 1,64 т/га у 2023 році за передпосівної обробки насіння Азотофїтом. У сорту Запорізький богатир цей показник був таким же і становив 1,63 т/га, а сорту Водограй – 1,58 т/га. За обробки насіння водою зазначені сорти сформували врожайність насіння на рівнях 1,37, 1,38 і 1,33 т/га відповідно.

Для варіантів без внесення мінеральних добрив, але із проведенням підживлень препаратами (Органік баланс, Боропті, Азотофїт) також визначено вищі показники чистої продуктивності фотосинтезу порівняно з контролем. Однак абсолютні значення були істотно нижчими, порівняно з використанням оптимізації живлення: у фазу бутонізації – цвітіння – 6,50–6,73 г/м² за добу.

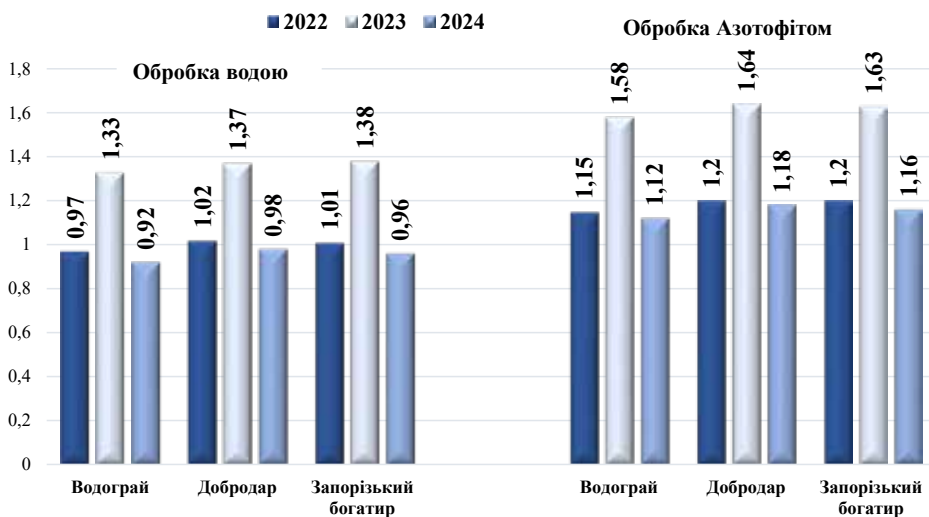


Рис. 1. Середньозважена врожайність насіння сортів льону олійного у роки вирощування залежно від передпосівної обробки насіння, т/га

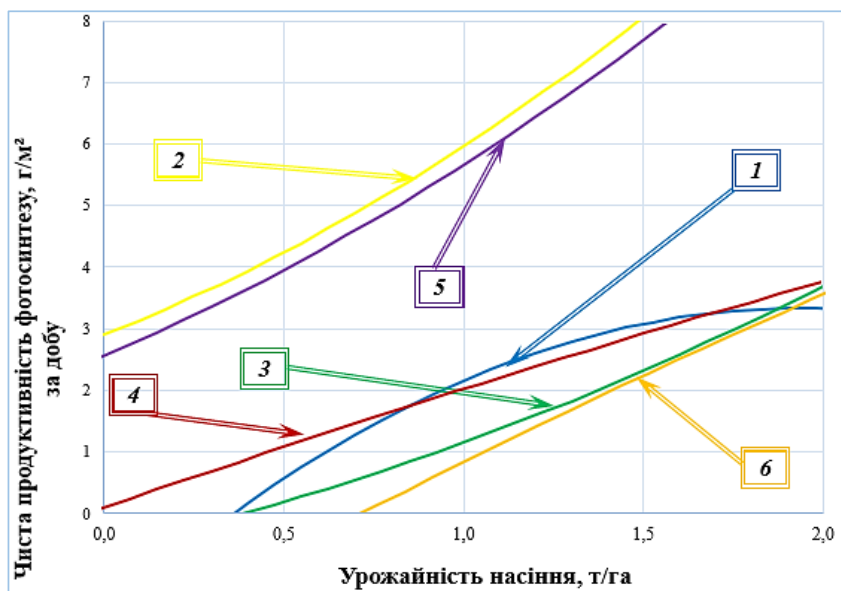


Рис. 2. Кореляційно-регресійна залежність між рівнем урожайності насіння льону олійного (в середньому по сортах) та чистою продуктивністю фотосинтезу (середнє за 2022–2024 рр.):

1. Обробка насіння водою у фазу ялінка – бутонізація: $y = -1,3483x^2 + 5,21x - 1,7033$; $R^2 = 0,8034$
2. Обробка насіння водою у фазу бутонізація – цвітіння: $y = 0,7714x^2 + 2,2816x + 2,903$; $R^2 = 0,9679$
3. Обробка насіння водою у фазу цвітіння – зелена стиглість насіння: $y = 0,4165x^2 + 1,2966x - 0,5663$; $R^2 = 0,7798$
4. Обробка насіння Азотофітом у фазу ялінка – бутонізація: $y = -0,0876x^2 + 2,0123x + 0,1113$; $R^2 = 0,76830$
5. Обробка насіння Азотофітом у фазу бутонізація – цвітіння: $y = 0,6269x^2 + 2,478x + 2,589$; $R^2 = 0,9675$
6. Обробка насіння Азотофітом у фазу цвітіння – зелена стиглість насіння: $y = -0,1707x^2 + 3,2267x - 2,1961$; $R^2 = 0,8709$

Таким чином, динаміка зміни показників чистої продуктивності фотосинтезу свідчить про найбільшу її активність у фазу бутонізація – цвітіння, після чого значення ЧПФ поступово знижуються на етапах формування та дозрівання насіння. Між урожайністю насіння льону олійного (в середньому по сортах) та чистою продуктивністю фотосинтезу визначено тісний кореляційний зв'язок: коефіцієнт детермінації R^2 коливається в межах 0,7683–0,9675 (рис. 2), що свідчить про сильний та дуже сильний рівень залежності між цими показниками.

Висновки. Отримані результати підтверджують доцільність комплексного застосування оптимізації живлення для стимулювання фотосинтетичної активності посівів льону олійного. Найвищих показників чистої продуктивності фотосинтезу досягнуто за поєднання $N_{15}P_{15}K_{15}$ + Органік баланс 1,0 л/га (фаза 4–6 листків) + Органік баланс 1,0 л/га + Боропті 150 г/га (початок бутонізації) + Азотофіт 0,5 л/га (початок наливу насіння) за передпосівної обробки насіння Азотофітом. Це свідчить про доцільність елементів технології, що взяті нами на дослідження,

до подальшого підвищення продуктивності культури льону олійного за вирощування його в умовах Південного Степу України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Каленська С. М., Столярчук Т. А. Сортові особливості формування структури врожаю та врожайності льону олійного залежно від норми висіву та ширини міжрядь. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018. Т. 4, № 3. С. 302–309. URL: <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.3.2018.145302>.
2. Дрозд І.Ф. Особливості впливу метеорологічних умов на формування господарсько-цінних ознак льону олійного. Вісник Полтавської державної аграрної академії. Полтава, 2011. № 2. С. 178–181.
3. Юник А. В. Особливості фотосинтетичної діяльності посівів льону олійного (*Linum usitatissimum* L.) залежно від технології вирощування. *Новітні агро-технології*, (7). 2019. С. 12–12. URL: <https://doi.org/10.47414/na.7.2019.204840>
4. Полякова І. О. Селекційна оцінка сортових ресурсів льону олійного. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2019. Вип. 27. С. 79–87. URL: [doi:10.36710/ioc-2019-27-09](https://doi.org/10.36710/ioc-2019-27-09)
5. Гамаюнова В. В., Сидякіна О. В., Задирко Р. В. Формування площі листкової поверхні посівів льону олійного залежно від макро-та мікродобрив в умовах Південного Степу України. *Аграрні інновації*. 2024. №25. С. 15–19. URL: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.25.2>
6. Гамаюнова В., Хоненко Л., Москва І., Кудріна В., Глушко Т. Вплив оптимізації живлення на продуктивність ярих олійних культур на чорноземі південному в зоні Степу України під впливом біопрепаратів. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агрономія*, №23. 2019. С. 112–118.
7. Shaik Sameer, Vikram Singh, Dhananjay Tiwari, and Shruti G George. Effect of Nitrogen and Phosphorus levels on growth and yield of Linseed (*Linum usitatissimum* L.). *The Pharma Innovation Journal* 2021; 10(10): 1833–1836 URL: <https://doi.org/10.22271/tpi.2021.v10.i10z.8442>
8. Поляков О. І., Нікітенко О. В., Махно О. О. Вплив додаткового живлення та системи основного обробітку ґрунту на формування продуктивності льону олійного. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*, (24). 2017. С. 198–207.
9. Lialchuk P. P., Bakhmat M., Makarchuk B. M. Formation of yield and seed quality of linseed varieties (*Linum humile* Mill.) in the conditions of the Western Forest Steppe of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, 19(4). 2023. 254–261. URL: <https://doi.org/10.21498/2518-1017.19.4.2023.291228>.
10. Дідора В. Г., Смаглій О. Ф., Ермантраут Е. Р. Методика наукових досліджень в агрономії [текст]: навч. посіб. К.: Центр учбової літератури, 2013. 264 с.
11. Рожков А. О., Пузік В. К., Каленська С. М., Пузік Л. М., Попов С. І., Музафаров Н. М., Бухало В. Я., Криштоп Є. А. Дослідна справа в агрономії: навчальний посібник: у 2 кн. Кн. 1. Теоретичні аспекти дослідної справи / за ред. Рожкова А. О. Харків, 2016. 316 с.
12. Рожков А. О., Пузік В. К., Каленська С. М., Пузік Л. М., Попов С. І., Музафаров Н. М., Бухало В. Я., Криштоп Є. А. Дослідна справа в агрономії: навчальний посібник: у 2 кн. Кн. 2. Статистична обробка результатів агрономічних досліджень / за ред. Рожкова А. О. Харків, 2016. 342 с.
13. Ушкаренко В. О., Вожегова Р. А., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Методика польового дослід: навчальний посібник. Херсон: Грінь Д. С., 2014. 448 с.

Дата першого надходження рукопису до видання: 03.09.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 23.10.2025

Дата публікації: 05.12.2025