

<https://doi.org/10.15407/frg2025.04.359>

УДК: 582.685:631.8

ВПЛИВ ЗАСТОСУВАННЯ БОРОВМІСНИХ МІКРОДОБРИВ НА УРОЖАЙНІСТЬ РІПАКУ ОЗИМОГО

І.М. БУЧИНСЬКИЙ

*Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України
03022 Київ, вул. Васильківська, 31/17
e-mail: buchynskiy.i.m@gmail.com*

Досліджено вплив бору та препаратів бору з комплексом мікро- й макроелементів на урожайність ріпаку озимого. Встановлено ефективність осіннього внесення бору в дозах 200 й 400 г/га, яке забезпечувало збільшення урожайності ріпаку озимого. Осіннє застосування підвищених норм бору (400 г/га) має менший вплив на урожайність порівняно із внесенням борату по наростаючих ярусах культури (восени 150 г/га та навесні двічі по 150 г/га до цвітіння). Показана ефективність максимальної у досліді дози бору 450 г/га, що підтверджує значну потребу в цьому мікроелементі рослин ріпаку. Встановлено збільшення урожайності за дворазового застосування добрива борон рН 2,0 л/га (торгова марка «Wuxal Борон рН»), що містить більше (108 г/л) бору та комплекс мікро- й макроелементів (Р — 183 г/л, N — 70, S — 5,5, Cu — 0,7, Fe — 1,4, Mn — 0,7, Mo — 0,014, Zn — 0,7 г/л) над дворазовим застосуванням ойлсид плюс 2,0 л/га (торгова марка «Wuxal OILSEED PLUS»), що містить меншу кількість бору (85 г/л), а також комплекс мікро- та макроелементів (N — 15 г/л, S — 30, Mn — 20, Mo — 3,5 г/л). Найвища урожайність в досліді була за внесення бору в поєднанні з мікро- й макроелементами за 5 внесень обприскуванням за сезон: восени мікроплант 2 л/га та борон 2 л/га у стадію розвитку ВВСН — 14—15 і 17—18 відповідно; навесні мікроплант 2 л/га, борон 2 л/га та ойлсид плюс 2,0 л/га у стадію розвитку ВВСН — 30—31, 53—55 і 63—65 відповідно (сумарно внесено: В — 535,8 г/га, Р — 320, N — 607, К — 499, S — 380, Cu — 34,4, Fe — 68,4, Mn — 117,2, Mo — 4,156, Zn — 65,6, Mg — 113 г/га). Тут урожайність збільшувалась на 4,4 ц/га. У польових та виробничому досліді встановлено ефективність застосування як бору, так і бору разом із комплексом мікро- та макроелементів на різних типах ґрунтів. На чорноземі типовому з вмістом гумусу 3,2 % приріст урожайності за застосування мікро- та макроелементів був дещо нижчий порівняно з результатами дослідів на сірому лісовому ґрунті з вмістом гумусу 1,9 %. Вірогідно, що це може свідчити про вищий рівень вимивання аніону борату на ґрунтах із нижчим рівнем гумусу. Отже, на бідніших ґрунтах потреба в застосуванні бору з мікроелементами вища.

Ключові слова: *Brassica napus* L., боратні добрива, мікроелементи, вплив бору на продуктивність ріпаку.

Цитування: Бучинський І.М. Вплив застосування боровмісних мікродобрих на урожайність ріпаку озимого. *Фізіологія рослин і генетика*. 2025. 57, № 4. С. 359—368. <https://doi.org/10.15407/frg2025.04.359>

Натепер ріпак озимий залишається однією з найпоширеніших у рослинництві України культур. Проте необхідні складові вирощування ріпаку озимого продовжують дискутуватися науковою спільнотою. Одним з найскладніших щодо вирішення питань вирощування ріпаку озимого є забезпечення посівів макро- та мікроелементами. Ріпак належить до борозалежних культур, проте ефективність борного живлення за очевидного позитивного впливу бору на розвиток культури залишається мало дослідженою для композицій з іншими елементами живлення. Дефіцит бору на посівах сільськогосподарських культур спостерігається частіше за виявлення дефіцитів інших мікроелементів. З даних досліджень, проведених у гідропонній культурі, оптимальною концентрацією бору в розчині була 25 мкМ, що забезпечувала найвищий вміст бору в тканинах кореня та стебла [1]. На думку вітчизняних авторів, в умовах України прояви дефіциту бору в сільськогосподарських культурах не поступаються масштабним проявам дефіциту міді та цинку [2]. Щодо особливостей впливу бору на розвиток рослин ріпаку озимого, то наявність пулу елемента сприяє синтезу та руху вуглеводів з листків у кореневу шийку, що запобігає дуплистості кореня і може підвищувати зимостійкість [3]. Основна кількість бору, до 90 %, знаходиться у рослині в клітинних стінках [4], що забезпечує їх еластичність і попереджує ушкодження кореневої шийки та стебел за несприятливих погодних умов [5]. Забезпечення бором та іншими елементами живлення в осінній період також підвищує вміст цукрів й осмотичний тиск клітинного соку з відповідним посиленням зимостійкості культур [6]. Відомо, що взаємодія бору та азоту позитивно впливає на рослину [7]. За умов обмеженого вмісту бору в ґрунті, наявність пулів нітрату покращує транспорт бору від кореня до пагона. За умов високого вмісту в ґрунті бору, коли аніон може проявляти фітотоксичну дію, конкуренція нітратів і боратів на рівні переносників зменшує поглинання бору рослинами, а це доводить, що високі дози азоту можуть мінімізувати токсичність бору [8]. Також у джерелах знаходимо інформацію про синергізм щодо поглинання та засвоювання між бором і фосфором, калієм, кальцієм і цинком [9]. А отже комплексне забезпечення цими елементами є важливим для формування урожаю. Так, в польових дослідженнях [10], де застосовували фосфоровмісні добрива з п'ятьма нормами внесення (0, 45, 90, 135 та 180 кг P_2O_5 /га) і чотирма нормами внесення боровмісних добрив (0, 4,5, 9 та 18 кг $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$ /га), отримали найвищий урожай за збалансованого внесення $P_{45}B_{4,5}$ порівняно із внесенням $P_{45}B_{18}$, а застосування $P_{180}B_{18}$ забезпечило вищу урожайність, ніж застосування $P_{180}B_{4,5}$.

В інших дослідженнях виявлено позитивну реакцію рослин ріпаку на застосування як бору, так й інших мікроелементів [11]. Так, дворазове листкове застосування цинку, марганцю та бору (2, 4, 6 г/л Zn; 2, 4, 6 г/л Mn; 2, 4, 6 г/л B) у фазі ВВСН 31 і ВВСН 61 продемонструвало збільшення урожайності на кожному з варіантів. Проте найбільше зростання урожайності спостерігалось за застосування таких норм кожного з елементів: Zn — 4 г/л, Mn — 2 та B — 4 г/л на 12 %, 22 і 29 % відповідно. Показано, що найбільше підвищувало урожайність саме позакореневе застосування бору.

Відома й інша інформація щодо застосування мікроелементів на ріпаку. Так, для покриття дефіциту марганцю на ріпаку (якщо його в ґрунті менше як 90 ppm за рН 5 або 240 ppm за рН 7,2) автори рекомендують вносити 5000 г/га; за нестачі в ґрунті міді (нижче 3 ppm на ґрунтах із вмістом гумусу до 4 % та 4 ppm, де вміст гумусу перевищує 4 %) вносять 5000 г/га або позакоренево (на високогумусних ґрунтах) 30—50 г/га Cu у формі хелату; за нестачі в ґрунті цинку нижче 4 ppm вносять 5—15 кг/га Zn у вигляді сульфату цинку; за нестачі молібдену (особливо на ґрунтах з рН нижче 5,5) позакоренево вносять 50—100 г/га молібдату натрію восени та двічі рано навесні [12].

Аналізуючи наведені джерела бачимо, що немає сталої рекомендації застосування як бору, так і комплексу елементів живлення з бором на ріпаку озимому. Так само як наведені дані не демонструють відмінностей у впливі на культурні рослини між застосуванням елементів живлення в ґрунт та/чи позакоренево. Якщо проаналізувати рекомендації виробників мікродобрив, таких як Вуксал (торгова марка «Wuxal»), АДОБ (торгова марка «АДОБ»), ЯРА (торгова марка «Yara») та інші, всі вони пропонують застосовувати різні співвідношення мікроелементів на ріпаку. Також досить мало рендомізованих польових дослідів в умовах України, які показують вплив застосування як бору, так й інших мікроелементів на рослини ріпаку [2]. З огляду на це важливо проаналізувати вплив на урожайність ріпаку озимого позакореневого внесення як боровмісних, так і комплексних добрив з мікро- й макроелементами для визначення ефективності цього агрозаходу.

Методика

Польовий дослід проводився впродовж 2013—2015 рр. на базі господарства СП «Інтерагро Сквиря», с. Тарасівка, Сквирський р-н, Київська обл. В досліді висівали гібрид ріпаку озимого (*Brassica napus* L. *oleifera*) Вісбі від компанії ТОВ «НПЦ Україна». Ґрунт на дослідній ділянці: чорнозем типовий, середньосуглинковий із вмістом гумусу 3,2 % та рН 6,8. Дослід закладався в чотирипільний сівозміні в межах одного поля: ячмінь озимий — ріпак озимий — пшениця озима — горох.

Технологія вирощування ріпаку озимого на дослідній ділянці складалася із внесення добрив: під оранку 200 кг/га нітроамофоски (16 : 16 : 16); по мерзлоталому ґрунту — 300 кг/га аміачної селітри і 150 кг/га сульфату амонію, отже сумарно під дослід внесено $N_{165} P_{32} K_{32} S_{36}$, та застосування пестицидів: осіннього застосування бакової суміші ґрунтових гербіцидів бутизан 400 SC 2,0 л/га та команд 48 KE 0,2 л/га й обприскування у фазі ВВСН 15—16 препаратом карамба турбо 0,8 л/га в баковій суміші з інсектицидом коннект 112,5 КС 0,5 л/га; весняного застосування інсектицидів децис f-люкс 0,4 л/га та коннект 112,5 КС 0,5 л/га до цвітіння ріпаку в міру появи шкідників й обприскування в період цвітіння (ВВСН 63—65) інсектицидом біскайя 0,4 л/га в баковій суміші з фунгіцидом аканто плюс 0,8 л/га.

Площа ділянки становила 41,0 м² (2 м · 20,5 м). Висівали селекційною сівалкою «Хеге» (торгова марка «HEGE») завширшки 2 м. Всі

фонові обробки пестицидами проводилися впоперек до ділянок навісним обприскувачем «Бурі» (торгова марка BURY) зі штангою 22 м. Внесення мікродобрив згідно зі схемою дослідів здійснювали окремо від пестицидів ручним ранцевим обприскувачем «Соло» (торгова марка «SOLO») зі штангою 2 м на 5 щілинних розпилювачів із повним конусом.

Застосування позакореневих мікродобрив відбувалося за схемою, наведеною в табл. 1. У другому, третьому та четвертому варіантах для забезпечення ріпаку озимого бором застосовували бортрак 150 (торгова марка «YaraVita Bortrac 150») із вмістом бору у формі борної кислоти, з'єднаної з аміноетанолом 150 г/л й азоту 65 г/л. У п'ятому варіанті використовували борон рН, що містить бор у формі борату 108 г/л, фосфор у формі фосфату 183 г/л, азот 70 г/л, сірку 5,5 г/л, мідь 0,7 г/л, залізо 1,4 г/л, марганець 0,7 г/л, молібден 0,014 г/л, цинк 0,7 г/л. У шостому варіанті вносили ойлсид плюс, що складається з бору у формі борату 85 г/л, азоту 15 г/л, сірки 30 г/л, марганцю 20 г/л, молібдену 3,5 г/л. У сьомому варіанті застосовували в різних фазах розвитку ріпаку озимого такі мікродобрива, як борон рН, ойлсид плюс та мікроплант (торгова марка «Wuxal Мікроплант»), що містить: бор у формі борату 4,7 г/л, азот 78 г/л, калій 157 г/л, магній 47 г/л, сірку 202,5 г/л, мідь 7,9 г/л, залізо 15,7 г/л, марганець 23,6 г/л, молібден 0,15 г/л, цинк 15,7 г/л.

Врожай збирали методом обмолоту кожної окремої ділянки комбайном «Зюрн» (торгова марка «ZURN 150») з автоматичною фіксацією вологості та маси насіння ріпаку озимого з однієї ділянки з подальшим перерахунком на гектар за базової вологості 8 %, повторність триразова.

Для перевірки ефективності боровмісних добрив у 2023—2024 рр. проводили дослід в умовах господарства ТОВ «Метагро», що розташоване в Рівненській обл., Дубенський р-н, с. Плоска. Ґрунт сірий лісовий, середньосуглинковий, рН — 6,7, вміст гумусу — 1,9 %. Контрольний варіант дослідів без застосування мікродобрив, варіант із застосуванням бортрак 150 1 л/га восени та двічі по 1 л/га навесні у фазах як зазначено для варіанта 4 в табл. 1, і варіант із застосуванням препаратів від компанії «Вуксал» аналогічно до варіанта 7, що в табл. 1 (див. табл. 1). Площа ділянки 2 га, повторність триразова. Мікродобрива вносили з пестицидами відповідно до технологічної карти господарства.

Статистичну обробку проводили за допомогою програми Statistica 6.0. У таблицях наведено середні арифметичні значення та $HP_{0,05}$ або стандартну помилку середнього.

Результати та обговорення

Другий і третій варіанти дослідів закладали для визначення впливу осіннього внесення бору та порівняння ефективності із внесенням бору частинами (варіант 4). З результатів урожайності видно, що осіннє внесення боровмісних препаратів як одноразово (200 г/га), так і дворазово (400 г/га) збільшувало урожайність на 0,9 та 1,5 ц/га відповідно (табл. 2). Це доводить важливість забезпечення ріпаку

ВПЛИВ ЗАСТОСУВАННЯ БОРОВМІСНИХ МІКРОДОБРИВ

ТАБЛИЦЯ 1. Схема застосування мікродобрих на ріпаку озимому в дослідженнях 2013—2015 рр.

Номер	Осінь		Весна		
	4—5 листків (ВВСН 14—15)	7—8 листків (ВВСН 17—18)	За висоти 15 см (ВВСН 30—31)	Бутонізація (ВВСН 53—55)	Цвітіння (ВВСН 63—65)
1	Контроль без мікродобрих				
2	Бортрак 150 1,3 л/га				
3	Бортрак 150 1,3 л/га	Бортрак 150 1,3 л/га			
4	Бортрак 150 1,0 л/га		Бортрак 150 1,0 л/га	Бортрак 150 1,0 л/га	
5	Борон рН 2 л/га		Борон рН 2 л/га		
6	Ойлсид плюс 2 л/га		Ойлсид плюс 2 л/га		
7	Мікроплант 2 л/га	Борон рН 2 л/га	Мікроплант 2 л/га	Борон рН 2 л/га	Ойлсид плюс 2 л/га

озимого бором з осені. Збільшення урожайності за застосування восени 400 г/га вказує на велику потребу в цьому мікроелементі саме в осінній період. Слід також зазначити, що за осіннього застосування значна частина бору, яка є в борних добривах, потрапляє на ґрунт, промивається опадами та в подальшому засвоюється рослинами ріпаку озимого у формі боратів [13—17]. Це також може бути причиною зростання урожайності за використання великих норм боровмісних добрив восени. Проте триразове листкове застосування бору (варіант досліду 4) по 150 г/га як восени, так і навесні забезпечувало на 2,1 ц/га вищий урожай за осіннє одноразове внесення бору 200 г/га та на 1,5 ц/га вищий урожай за осіннє дворазове застосування бору 400 г/га. Це також свідчить, що застосування мікродобрих частинами впродовж вегетації ріпаку озимого має кращий позитивний вплив на розвиток рослин, а отже й на збільшення формування врожаю.

В препараті бортрак 150 міститься також невелика кількість азоту (65 г/л). За внесення його з бором, він сприяє кращому проникненню бору в рослину, але не має значного впливу на урожайність, так як потреба його на формування 1 т насіння ріпаку озимого становить 60—65 кг, а з препаратом вносили 85—195 г/га. Також збільшення урожайності за внесення впродовж вегетації 450 г/га частинами показує високу потребу в цьому мікроелементі для рослин ріпаку.

Аналізуючи варіанти із застосуванням препаратів, що містять комплекс мікро- та макроелементів (варіанти 5—7) бачимо, що за дворазового внесення борон рН (В — 432 г/га, Р — 320, N — 280, S — 44, Cu — 2,8, Fe — 5,6, Mn — 2,8, Mo — 0,056, Zn — 2,8 г/га) урожайність зростала на 2,1 ц/га порівняно з контролем та була вищою на 0,3 ц/га, як у варіанті з дворазовим застосуванням ойлсид плюс (В — 340 г/га, N — 60, S — 48, Mn — 60, Mo — 14 г/л). Різниця за урожайністю між варіантами з дворазовим застосуванням борон рН та ойлсид плюс є незначною і статистично не доведена, проте видно

ТАБЛИЦЯ 2. Вплив позакореневого застосування борату в складі мікродобрив на урожайність ріпаку озимого

Номер	Варіант	Урожайність, ц/га				± до контролю, ц/га
		2013 р.	2014 р.	2015 р.	Середнє	
1	Контроль без мікродобрив	35,3	41,9	42,5	39,9	-
2	Бортрак 150 1,3 л/га (ВВСН 14–15)	36,1	42,3	43,9	40,8	0,9
3	Бортрак 150 2,6 л/га (ВВСН 14–15 та 17–18)	37,0	42,9	44,2	41,4	1,5
4	Бортрак 150 3,0 л/га (ВВСН 14–15, 30–31 та 53–55)	37,7	44,1	46,8	42,9	3,0
5	Борон рН 4 л/га (ВВСН 14–15 та 30–31)	37,3	43,0	45,6	42,0	2,1
6	Ойлсид плюс 4 л/га (ВВСН 14–15 та 30–31)	36,3	43,1	45,7	41,7	1,8
7	Мікроплант 4 л/га (ВВСН 14–15 та 30–31) + борон рН 4 л/га (ВВСН 17–18 та 53–55) + ойлсид плюс 2 л/га (ВВСН 63–65)	39,8	45,7	47,4	44,3	4,4
НІР _{0,05}	1,2		0,9	1,7	—	—

деяку тенденцію зростання врожайності за внесення борон рН, який містить більше бору, азоту, а також містить фосфор, цинк, мідь та залізо.

Порівнюючи урожайність із застосуванням борон рН 4 л/га за дворазового внесення (В — 432 г/га з додаванням мікро- та макро- елементів) і триразове внесення бортрак 150 по 1 л/га (В — 450 г/га) спостерігаємо збільшення урожайності на 0,9 ц/га, незважаючи на те що з борон рН було внесено ще інші мікроелементи та фосфор. Важливо тут вказати, що борат не реутилізується між сформованими та молодими листками [18], тому внесення частинами під час активного росту рослини матиме перевагу над внесенням тієї самої норми за меншу кількість разів. Отже, триразове внесення борних добрив порівняно до дворазового та збільшення норми В на 18 г/га сприяло збільшенню урожайності в середньому на 0,9 ц/га.

Найвищу урожайність було отримано у варіанті 7, де застосовували п'ятиразове внесення препаратів для листового живлення з мікро- та макроелементами: В — 535,8 г/га, Р — 320, N — 607, К — 499, S — 380, Cu — 34,4, Fe — 68,4, Mn — 117,2, Mo — 4,156, Zn — 65,6, Mg — 113 г/га. П'ятиразове застосування мікроелементів збільшило урожайність в середньому на 4,4 ц/га і ця різниця з контролем статистично доведена.

За результатами дослідів 2023–2024 рр. в умовах господарства ТОВ «Метагро» виявлено таку саму залежність як і в попередньому: за триразового застосування боровмісних добрив урожайність зрос-

ВПЛИВ ЗАСТОСУВАННЯ БОРОВМІСНИХ МІКРОДОБРІВ

ТАБЛИЦЯ 3. Ефективність боровмісних мікродобрив для позакореневого внесення на ріпаку озимому в ТОВ «Метагро» ($x \pm SE$, $n = 3$)

Номер	Варіант	Урожайність, ц/га			± до контролю, ц/га
		2023 р.	2024 р.	Середнє	
1	Контроль без мікродобрив	33,5±0,4 ^a	34,2±0,5 ^a	33,85	—
2	Бортрак 150 3,0 л/га (ВВСН 14—15, 30—31 та 53—55)	37,6±0,3 ^b	38,9±0,6 ^b	38,25	4,4
3	Мікроплант 4 л/га (ВВСН 14—15 та 30—31) + борон рН 4 л/га (ВВСН 17—18 та 53—55) + ойлсид плюс 2 л/га (ВВСН 63—65)	39,2±0,3 ^a	40,1±0,6 ^a	39,65	5,8

Примітка. Однаковими літерами позначені значення, які вірогідно не відрізнялися за результатами порівняння з використанням критерію Тьюкі; різниця вірогідна за $P \leq 0,05$.

тала на 4,4 ц/га, а за застосування бору з мікроелементами урожайність зростала аж на 5,8 ц/га порівняно з контролем (табл. 3).

З результатів досліджень видно, що приріст урожаю від застосування як бору, так і бору з мікроелементами був вищий на полях з біднішим ґрунтом, який має нижчий рівень гумусу.

Таким чином, проведені досліді показують, що ріпак озимий позитивно реагує як на осіннє, так і весняне застосування боровмісних добрив. Листкове внесення бору як восени в дозі 150 г/га у фазу ВВСН 14—15, так і навесні двічі по 150 г/га у період відновлення вегетації (ВВСН 30—31) та фазу бутонізації (ВВСН 53—55) (сумарно В — 450 г/га) має значно вищий вплив на врожайність, ніж за внесення бору тільки восени (ВВСН 14—15 та 17—18) (сумарно В — 400 г/га). Листкове застосування бору разом з іншими мікро- та макроелементами позитивно впливає на урожайність озимого ріпаку, причому за вищого вмісту саме бору вплив на урожайність більший. Відомо, що борат слабо реутилізується, або не реутилізується між ярусами культури. З огляду на це, поступове забезпечення пулами аніону, в кілька обприскувань, по наростаючих ярусах ріпаку озимого є важливою складовою досягнення максимальної продуктивності культури в умовах регіону та відповідно до доступної вологи у вегетаційному сезоні. В наших дослідях рівномірне забезпечення бором з комплексом мікро- та макроелементів упродовж вегетації ріпаку озимого включно з серединою цвітіння, забезпечило найвищий у досліді приріст урожаю аж до 4,4 ц/га.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

- Dinh A.Q., Naeem A., Mühling K.H. Growth and distribution of boron in oilseed rape (*Brassica napus* L.) as affected by boron supply. *Plants*. 2022. **11**(20). P. 2746—2754. <https://doi.org/10.3390/plants11202746>
- Morgun V.V., Cakmak I., Schwartau V.V., Mykhalska L.M. Physiological peculiarities of sunflower boron nutrition. *Фізіологія рослин і генетика*. 2020. **52**, № 3. С. 187—195. <https://doi.org/10.15407/frg2020.03.187>

3. Aftab T., Landi M., Papadakis I.E., Araniti F., Brown P.H. Boron in plants and agriculture. Oxford: Elsevier Inc., 2022. 353 p.
4. Takano J., Noguchi K., Yasumori M., Kobayashi M., Gajdos Z., Miwa K., Hayashi H., Yoneyama T., Fujiwara T. Arabidopsis boron transporter for xylem loading. *Nature*. 2002. N 420. P. 337—340. <https://doi.org/10.1038/nature01139>
5. Arunkumar B.R., Thippeshappa G.N., Anjali M.C., Prashanth K.M. Boron: A critical micronutrient for crop growth and productivity. *Pharm. Phytochem*. 2018. N 7. P. 2738—2741.
6. Brown P.H., Bellaloui N., Wimmer M.A., Bassil E.S., Ruiz J., Hu H., Pfeffer H., Dannel F., Römhild V. Boron in plant biology. *Plant Biol*. 2002. N 4. P. 205—223. <https://doi.org/10.1055/s-2002-25740>
7. Marschner P. Mineral nutrition of higher plants. 3rd edition. London: Academic Press, 2011. 684 p. <https://doi.org/10.1016/C2019-0-00491-8>
8. Li S., Yan L., Venuste M., Xu F., Shi L., White P.J., Wan X., Ding G. A critical review of plant adaptation to environmental boron stress: Uptake, utilization, and interplay with other abiotic and biotic factors. *Chemosphere*. 2023. N 10. P. 338—350. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139474>
9. Vera-Maldonado P., Aquea F., Reyes-Díaz M., Cárcamo-Fincheira P., Soto-Cerd B., Nunes-Nesi A., Inostroza-Blancheteau C. Role of boron and its interaction with other elements in plants. *Plant Sci*. 2024. N 2. P. 15—30. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1332459>
10. Zhao Z., Wang Y., Shi J., Wang S., White P. J., Shi L., Xu F. Effect of balanced application of boron and phosphorus fertilizers on soil bacterial community, seed yield and phosphorus use efficiency of *Brassica napus*. *Sci. Total Env*. 2021. N 1. P. 346—355. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141644>
11. Kalantarahmadi S., Daneshian J. Improving of canola (*Brassica napus* L.) yield and oil quality by foliar application of micro-nutrients under high-temperature stress. *Soil Sci. Plant Nutr*. 2023. N 1. P. 351—367. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-01016-2>
12. Goldbach H.E., Rerkasem B., Wimmer M.A., Brown P.H., Patrick H., Thellier M., Bell R.W. Boron in plant and animal nutrition. New York: Springer Science + Business Media, LLC, 2002. 410 p.
13. Warrington K. The effect of boric acid and borax on the broad bean and certain other plants. *Ann. Bot.* 1923. N 37. P. 629—672. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a089871>
14. Bulut H. The effect of climatic factors on boron nutrition of plants: 9th International symposium on atmospheric sciences ATMOS (Istanbul, December 2019). Istanbul, 2019. P. 1—5.
15. Brdar-Jokanović M. Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. *Mol. Sci*. 2020. 21 (4). P. 1—20. <https://doi.org/10.3390/ijms21041424>
16. Zhao S., Huq E., Fahad S., Kamran M., Riaz M. Boron toxicity in plants: understanding mechanisms and developing coping strategies; a review. *PudMed*. URL: <https://doi.org/10.1007/s00299-024-03317-5>. (Дата звернення: 30.04.2025)
17. Mühlbachová G., Čermák P., Káš M., Marková K., Vavera R., Pechová M., Lošák T. Crop yields, boron availability and uptake in relation to phosphorus supply in a field experiment. *Plant Soil Env*. 2018. N 12. P. 619—625. <https://doi.org/10.17221/490/2018-PSE>
18. Brown P.H., Shelp B.J. Boron mobility in plants. *Plant & Soil*. 1997. N 7. P. 85—101. <https://doi.org/10.1023/A:1004211925160>

Отримано 01.10.2025

REFERENCES

1. Dinh, A.Q., Naeem, A. & Mühling, K.H. (2022). Growth and distribution of boron in oilseed rape (*Brassica napus* L.) as affected by boron supply. *Plants*, 11(20), pp. 2746-2754. <https://doi.org/10.3390/plants11202746>

2. Morgun, V.V., Cakmak, I., Schwartau, V.V. & Mykhalska, L.M. (2020). Physiological peculiarities of sunflower boron nutrition. *Fiziol. rast. genet.*, 52(3), pp. 187-195. <https://doi.org/10.15407/frg2020.03.187>
3. Aftab, T., Landi, M., Papadakis, I.E., Araniti, F. & Brown, P.H. (2022). *Boron in Plants and Agriculture*. Oxford: Elsevier Inc.
4. Takano, J., Noguchi, K., Yasumori, M., Kobayashi, M., Gajdos, Z., Miwa, K., Hayashi, H., Yoneyama, T. & Fujiwara, T. (2002). Arabidopsis boron transporter for xylem loading. *Nature*, No. 420, pp. 337-340. <https://doi.org/10.1038/nature01139>
5. Arunkumar, B.R., Thippeshappa, G.N., Anjali, M.C. & Prashanth, K.M. (2018). Boron: A critical micronutrient for crop growth and productivity. *Pharm. Phytochem.*, 7(2), pp. 2738-2741.
6. Brown, P.H., Bellaloui, N., Wimmer, M.A., Bassil, E.S., Ruiz, J., Hu, H., Pfeiffer, H., Dannel, F. & Römhild, V. (2002). Boron in plant biology. *Plant Biol.*, No. 4(2), pp. 205-223. <https://doi.org/10.1055/s-2002-25740>
7. Marschner, P. (2011). *Mineral nutrition of higher plants*. 3rd edition. London: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2019-0-00491-8>
8. Li, S., Yan, L., Venuste, M., Xu, F., Shi, L., White, P.J., Wan, X. & Ding, G. (2023). A critical review of plant adaptation to environmental boron stress: Uptake, utilization, and interplay with other abiotic and biotic factors. *Chemosphere*, No. 10, pp. 338-350. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139474>
9. Vera-Maldonado, P., Aquea, F., Reyes-Reyes-Díaz, M., Cárcamo-Fincheira, P., Soto-Cerd, B., Nunes-Nesi, A. & Inostroza-Blancheteau, C. (2024). Role of boron and its interaction with other elements in plants. *Front. Plant Sci.*, No. 2, pp. 15-30. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1332459>
10. Zhao, Z., Wang, Y., Shi, J., Wang, S., White, P.J., Shi, L., Xu, F. (2021). Effect of balanced application of boron and phosphorus fertilizers on soil bacterial community, seed yield and phosphorus use efficiency of Brassica napus. *Sci. Total Env.*, No. 1, pp. 346-355. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141644>
11. Kalantarahmadi, S. & Daneshian, J. (2023). Improving of canola (Brassica napus L.) yield and oil quality by foliar application of micro-nutrients under high-temperature stress. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 23, pp. 351-367. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-01016-2>
12. Goldbach, H.E., Rerkasem, B., Wimmer, M.A., Brown, P.H., Patrick, H., Thellier, M. & Bell, R.W. (2002). *Boron in Plant and Animal Nutrition*. New York: Springer Science + Business Media, LLC.
13. Warrington, K. (1923). The effect of boric acid and borax on the broad bean and certain other plants. *Ann. Bot.*, 37, pp. 629-672. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a089871>
14. Bulut, H. (2019). The effect of climatic factors on boron nutrition of plants. 9th International symposium on atmospheric sciences ATMOS (pp. 1-5), Istanbul.
15. Brdar-Jokanović, M. (2020). Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. *Int. J. Mol. Sci.*, 21(4), pp. 1-20. <https://doi.org/10.3390/ijms21041424>
16. Zhao, S., Huq, E., Fahad, S., Kamran, M. & Riaz, M. Boron toxicity in plants: understanding mechanisms and developing coping strategies; a review. *PudMed*. <https://doi.org/10.1007/s00299-024-03317-5>.
17. Mühlbachová, G., Čermák, P., Káš, M., Marková, K., Vavera, R., Pechová, M. & Lošák, T. (2018). Crop yields, boron availability and uptake in relation to phosphorus supply in a field experiment. *Plant Soil Environ.*, 64(12), pp. 619-625. <https://doi.org/10.17221/490/2018-PSE>
18. Brown, P.H. & Shelp, B.J. (1997). Boron mobility in plants. *Plant and Soil*, No. 7, pp. 85-101. <https://doi.org/10.1023/A:1004211925160>

Received 01.10.2025

THE EFFECT OF THE BORON-CONTAINING MICROFERTILIZERS ON THE
YIELD OF WINTER RAPESEED

I.M. Buchynskyy

Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine
31/17 Vasylykivska St., Kyiv, 03022, Ukraine
e-mail: buchynskiy.i.m@gmail.com

The effect of boron and preparations with a complex of micro- and macroelements on the yield of winter rapeseed was studied. The importance of autumn application of boron was established, which ensured an increase in the yield of winter rapeseed both at 200 g B/ha and at 400 g B/ha, and also that autumn application of increased boron rates (400 g B/ha) has a smaller positive effect on yield than multiple application (in autumn 150 g B/ha and in spring twice at 150 g B/ha before flowering). The effectiveness of the maximum boron dose in the trial of 450 g B/ha was shown, which indicates a high need for this microelement for rapeseed plants. An increase in yield was shown with a double application of Wuxal Boron pH 2.0 l/ha, which contains more (B — 108 g/l) boron and a complex of micro- and macroelements (P — 183 g/l, N — 70 g/l, S — 5.5 g/l, Cu — 0.7 g/l, Fe — 1.4 g/l, Mn — 0.7 g/l, Mo — 0.014 g/l, Zn — 0.7 g/l) over a double application of Wuxal Oilseed Plus 2.0 l/ha, which contains a smaller amount of boron (B — 85 g/l), as well as a complex of micro- and macroelements (N — 15 g/l, S — 30 g/l, Mn — 20 g/l, Mo — 3.5 g/l). The highest yield in the trial was achieved with boron application in combination with micro- and macroelements for 5 spraying applications per season: autumn Wuxal Microplant 2 l/ha in stage BBCH — 14-15 and Wuxal Boron pH 2 l/ha in BBCH — 17-18; in the spring, Wuxal Microplant 2 l/ha in BBCH — 30-31, Wuxal Boron pH 2 l/ha in BBCH — 53-55 and Wuxal Oilseed Plus 2.0 l/ha in BBCH — 63-65 (total applied: B — 535.8 g/ha, P — 320 g/ha, N — 607 g/ha, K — 499 g/ha, S — 380 g/ha, Cu — 34.4 g/ha, Fe — 68.4 g/ha, Mn — 117.2 g/ha, Mo — 4.156 g/ha, Zn — 65.6 g/ha, Mg — 113 g/ha). This application increased yield by 440 kg/ha. The effectiveness of using both solo boron and preparations containing a complex of micro- and macroelements on different types of soils was demonstrated: on typical black soil with a humus content of 3,2 %, the increase in yield with the application of micro and macro elements was slightly lower than on gray forest soil with a humus content of 1,9 %. It is likely that this may indicate a higher level of leaching of borate anion in soils with lower humus levels. Therefore, on poorer soils, the need for boron application with micronutrients is higher.

Key words: *Brassica napus* L., borate fertilizers, microelements, effect of boron on yield.

ORCID

І.М. БУЧИНСЬКИЙ — I.M. Buchynskyy <https://orcid.org/0009-0004-3692-3672>