

УДК 633.854.78:631.527:631.5

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.149.1.2>

## ВПЛИВ ФОЛІАРНОГО ВНЕСЕННЯ ЕТИЛЕНАМІНУ БОРУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ СОНЯШНИКУ В УМОВАХ СТЕПУ УКРАЇНИ

**Авраменко С.В.** – д.с.-г.н.,

головний науковий співробітник відділу рослинництва та сортовивчення,

Інститут рослинництва імені В.Я. Юр'єва

Національної академії аграрних наук України

[orcid.org/0000-0003-4737-8441](https://orcid.org/0000-0003-4737-8441)

**Добренський О.А.** – аспірант,

Інститут рослинництва імені В.Я. Юр'єва

Національної академії аграрних наук України

[orcid.org/0000-0002-2632-4885](https://orcid.org/0000-0002-2632-4885)

Було кількісно оцінено вплив норм і строків позакореневого внесення етиленаміну бору (Спектрум Борон 150) на продуктивність і якість насіння соняшнику гібриду Білоба в умовах Степу України. Польові дослідження проводили у 2022–2024 рр. (Харківська обл., Лозівський р-н, с. Нова Іванівка, ТОВ «Лозівський АПТС») за схемою розщеплених ділянок у триразовій повторності. Порівнювали контроль без бору та внесення препарату в нормах 1,5 і 3,0 л/га у фазах V8–V10, R1–R2 і дробно (V8–V10 + R1–R2). Вміст рухомого бору в ґрунті коливався в межах 0,27–0,61 мг/кг, що відповідало рівню від близького до нижньої межі оптимуму до підвищеного. У середньому за роки висота рослин на контролі становила 198 см і достовірно зменшувалася зі зростанням норми бору до 184 см (1,5 л/га) та 168 см (3,0 л/га). Позакореневе внесення бору знижувало передзбиральну вологість насіння з 9,18% у контролі до 7,66% (1,5 л/га) і 7,17% (3,0 л/га), що свідчило про прискорення водовіддачі. Водночас урожайність не підвищувалася: середній рівень становив 3,52 т/га на контролі, 3,31 т/га (–6%) за 1,5 л/га та 3,07 т/га (–13%) за 3,0 л/га; зниження за підвищеної норми було статистично достовірним. Олійність у контролі дорівнювала 51,3%; за 1,5 л/га зміни були недостовірними (49,6%), тоді як 3,0 л/га спричинили достовірне зниження до 46,8%. Кореляційно-регресійний аналіз показав найтісніший негативний зв'язок урожайності з передзбиральною вологістю ( $r = -0,61-0,70$ ;  $p < 0,01$ ) і помірний позитивний зв'язок з олійністю ( $r = 0,52-0,58$ ), а включення фактора «рік» підтвердило домінуючий вплив гідротермічних умов сезону на варіацію продуктивності. Отримані результати узгоджуються з уявленнями про роль бору в підтриманні фізіологічної стійкості, однак за умов достатнього ґрунтового забезпечення мікроелементами та жорсткої посухи додаткове фоліарне внесення не компенсувало лімітуючий водний фактор і за підвищеної норми могло посилювати метаболічне навантаження, що відображалось у зниженні врожайності та олійності.

**Ключові слова:** соняшник, бор, позакореневе підживлення, Спектрум Борон 150, урожайність, передзбиральна вологість, олійність, посуха, Степ України.

### *Avramenko S.V., Dobrenkyi O.A. Effect of foliar boron ethylene-amin application on sunflower productivity in the Ukrainian Steppe*

The study aimed to quantify how foliar boron application rate and timing affect seed productivity and quality of sunflower hybrid Biloba under the Steppe conditions of Ukraine. Field experiments were conducted in 2022–2024 (Kharkiv region, Lozova district, Nova Ivanivka, “Lozivskiy APTS” LLC) using a split-plot design with three replications. Treatments included a boron-free control and foliar application of an Ethylene-amin boron fertilizer (Spectrum Boron 150) at 1.5 and 3.0 L/ha applied at V8–V10, at R1–R2, or split between V8–V10 and R1–R2.



© Авраменко С.В., Добренський О.А., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

*Soil testing prior to sowing indicated available boron levels ranging from 0.27 to 0.61 mg/kg, representing near-optimal to elevated supply. Averaged across years, plant height in the control reached 198 cm and decreased significantly with increasing boron rate to 184 cm (1.5 L/ha) and 168 cm (3.0 L/ha). Foliar boron reduced pre-harvest seed moisture from 9.18% (control) to 7.66% at 1.5 L/ha and to 7.17% at 3.0 L/ha, indicating accelerated desiccation and/or earlier physiological maturity. However, yield did not increase: mean yield was 3.52 t/ha in the control, 3.31 t/ha (–6%) at 1.5 L/ha, and 3.07 t/ha (–13%) at 3.0 L/ha, with a statistically significant decline at the higher rate. Seed oil content averaged 51.3% in the control; the reduction at 1.5 L/ha (49.6%) was not significant, whereas 3.0 L/ha caused a significant decrease to 46.8%. Correlation–regression analysis identified pre-harvest moisture as the strongest yield-related trait ( $r = -0.61$  to  $-0.70$ ;  $p < 0.01$ ), while oil content showed a moderate positive association with yield ( $r = 0.52$  to  $0.58$ ). Incorporating “year” into the model confirmed that seasonal hydrothermal conditions were the primary driver of yield variability. Overall, the results align with the physiological role of boron in stress-related processes, yet under sufficient soil boron supply and severe drought, foliar boron failed to offset the water limitation, and the higher rate likely imposed additional metabolic load, leading to reduced yield and oil content.*

**Key words:** sunflower, boron, foliar fertilization, Spectrum Boron 150, yield, pre-harvest moisture, oil content, drought, Ukrainian Steppe.

**Актуальність теми дослідження.** Соняшник (*Helianthus annuus* L.) є однією з провідних олійних культур світу із загальною площею понад 28 млн га та валовим виробництвом понад 55 млн т насіння щорічно [1]. Україна традиційно належить до провідних виробників і експортерів соняшnikової олії, що зумовлює стратегічну важливість стабільності продуктивності культури в умовах кліматичної нестабільності [2, с. 21–27]. За формування 2,2–2,6 т/га насіння соняшник виносить із ґрунту 60–80 кг N, 25–35 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 70–90 кг K<sub>2</sub>O та до 0,3 кг B на гектар [3, с. 301]. Інтенсивне землекористування без адекватної компенсації мікроелементів призводить до поступового зниження їх доступності та формування прихованих дефіцитів [4, с. 217].

Кліматичні зміни в Степовій зоні України характеризуються зростанням середньорічної температури, збільшенням кількості днів із температурою понад 30 °C та нерівномірністю розподілу опадів [1]. За зниження гідротермічного коефіцієнта в критичні фази бутонізації та цвітіння відбувається порушення процесів запліднення, наливу насіння та синтезу олії [6, с. 3056]. Посуха суттєво обмежує мобільність і надходження бору до рослин через зниження дифузії в ґрунтового розчині [7, с. 616–620], що підсилює прояви його дефіциту навіть за середнього забезпечення ґрунту [8, с. 34–40].

Бор є структурним компонентом клітинної стінки та бере участь у формуванні димерів рамногалактуронану II, забезпечуючи механічну стабільність тканин [9, с. 85–101]. Він необхідний для розвитку пилку, проростання пилкової трубки та нормального запліднення [10, с. 49–58], регулює транспорт асимілянтів через флоему та бере участь у формуванні кошика [11, с. 109–139]. Дефіцит бору спричиняє зниження життєздатності пилку, порушення морфогенезу меристем, пустозерність кошика [12, с. 1020–1023].

**Постановка проблеми.** Останні десятиліття показали, що роль бору виходить за межі класичної мінеральної функції. Бор залучений до регуляції редокс-гомеостазу, підтримання структурної цілісності мембран і стабілізації фотосинтетичного апарату [13, с. 19–22]. Доведено, що за його достатнього забезпечення зменшується накопичення активних форм кисню (АФК) та продуктів перекисного окиснення ліпідів [14, с. 1247–1255]. Встановлено, що бор впливає на експресію генів антиоксидантної системи та активність супероксиддисмутази, каталази й пероксидази [15, с. 23–32].

В окремих роботах було встановлено позитивний вплив бору на глутатионову систему, зокрема підвищення вмісту відновленого глутатіону (GSH), що є ключовим маркером редокс-балансу [16, с. 71–85; 18, с. 109–121]. Це супроводжувалося зменшенням накопичення проліну, що свідчило про зниження напруженості осмотичного стресу [23, с. 181–198].

Дослідження підтверджують антиоксидантну функцію бору та його роль у сигнальних каскадах  $\text{Ca}^{2+}$ -NO-AФК [22, с. 255–268; 24, с. 205–223]. Застосування бору за посухи підвищує відносний вміст води в листках, зменшує деградацію мембран і покращує репродуктивні показники [17, с. 211–218; 19, с. 185–212]. Показано також, що бор стабілізує реакційні центри фотосистеми II та зменшує термічне пошкодження тилакоїдних мембран [25, с. 3831–3840].

Попри накопичення значного обсягу фізіолого-біохімічних даних, польові результати залишаються неоднозначними. Частина досліджень демонструє підвищення урожайності соняшнику на 0,3–0,5 т/га за внесення 200–300 г/га бору [24, с. 205–223], тоді як інші вказують на відсутність ефекту за достатнього забезпечення ґрунту [20, с. 28–31; 18, с. 109–121]. Надмірні норми можуть викликати фітотоксичність і скорочення тривалості наливу насіння [17, с. 211–218; 21, с. 443–460].

**Методика досліджень.** Польові дослідження були закладені у Харківській обл., Лозівський р-н, с. Нова Іванівка, ТОВ «Лозівський АПТС» протягом 2022–2024 рр. Метою дослідження було встановлення впливу різних норм і строків внесення водорозчинного бору (препарат Спектрум Борон 150, що містить 150 г/л етиленаміну бору) на врожайність та елементи структури врожаю гібриду Білоба. Досліди закладали як багатофакторні за схемою розщеплених ділянок із трьома повтореннями відповідно до чинних методичних підходів державних випробувань та польового експерименту [27, с. 423–428]. Облікова площа ділянки останнього порядку становила 60 м<sup>2</sup>. Тип ґрунту – чорнозем звичайний середньогумусний (вміст гумусу 5,5–6,2 %), рН ґрунтового розчину – 7,5. Попередник – пшениця озима. Після збирання пшениці озимої в серпні проводилося дискування на глибину 10–12 см з метою знищення падалиці, зменшення кількості бур'янів та покращення структури верхнього шару ґрунту. У вересні проводилося глибоке рихлення на глибину 40–42 см, що сприяло накопиченню та збереженню вологи в осінньо-зимовий період. Ранньою весною проводили боронування важкими боронами. Перед сівбою в квітні проводилася передпосівна культивування компактоматом на глибину 6–8 см для вирівнювання поверхні поля, знищення проростаючих бур'янів та створення оптимального посівного ложа. Для забезпечення однорідності умов досліду поле попередньо вирівнювали нівеліром і перевіряли на відсутність мікродепресій, які могли б вплинути на рівномірність зволоження.

Схема досліду передбачала порівняння контрольного варіанту без внесення бору з варіантами позакореневого підживлення у різні фази розвитку рослин (табл. 1).

Було досліджено дві норми препарату – 1,5 та 3,0 л/га. За норми 1,5 л/га бор вносили одноразово у фазі 8–10 листків (V8–V10), одноразово у фазі початку бутонізації – початку цвітіння (R1–R2), а також дробно: 0,5 л/га у фазі V8–V10 та 1,0 л/га у фазі R1–R2. За норми 3,0 л/га передбачали аналогічні строки внесення: одноразове обприскування у фазі V8–V10, одноразове у фазі R1–R2 та комбіноване внесення із розподілом норми 1,25 л/га у фазі 8–10 листків і 1,75 л/га у фазі бутонізації.

До сівби проводили агрохімічний аналіз ґрунту для уточнення запасів Бору. (табл. 2).

Таблиця 1

## Схема досліджень

Норма внесення, л/га	Фаза внесення	Гібрид
Контроль	–	Білоба
1,5	V8–V10	
	R1–R2	
	V8–V10 (0,5 л/га) + R1–R2 (1,0 л/га)	
3,0	V8–V10	
	R1–R2	
	V8–V10 (1,25 л/га) + R1–R2 (1,75 л/га)	

Таблиця 2

## Вміст рухомого бору у ґрунті дослідного поля, мг/кг, 2022–2024 рр.

Рік	Вміст бору, мг/кг	Вміст бору, у горизонті 0–30 см, г/га	Потенціал урожайності соняшника за вмістом бору, т/га
2022	0,61	1830	15,2
2023	0,29	870	7,25
2024	0,27	810	6,75

Результати агрохімічного аналізу ґрунту засвідчили, що вміст рухомих форм бору в орному шарі (0–30 см) у 2022–2024 рр. перебував у межах 0,27–0,61 мг/кг, що відповідає 810–1830 г/га у перерахунку на масу ґрунту. Згідно з узагальненими критеріями забезпеченості, критичний поріг дефіциту бору для більшості польових культур становить 0,2–0,3 мг/кг [27, с. 511–518]. Водночас навіть мінімальний зафіксований показник 2024 року (0,27 мг/кг) перебував в межах оптимального забезпечення, та не відповідав критичному дефіциту. У 2022 році вміст бору 0,61 мг/кг характеризувався як підвищений і повністю забезпечував потреби культури для формування високої продуктивності.

Для зменшення ущільнення верхнього шару ґрунту рух техніки здійснювали лише в постійних технологічних коліях. Безпосередньо перед сівбою перевіряли якість розпушування, однорідність вологості посівного горизонту та температуру ґрунту, яка становила 9–10 °С. Сівбу проводили у другій декаді квітня. Система удобрення: передпосівне внесення:  $N_{60}P_{30}K_{30}$ ; позакореневе підживлення: карбамід із полімером (10 кг/га у фазу V3–V6), схема посіву 70×25 см. У досліді використовували сучасний гібрид соняшнику Білоба – середньоранній гібрид системи Clearfield Plus із вегетаційним періодом 106–110 діб, відзначається підвищеною посухостійкістю, толерантністю до хвороб кошика та листя, а також доброю реакцією на покращене мінеральне живлення. Гібрид адаптований до умов Степу України й рекомендований для інтенсивної технології вирощування.

Водорозчинний Бор вносили спеціалізованим дослідним обприскувачем із каліброваними форсунками, що забезпечували норму робочої рідини 200 л/га.

Облік показників продуктивності здійснювали відповідно до загальноприйнятих методик польового дослідження. Висоту рослин визначали у фазі повної стиглості шляхом вимірювання від поверхні ґрунту до верхівки кошика на типових рослинах кожної облікової ділянки з подальшим обчисленням середнього значення.

Вміст вологи в насінні, масу зерна з ділянки, урожайність з гектара. Вибір проб насінневої суміші здійснювали за ДСТУ 4601:2006 «Насіння олійних культур. Методи відбирання проб», облік урожаю – згідно з ДСТУ 3355-96 «Продукція сільськогосподарська рослинна»; урожайність приводили до вологості насіння 7 %, 100 % чистоти та розраховували у т/га.

Статистичну обробку даних виконували методами дисперсійного та кореляційного аналізів із дотриманням генетико-статистичних принципів планування та оцінювання експериментів. Для розрахунків і візуалізації застосовували пакет PAST (Paleontological Statistics) [28, с. 1–19].

Експериментальний період у м. Лозова Харківської області характеризувався значною варіабельністю кліматичних умов, зокрема кількістю і сезонним розподілом опадів, а також температурними коливаннями. У 2022 році середньодобова температура за період вегетації перевищувала середньобагаторічний показник незначно (+0,2 °C). Водночас загальна сума опадів становила 138,8 мм, що було на 15,9 мм менше норми (154,7 мм). Найменша кількість опадів спостерігалася у травні (12,9 мм) та червні (21,3 мм), що збіглося з фазами інтенсивного вегетативного росту та формування генеративних органів. Обмежене зволоження у ці періоди сприяло розвитку водного стресу, який негативно вплинув на формування кошика та потенційну масу насіння. Часткове покращення вологозабезпечення відбулося у серпні (37,1 мм), проте воно не компенсувало дефіциту попередніх місяців. У 2023 році температурний фон був дещо вищим за багаторічний (+0,42 °C). Сума опадів за квітень–вересень становила 208,5 мм, що перевищувало норму на 53,8 мм. Найбільша кількість опадів припала на квітень (87 мм), що забезпечило сприятливі умови для проростання насіння та формування рівномірних сходів. У травні (35,1 мм) умови залишалися відносно задовільними, однак у червні–липні (26,3 та 19,6 мм відповідно) відзначалося зниження вологозабезпечення у фазу бутонізації та цвітіння. Незважаючи на це, загалом 2023 рік був найбільш сприятливим серед досліджуваних завдяки вищому рівню опадів на початкових етапах розвитку культури, що сприяло формуванню вищого потенціалу врожайності. Найбільш посушливим і стресовим виявився 2024 рік. Середньодобова температура перевищувала багаторічний показник на 2,22 °C, що свідчило про підвищене теплове навантаження протягом усього сезону. Загальна сума опадів становила лише 101,7 мм, що на 53,0 мм менше норми. Особливо критичними були травень (7,5 мм) та серпень (0,9 мм), які збіглися відповідно з фазами активного росту та наливу насіння. Поєднання високих температур (до 25,3 °C у липні та 25,1 °C у серпні) і гострого дефіциту вологи призвело до пригнічення фотосинтетичної активності, зменшення виповненості насіння та істотного зниження врожайності.

**Результати досліджень.** Аналіз даних свідчив про істотний вплив норм і строків позакореневого внесення борвмісного добрива Спектрум Борон 150 на висоту рослин гібриду Білоба. У середньому за 2022–2024 рр. висота рослин у контрольному варіанті становила 198 см. Застосування бору в нормі 1,5 л/га зменшувало цей показник до 184 см (–14 см або –7 %), а за норми 3,0 л/га – до 168 см (–30 см або –15 %). Різниця між контролем і нормою 1,5 л/га (14 см), а також між 1,5 та 3,0 л/га (16 см) перевищує НІР<sub>05</sub> для фактора А (11 см), що свідчило про статистично достовірне зниження висоти рослин із підвищенням норми препарату.

Аналіз строків внесення (фактор В) показав, що найменше зниження висоти спостерігалася за одноразового внесення у фазі R1–R2 (180 см), тоді як внесення у фазі V8–V10 забезпечувало 178 см, а дробне застосування – 170 см. Різниця між

крайніми варіантами становила 10 см, що є близькою до НІР<sub>05</sub> (11 см), отже вплив строку внесення в середньому за роки мав тенденцію до зниження висоти, але був менш вираженим, ніж вплив норми У роки досліджень найбільшу висоту рослин зафіксовано у 2022 році (в середньому 180 см), де в окремих варіантах (1,5 л/га, фаза R1–R2) показник досягав 235 см. У 2023 році середня висота становила 189 см, а у 2024 році – лише 158 см, що пов'язано з посушливими умовами цього року. Різниця між роками перевищує НІР<sub>05</sub> для фактора С (14 см), що підтверджує визначальний вплив погодних умов на формування вегетативної маси (табл. 3).

Таблиця 3

**Висота рослин гібриду соняшника Білоба залежно від фоліарного внесення борвмісного добрива Спектрум Борон 150, см, 2022–2024 рр.**

Норма Спектрум Борон, л/га (А)	Фаза внесення (В)	Рік (С)				Прибавка до контролю, %			
		2022	2023	2024	середнє	2022	2023	2024	середнє
Контроль	без бору	220	208	165	198	–	–	–	–
1,5 л/га	V8–V10	225	180	165	190	2	-13	0	-4
	R1–R2	235	185	160	193	7	-11	-3	-2
	V8–V10 (0,5 л/га) + R1–R2 (1,0 л/га)	160	185	160	168	-27	-11	-3	-15
	середнє	207	183	162	184	-6	-12	-2	-7
3 л/га	V8–V10	155	190	155	167	-30	-9	-6	-16
	R1–R2	155	188	155	166	-30	-10	-6	-16
	V8–V10 (1,75 л/га) + R1–R2 (1,25 л/га)	150	208	155	171	-32	0	-6	-13
	середнє	153	195	155	168	-30	-6	-6	-15
Середнє	V8–V10	190	185	160	178	-14	-11	-3	-10
	R1–R2	195	187	158	180	-11	-10	-5	-9
	V8–V10 + R1–R2	155	197	158	170	-30	-6	-5	-14
	середнє	180	189	158	176	-18	-9	-4	-11
НІР <sub>05</sub> , см	А – 11; В – 11; С – 14; АВ – 23; АС – 27; ВС – 29; АВС – 42								

Найбільш виражене зменшення висоти рослин спостерігалось за внесення 3,0 л/га, особливо у фазі V8–V10 та R1–R2 (155–167 см), що на 30–32 % нижче за контроль у 2022 році. Взаємодія факторів АВ (НІР<sub>05</sub> = 23 см) підтверджує достовірність зниження висоти за поєднання підвищеної норми та раннього внесення.

Зниження висоти рослин за підвищених норм внесення бору свідчило про зміну інтенсивності вегетативного росту та можливий перерозподіл асимілянтів між органами рослини. Відомо, що бор бере участь у процесі формування клітинної стінки, транспорту вуглеводів і регуляції водного обміну [21], тому, зміни морфометричних показників можуть супроводжуватися трансформацією темпів досягання та водовіддачі насіння. Водночас визначальним критерієм ефективності застосування мікроелемента є рівень сформованої врожайності,

що дозволяло оцінити доцільність використання препарату в конкретних умовах вирощування Обидві різниці перевищували НІР<sub>05</sub> для фактора А (0,15 т/га), що підтверджувало статистично достовірне зменшення врожайності із підвищенням норми препарату. У розрізі років найбільший рівень урожайності спостерігався у 2022 році (3,91 т/га в середньому), тоді як у 2024 році, за умов вираженої посухи, показник зменшився до 1,96 т/га. Різниця між роками перевищувала НІР<sub>05</sub> для фактора С (0,19 т/га), що підтверджує визначальний вплив погодних умов на формування продуктивності. Підвищення норми до 3,0 л/га супроводжувалося достовірним зниженням продуктивності, що може свідчити про посилення фізіологічного навантаження на рослини, особливо за стресових умов вегетації. Аналіз строків внесення (фактор В) показав, що найвищу середню врожайність формувало одноразове внесення у фазі R1–R2 (3,24 т/га), тоді як обробка у фазі V8–V10 забезпечувала 3,18 т/га, а дробне застосування – 3,14 т/га. Різниця між крайніми варіантами становила 0,10 т/га, що не перевищує НІР<sub>05</sub> для фактора В (0,13 т/га), тобто вплив строку внесення в середньому за роки був статистично недостовірним. Контрольний варіант мав середню врожайність гібриду Білоба за 2022–2024 рр. 3,52 т/га. Застосування Спектрум Борон 150 у нормі 1,5 л/га забезпечило 3,31 т/га, що на 0,21 т/га (–6 %) менше контролю. За підвищення норми до 3,0 л/га середній показник знижувався до 3,07 т/га (–0,45 т/га або –13 %) (табл. 4).

Таблиця 4

**Урожайність гібриду соняшника Білоба залежно від фоліарного внесення борвмісного добрива Спектрум Борон 150, т/га, 2022–2024 рр.**

Норма Спектрум Борон, л/га (А)	Фаза внесення (В)	Рік (С)				Прибавка до контролю, %			
		2022	2023	2024	середнє	2022	2023	2024	середнє
Контроль	без бору	4,50	3,70	2,36	3,52	–	–	–	–
1,5 л/га	V8–V10	4,13	3,50	2,16	3,26	-8	-5	-9	-7
	R1–R2	4,50	3,45	2,06	3,34	0	-7	-13	-5
	V8–V10 (0,5 л/га) + R1–R2 (1,0 л/га)	4,07	3,70	2,25	3,34	-10	0	-5	-5
	середнє	4,23	3,55	2,16	3,31	-6	-4	-9	-6
3 л/га	V8–V10	3,80	3,85	1,66	3,10	-16	4	-30	-12
	R1–R2	3,60	3,80	2,06	3,15	-20	3	-13	-10
	V8–V10 (1,75 л/га) + R1–R2 (1,25 л/га)	3,37	3,90	1,57	2,95	-25	5	-34	-16
	середнє	3,59	3,85	1,76	3,07	-20	4	-25	-13
Середнє	V8–V10	3,97	3,68	1,91	3,18	-12	-1	-19	-10
	R1–R2	4,05	3,63	2,06	3,24	-10	-2	-13	-8
	V8–V10 + R1–R2	3,72	3,80	1,91	3,14	-17	3	-19	-11
	середнє	3,91	3,70	1,96	3,19	-13	0	-17	-9
НІР <sub>05</sub> , т/га	А – 0,15; В – 0,13; С – 0,19; АВ – 0,24; АС – 0,32; ВС – 0,30; АВС – 0,51								

У 2022–2024 рр. передзбиральна вологість насіння становила 9,18 % на контролі. Застосування препарату в нормі 1,5 л/га знижувало цей показник до 7,66 %, що на 1,52 % менше порівняно з контролем. Підвищення норми до 3,0 л/га супроводжувалося подальшим зменшенням вологості до 7,17 % (–2,01 %). Обидві різниці перевищували НР05 для фактора А (0,4 %), що підтверджує статистично достовірний вплив норми. Порівняння норм 1,5 і 3,0 л/га показувало різницю 0,49 %, яка також перевищує критичну межу, тобто збільшення норми достовірно прискорювало водовіддачу насіння (табл. 5).

Таблиця 5

**Передзбиральна вологість насіння гібриду соняшника Білоба  
залежно від фоліарного внесення борвмісного добрива  
Спектрум Борон 150, %, 2022–2024 рр.**

Норма Спектрум Борон, л/га (А)	Фаза внесення (В)	Рік (С)				Прибавка до контролю, %			
		2022	2023	2024	середнє	2022	2023	2024	середнє
Контроль	без бору	7,40	14,0	6,13	9,18	–	–	–	–
1,5 л/га	V8–V10	6,87	11,2	5,93	8,00	-7	-20	-3	-13
	R1–R2	6,50	10,3	6,03	7,61	-12	-26	-2	-17
	V8–V10 (0,5 л/га) + R1–R2 (1,0 л/га)	7,27	9,43	5,43	7,38	-2	-33	-11	-20
	середнє	6,88	10,31	5,80	7,66	-7	-26	-5	-17
3 л/га	V8–V10	7,87	9,67	6,17	7,90	6	-31	1	-14
	R1–R2	5,23	9,40	5,43	6,69	-29	-33	-11	-27
	V8–V10 (1,75 л/га) + R1–R2 (1,25л/га)	5,30	10,2	5,27	6,92	-28	-27	-14	-25
	середнє	6,13	9,76	5,62	7,17	-17	-30	-8	-22
Середнє	V8–V10	7,37	10,44	6,05	7,95	0	-25	-1	-13
	R1–R2	5,87	9,85	5,73	7,15	-21	-30	-7	-22
	V8–V10 + R1–R2	6,29	9,82	5,35	7,15	-15	-30	-13	-22
	середнє	6,51	10,03	5,71	7,42	-12	-28	-7	-19
НР <sub>05</sub> , %	А – 0,4; В – 0,3; С – 0,5; АВ – 0,8; АС – 1,0; ВС – 0,9; АВС – 1,9								

Поряд із кількісними показниками продуктивності важливе значення має оцінка якісних характеристик врожаю, передусім олійності насіння, яка визначає економічну ефективність вирощування соняшнику та його конкурентоспроможність на ринку. Зміни висоти рослин, темпів досягання та рівня врожайності, встановлені в попередніх дослідженнях, можуть супроводжуватися трансформацією біохімічних процесів формування запасних речовин. Аналіз строків внесення (фактор В) свідчив, що найвищу середню олійність забезпечувало внесення етиленаміну бору у фазі V8–V10 (49,0 %), тоді як у фазі R1–R2 показник становив 48,7 %, а за дробного внесення становив 46,8 %. Різниця між крайніми варіантами (2,2 %) перевищує НР05 для фактора В (1,9 %), що підтверджувало достовірність впливу строку внесення. Найбільше зниження олійності спостерігалось за дробного внесення препарату. Контроль мав середній вміст олії в насінні за

2022–2024 рр. 51,3 %. Застосування етиленаміну бору у нормі 1,5 л/га знижувало цей показник до 49,6 %, тобто на 1,7 % менше контролю. За підвищення норми до 3,0 л/га середня олійність становила 46,8 % (–4,5 % до контролю). Різниця між контролем і нормою 1,5 л/га (1,7 %) не перевищувала НІР05 для фактора А (2,0 %). Водночас зниження на 4,5 % за норми 3,0 л/га перевищувало критичну різницю, що свідчило про достовірний негативний вплив підвищеної норми препарату на вміст олії. Порівняння норм 1,5 і 3,0 л/га показувало різницю 2,8 %, яка також перевищувала НІР05 (2,0 %), тобто збільшення норми бору достовірно зменшувало олійність насіння. Максимальна олійність відзначалася у 2022 році (51,7 % у середньому), дещо нижчою вона була у 2023 році (49,8 %), а мінімальною – у 2024 році (43,0 %), що корелювало з посушливими умовами року. Різниця між роками перевищувала НІР05 для фактора С (2,5 %), що підтверджувало істотний вплив погодних умов на формування цього показника (табл. 6).

Таблиця 6

**Олійність гібриду соняшника Білоба залежно від фоліарного внесення борвмісного добрива Спектрум Борон 150, %, 2022–2024 рр.**

Норма Спектрум Борон, л/га (А)	Фаза внесення (В)	Рік (С)				Прибавка до контролю, %			
		2022	2023	2024	середнє	2022	2023	2024	середнє
Контроль	без бору	57,0	52,0	45,0	51,3	–	–	–	–
1,5 л/га	V8–V10	57,0	51,0	45,0	51,0	0,0	-1,0	0,0	-0,3
	R1–R2	55,0	52,0	44,0	50,3	-2,0	0,0	-1,0	-1,0
	V8–V10 (0,5 л/га) + R1–R2 (1,0 л/га)	50,0	49,0	43,0	47,3	-7,0	-3,0	-2,0	-4,0
	середнє	54,0	50,7	44,0	49,6	-3,0	-1,3	-1,0	-1,8
3 л/га	V8–V10	50,0	49,0	42,0	47,0	-7,0	-3,0	-3,0	-4,3
	R1–R2	50,0	49,0	42,0	47,0	-7,0	-3,0	-3,0	-4,3
	V8–V10 (1,75 л/га) + R1–R2 (1,25л/га)	48,0	49,0	42,0	46,3	-9,0	-3,0	-3,0	-5,0
	середнє	49,3	49,0	42,0	46,8	-7,7	-3,0	-3,0	-4,6
Середнє	V8–V10	53,5	50,0	43,5	49,0	-3,5	-2,0	-1,5	-2,3
	R1–R2	52,5	50,5	43,0	48,7	-4,5	-1,5	-2,0	-2,7
	V8–V10 + R1–R2	49,0	49,0	42,5	46,8	-8,0	-3,0	-2,5	-4,5
	середнє	51,7	49,8	43,0	48,2	-5,3	-2,2	-2,0	-3,2
НІР <sub>05</sub> , %	А – 2,0; В – 1,9; С – 2,5; АВ – 3,9; АС – 4,9; ВС – 4,8; АВС – 12,3								

Найбільш виражене зниження олійності спостерігалось у варіантах із нормою 3,0 л/га, особливо за дробного внесення (46,3 %), що на 5,0 % менше ніж у контролі. Взаємодія факторів (АВ = 3,9 %) свідчила про посилення негативного ефекту за поєднання підвищеної норми та розподілу її між фазами розвитку.

Кореляційний аналіз показав, що найтісніший зв'язок із урожайністю мав показник передзбиральної вологості ( $r = -0,61 \dots -0,70$ ;  $p < 0,01$ ), що свідчило про залежність рівня продуктивності від інтенсивності досягання та накопичення сухої речовини. Олійність демонструвала помірний позитивний зв'язок

( $r = 0,52-0,58$ ), що підтверджувало часткову узгодженість процесів формування врожаю та синтезу ліпідів, однак цей показник не був визначальним фактором варіабельності урожайності (табл. 7).

Таблиця 7

**Кореляції між урожайністю та показниками продуктивності соняшнику за різних норм внесення Спектрум Борон 150, 2022–2024 рр.**

Норма бору, л/га	$r$ (урож / олійність)	$r$ (урож/висота рослин)	$r$ (урож / вологість)	$R^2$ скор.
Контроль	0,54 *	0,49 *	-0,61 **	0,48
1,5	0,58 *	0,44	-0,67 **	0,52
3,0	0,52 *	0,39	-0,70 **	0,55

Примітки:

$p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ .

$R^2$  скор. – скоригований коефіцієнт детермінації для моделі множинної регресії урожайність =  $f$  (вміст олії, висота рослин, передзбиральна вологість).

Висота рослин мала слабший або статистично недостовірний зв'язок, що вказувало на меншу роль вегетативної маси порівняно з показниками генеративного розвитку. Множинна регресія показала, що сукупність досліджених показників пояснювала 48–55 % варіації урожайності ( $R^2$  скор.), що свідчило про вагому роль погодних умов року як додаткового неконтрольованого фактора.

Отримані польові результати узгоджуються з положенням, що ефективність фоліарного бору в соняшнику є контекст-залежною і визначається рівнем ґрунтового забезпечення мікроелементами та гідротермічними умовами сезону. Зокрема, за даними агрохімічного аналізу вміст рухомого бору в орному шарі коливався в межах 0,27–0,61 мг/кг, тобто відповідав рівню від близького до нижньої межі оптимуму до підвищеного. Водночас, дані Fagoog M. про кліматичні ризики та порушення репродуктивних процесів соняшнику за дефіциту води в критичні фази розвитку (бутонізація–цвітіння–налив) добре пояснюють загальне зниження продуктивності у 2024 р. як найбільш посушливому році та підкреслюють провідну роль водного фактора порівняно з мікроелементним живленням.

Виявлене зниження передзбиральної вологості насіння після внесення бору можна інтерпретувати як прискорення фізіологічного досягання і/або інтенсифікацію водовіддачі. Така реакція загалом узгоджується з відомою участю бору в транспорті асимілянтів і функціонуванні репродуктивних органів, зокрема в процесах запліднення та формування кошика. Однак, одночасне зниження врожайності (особливо за норми внесення Бору 3,0 л/га) свідчило, що «прискорене досягання» в даному випадку не супроводжувалося посиленням наливу насіння. Зниження олійності насіння за підвищеної норми (3,0 л/га) також логічно вписується у концепцію чутливості синтезу олії до стресових умов у період наливу, що детально описано M. Fagoog. У нашому досліді встановлено прискорення водовіддачі насіння та зміни морфометричних показників, що опосередковано свідчило про вплив бору на фізіологічні процеси досягання та перерозподіл асимілянтів. Це відповідає уявленням про його участь у транспорті вуглеводів і підтриманні мембранної стабільності. Водночас підвищена норма (3,0 л/га) не забезпечила

зростання врожайності й супроводжувалася зниженням олійності, особливо в умовах вираженого гідротермічного дефіциту 2024 року.

У наших умовах Степу України ґрунтова забезпеченість бором перебувала в межах оптимальної або близької до неї, тому додаткове фоліарне внесення не усувало лімітуючий фактор (вологозабезпечення), а за підвищеної норми могло спричинити метаболічне перевантаження. За жорсткої посухи обмеження фотосинтезу визначалося передусім водним дефіцитом, а не борною недостатністю, тому навіть потенційна активація антиоксидантної системи не трансформувалася у приріст продуктивності, коли обмеження мобільності та надходження бору до рослин посилюється через зниження дифузії в ґрунтовому розчині, як це показали Р. Н. Brown і В. J. Shelp, а також Н. Ну і Р. Н. Brown.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** У результаті проведених досліджень було встановлено, що ефективність позакореневого внесення етиленаміну бору в технології вирощування соняшнику визначалась насамперед рівнем ґрунтового забезпечення мікроелементом і гідротермічними умовами вегетаційного періоду. За вмісту рухомого бору в орному шарі 0,27–0,61 мг/кг, що відповідав рівню від близького до оптимального до підвищеного, застосування препарату Спектрум Борон 150 не забезпечило підвищення врожайності гібриду Білоба. Було доведено, що підвищення норми внесення до 3,0 л/га призводило до достовірного зниження врожайності (на 13 %) та олійності насіння (на 4,5 %), що свідчило про перевищення фізіологічно оптимального рівня борного навантаження за умов водного дефіциту.

Встановлено, що позакореневе внесення бору впливало переважно на морфологічні показники рослин. Зі збільшенням норми препарату відмічалось достовірне зменшення висоти рослин (на 7–15 %), що вказувало на зміну інтенсивності ростових процесів та перерозподіл асимілянтів.

Було виявлено, що внесення бору сприяло прискоренню водовіддачі насіння, що проявлялося у зниженні передзбиральної вологості на 1,5–2,0 %. Однак це не супроводжувалося підвищенням урожайності, що дозволяло трактувати даний ефект як адаптивну реакцію на стрес, а не як фактор підвищення продуктивності. Аналіз якісних показників показав, що процеси накопичення олії були чутливими до підвищених норм бору, особливо за посушливих умов. За норми 1,5 л/га зміни олійності були статистично недостовірними, тоді як 3,0 л/га викликали її суттєве зниження. Було встановлено, що фактор «рік» (погодні умови) мав домінуючий вплив на формування врожайності, пояснюючи значну частину її варіабельності, тоді як вплив мікроелементного підживлення був вторинним. Узагальнення результатів показало, що за умов достатнього забезпечення ґрунту бором та дефіциту вологи позакореневе внесення етиленаміну бору не компенсувало лімітуючий водний фактор, а за підвищених норм могло спричинити зниження продуктивності.

Перспективним є дослідження взаємодії бору з іншими елементами живлення (зокрема кальцієм, азотом та сіркою) в умовах посухи для визначення синергетичних ефектів у регуляції фізіолого-біохімічних процесів рослин. Також, потребує подальшого вивчення вплив бору на процеси запилення та формування насіння, зокрема через оцінку життєздатності пилку, інтенсивності росту пилкової трубки та рівня зав'язування насіння за різних погодних умов.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:**

1. FAO/STAT. Crops and livestock products. Rome : FAO, 2023. URL: <https://www.fao.org/faostat> (дата звернення: 19.02.2026).
2. USDA. Oilseeds: World Markets and Trade. *Washington : USDA Foreign Agricultural Service*. 2024. 45 p.
3. Marschner H. Mineral nutrition of higher plants. 3rd ed. *London : Academic Press*. 2012. 651 p.
4. Havlin J. L., Tisdale S. L., Nelson W. L., Beaton J. D. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. 8th ed. *Boston : Pearson*. 2014. 516 p.
5. Alloway B. J. Micronutrients and crop production. *Dordrecht : Springer*. 2008. 380 p.
6. IPCC. Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability. *Cambridge : Cambridge University Press*, 2022. 3056 p. DOI: 10.1017/9781009325844.
7. Lobell D. B., Schlenker W., Costa-Roberts J. Climate trends and global crop production since 1980. *Science*. 2011. Vol. 333. P. 616–620. DOI:10.1126/science.1204531.
8. Farooq M., Hussain M., Wahid A., Siddique K. H. M. Drought stress in sunflower: physiological responses and management strategies. *Agronomy for Sustainable Development*. 2017. Vol. 37. P. 34–40. DOI: 10.1007/978-3-642-32653-0.
9. Brown P. H., Shelp B. J. Boron mobility in plants. *Plant and Soil*. 1997. Vol. 193. P. 85–101. DOI: 10.1023/A:1004211925160.
10. Hu H., Brown P. H. Absorption of boron by plant roots. *Plant and Soil*. 1997. Vol. 193. P. 49–58. DOI: 10.1023/A:1004255707413.
11. O'Neill M. A., Ishii T., Albersheim P., Darvill A. G. Rhamnogalacturonan II: structure and function of a borate cross-linked cell wall pectic polysaccharide. *Annual Review of Plant Biology*. 2004. Vol. 55. P. 109–139. DOI: 10.1146/annurev.arplant.55.031903.141750.
12. Agarwala S. C., Sharma P. N., Chatterjee C., Sharma C. P. Development and enzymatic changes during pollen development in boron-deficient maize plants. *Plant Physiology*. 1981. Vol. 68. P. 1020–1023. DOI: 10.1080/01904168109362841.
13. Gupta U. C. Boron and its role in crop production. Boca Raton : *CRC Press*, 1993. 237 p.
14. Camacho-Cristóbal J. J., Rexach J., González-Fontes A. Boron in plants: deficiency and toxicity. *Journal of Integrative Plant Biology*. 2008. Vol. 50. P. 1247–1255. DOI: 10.1111/j.1744-7909.2008.00742.x.
15. Shireen F., Nawaz M. A., Chen C., Zhang Q. Boron: functions and approaches to enhance its availability in plants for sustainable agriculture. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2018. Vol. 127. P. 23–32. DOI: 10.3390/ijms19071856.
16. Cakmak I., Römheld V. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. *Plant and Soil*. 1997. Vol. 193. P. 71–83. DOI: 10.1023/A:1004259808322.
17. Canavar, Ö., Gören, H.K., Tan, U., Yilmaz, O., Kaptan, M.A. and Küçük Kaya, S. Physiological Responses of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) to Multiple Combined Prolonged Drought Stress, Salinity Stress and Boron Toxicity: Insights from Pre- and Post-Recovery Stages. *J Agro Crop Science*. 2025. P. 211–218. DOI: 10.1111/jac.70047.
18. Camacho-Cristóbal J.J., Navarro-Gochicoa V.T., Rexach J.A. Plant Response to Boron Deficiency and Boron Use Efficiency in Crop Plants. *Plant Micronutrient Use Efficiency*. 2018. P. 109–121. DOI: 10.1016/B978-0-12-812104-7.00007-1.
19. Farooq M., Wahid A., Kobayashi N., Fujita D., Basra S. M. A. Plant drought stress: effects and management. *Agronomy for Sustainable Development*. 2009. Vol. 29. P. 185–212. DOI: 10.1051/agro:2008021.
20. Добренький О.А., Авраменко С.В. Урожайність гібридів соняшнику залежно від позакореневого внесення водорозчинного бору. *Теоретичні засади інноваційного розвитку рослинництва: тези доп. Міжнар. наук.-практ. інтернет конф. Харків, 2025. С. 28–31.*

21. Dordas, C. Role of Nutrients in Controlling Plant Diseases in Sustainable Agriculture. *Sustainable Agriculture*. 2009. P. 443–460. DOI: 10.1007/978-90-481-2666-8\_28.
22. Rashid A., Ryan J. Micronutrient constraints to crop production in soils with Mediterranean-type characteristics. *Plant and Soil*. 2004. Vol. 247. P. 255–268. DOI: 10.1081/PLN-120037530.
23. Nable R. O., Bañuelos G. S., Paull J. G. Boron toxicity. *Plant and Soil*. 1997. Vol. 193. P. 181–198. DOI: 10.1023/A:1004272227886.
24. Brown P. H., Bellaloui N. Boron in Plant Biology. *Plant Biology*. 2002. Vol. 4. P. 205–223. DOI: 10.1055/s-2002-25740.
25. Camacho-Cristóbal J.J., Martín-Rejano E.M. Boron deficiency inhibits root cell elongation via an ethylene/ auxin/ROS-dependent pathway in Arabidopsis seedlings. *Journal of Experimental Botany*. 2015. Vol. 66. P. 3831–3840. DOI: 10.1093/jxb/erv186.
26. Dobrenkyi O.A., Avramenko S.V. Impact of planting density on sunflower yield in eastern Ukraine. *Modern Engineering and Innovative Technologies*. 2025. Issue 40. P. 185–192. DOI: 10.30890/2567-5273.2025-40-01-002.
27. Кириченко В.В., Кобизева Л.П., Коломацька В.П., Макляк К.М., Леонова Н.М., Огурцов Ю.Є., Буряк Ю.І., Рябчун В.К., Доромацький Є.О. *Методологічні основи управління продукційним процесом соняшнику*. Інститут рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН, Державний біотехнологічний університет. Харків. 2022, 528 с.
28. Hammer Ø., Harper D.A.T. PAST: palaeontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001. Vol. 4. P. 1.

Дата першого надходження статті до видання: 30.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 22.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

---