

УДК 547.1:127:661.654(043.2)

БІОЛОГІЧНА АКТИВНІСТЬ ТА БІОЛОГІЧНА ДОСТУПНІСТЬ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНИХ КОМПЛЕКСІВ (ПЕКТИН-БОРНА КИСЛОТА) В СИСТЕМАХ ВИЩИХ НАЗЕМНИХ РОСЛИН

С.В. ПРИМАЧЕНКО, А.Д. КУСТОВСЬКА, Д.С. МОХНЄВ

Національний авіаційний університет, м. Київ

*В роботі зроблена спроба введення бору в рослини в формі супрамолекулярного комплексу борної кислоти з пектином та досліджена біодоступність таких комплексів в залежності від способу їх введення. В якості об'єкта досліджень було використано салат посівний (*Lactuca sativa*). Найбільш ефективним способом введення виявилось оприскування всієї рослини. Висока концентрація бору у молодих листах свідчить про достатню рухливість комплексу при вертикальному та горизонтальному транспортуванні бору в центри активного росту.*

Ключові слова: *біологічна активність, біологічна доступність, комплексні сполуки, супрамолекулярні комплекси, борна кислота, зостеран.*

Вступ. Бор – є необхідним елементом біохімічних процесів рослинних організмів. В умовах нестачі бору зростання і розвиток рослин уповільнюються, зменшується їх стійкість до посухи, заморозків і інших несприятливих факторів. Бор тісно пов'язаний з обміном фенолів у рослинному організмі. При нестачі бору в рослинах нагромаджується надлишок окиснених фенольних сполук, що веде до загального порушення метаболізму і відмирання точок росту. Від наявності бору залежить утворення і функціонування бульбочок на коренях бобових рослин, бо бор приймає участь в розвитку і функціонуванні судинної системи рослин. Бор впливає на формування

репродуктивних органів, підсилює проростання пилку, збільшує кількість квітів і плодів. Дефіцит бору веде до відмирання вегетативних пагонів у всіх дводольних і багатьох однодольних рослин. Ще одним наслідком дефіциту бору є інтенсивний розвиток захворювань. Озима пшениця, наприклад, при недостатньому забезпеченні бором, сильно уражається іржею. Картопля уражається паршею, а цукрові буряки – гниллю сердечка. Тому сьогодні широко ведуться дослідження механізмів впливу бору на функціонування рослинних організмів в залежності від умов розвитку, природи рослини і способу введення добрива [1–4].

У сприятливому для росту більшості рослин діапазоні рН (від 5,5 до 7,5) бор в ґрунті знаходиться у вигляді недисоційованих молекул борної кислоти. Рослини поглинають бор у вигляді не іонів, а молекул борної кислоти. Це є унікальною особливістю цього елемента [5].

У вигляді борної кислоти бор накопичується в листках, на бутонах і квітках (пилку, зав'язі, тичинках) рослин. Розчинені у воді сполуки бору інтегруються в рослинну тканину зростаючого органу і фіксуються там. Низька мобільність бору посилює його токсичність при надлишку і дефіцит – при перебоях з постачанням цим елементом [6]. Одним із способів підвищення мобільності бору може бути зміна форми його доставки в рослину. З цією метою в роботі зроблена спроба ввести бор в формі супрамолекулярного комплексу борної кислоти з пектином. Борна кислота здатна утворювати етери з цукрами, які мають діольні групи *цис*- положеннях. Доведено, що боратні етери з'єднують поперечно пектинові полісахаридні ланцюги. Крім того бор утворює дипентозоборатний комплекс, який стабілізує рибозу, арабінозу та ксилозу [7].

Пектин, в свою чергу, відіграє суттєву роль у в рості, розвитку, морфогенезі, захисту рослини, злитті клітин, формуванні пористості оболонки, сигналізації, у дії факторів росту, обводненні насіння, розвитку плодів та формуванні аеренхіми в коренях [8]. Його застосовують як стимулятор росту

різних рослин [9,10]. Тому від введення в рослину комплексів борна кислота – пектин можна очікувати позитивних результатів.

На поглинання рослинами бору впливають тип ґрунту (текстура, рН, вміст органічної речовини), його вологість і концентрація цього елемента в ґрунті або ґрунтових водах. Всі ці фактори слід враховувати при кореновому введенні бору. У кислих і нейтральних ґрунтах бор адсорбується кисневими і гідроксильними радикалами на поверхні алюмосилікатів і включається в їх міжшарові або структурні позиції. Слабколужні ґрунти міцно утримують бор. Підвищення рН більше 7,5 суттєво зменшує доступність цього елемента [11]. Тому вапнування кислих ґрунтів іноді провокує дефіцит бору.

Якщо ґрунтово-кліматичні умови не гарантують високого ефекту від ґрунтового внесення борних добрив, можна використовувати позакореневе живлення. Його проводиться водними розчинами з рН 6,5 комплексними добривами, де сорбція мікро– і макроелементів відбувається через листову пластину. Зважаючи на викладене вище, в роботі була досліджена біодоступність супрамолекулярних комплексів в залежності від способу їх введення в рослину.

Матеріали і методи досліджень. Для аналізу біоактивності та біодоступності бору при введенні у рослину супрамолекулярного комплексу пектин-борна кислота, зі сланців гідробіонту камки морської (*Zostera marina*), що зростає в акваторії Чорного моря Одеської області України, методом гідролізу і осадженням хлоридною кислотою було отримано пектин (зостеран) [12, 13]. Методом кондуктометричного титрування визначена ступень естерифікації одержаного зразка за ДСТУ 29186-91 (Пектин. Технічні умови), що склав 69 %.

Для приготування 100 см³ вихідного розчину було взято наважку 0,3 г сухого пектину. В мірну колбу на 100 см³ додали 30 см³ бідистильованої води і на магнітній мішалці провели розчинення пектину при рН 6,5. Для зміщення середовища з кислого в нейтральне використовували розчин калій гідроксиду з концентрацією 0,01 М. Контроль показника рН здійснювався іономіром

лабораторним (И-160М) з блоком автоматичного титрування (БАТ-15,2). Після повного розчинення пектину (180 хв.) додали 0,06 г борної кислоти з подальшим перемішуванням упродовж 24 годин.

Для приготування робочого розчину вихідний розчин розводили бідистильованою водою в 10 разів. Концентрація робочого розчину по бору склала 10 мг/дм³. В якості об'єкта досліджень було використано рослину салат посівний (*Lactuca sativa*), вирощену ПАТ «ОЛВІСС СВ» в с. Рожівка, Броварського району, Київської обл. Всього 9 рослин.

Методом сухого озолення була підготовлена проба необробленої розчином пектин – борна кислота. Концентрацію бору визначали за методикою колориметричного визначення бору з індикатором хіналізарином [14]. Визначена за цією методикою концентрація бору в контрольному зразку склала 122,75±0,33 мг/кг.

Робочий розчин комплексу пектин – борна кислота об'ємом 10 см³ був введений одноразово в три способи:

- а) кореневе підживлення;
- б) оприскування всієї рослини (введення по листю)
- в) оприскування листка, що знаходиться на нижньому ярусі у прикореневій зоні (введення зі «старого» листка).

Рослини піддавалися впливу супрамолекулярного комплексу пектин – борна кислота упродовж 48 годин. Через 48 годин рослини були відокремлені від коренів та 3 рази промиті у дистильованій воді. Після цього листя було розділено за їх віком на «старі» і «молоді», підготовлені проби для аналізу методом сухого озолення та визначені концентрації бора в зразках за методикою колориметричного визначення бору з використанням індикатору хіналізарину на спектрофотометрі Улаб-101. Кожна середня проба по всім рослинам визначалася у трикратному повторі. Результати досліджень наведені в таблиці 1.

Маса бору в рослині в залежності від способу його введення

Спосіб внесення	Об'єкт вимірювання	Бор, мг/кг	Зміна маси бору, мг/кг
Кореневе підживлення	Старий листок (середня проба з 3 рослин)	122,90±1,68	0,15
	Молодий листок (середня проба з 3 рослин)	129.50±1,5	6,75
Введення по листю	Старий листок (середня проба з 3 рослин)	123,05±0,68	0,30
	Молодий листок (середня проба з 3 рослин)	131,31±0,86	8,56
Введення зі «старого» листка	Старий листок (середня проба з 3 рослин)	122,85±1,51	0,10
	Молодий листок (середня проба з 3 рослин)	128,75±1,64	6,00
Контроль	Середня проба з 9 рослин	122,75±0,33	0,00

Результати та їх обговорення. Проведене дослідження показало позитивну динаміку застосування супрамолекулярних комплексів пектин – борна кислота. Всі способи вводу бору показали підвищення його концентрації як в «старих» (рис. 1), так і в «молодих» (рис. 2) листках. Однак найбільш ефективним способом виявилось введення по листю, а найменш ефективним введення зі старого листка.

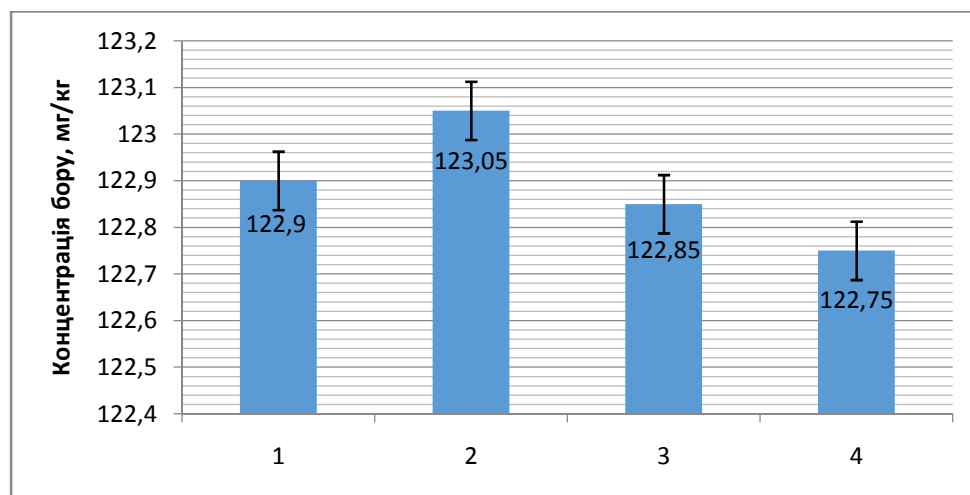


Рис. 1. Зміна концентрація бору в старих листках: 1 – кореневе підживлення; 2 – введення по листю; 3 – введення зі «старого» листа; 4 – контроль. Довірчий інтервал – 95 %

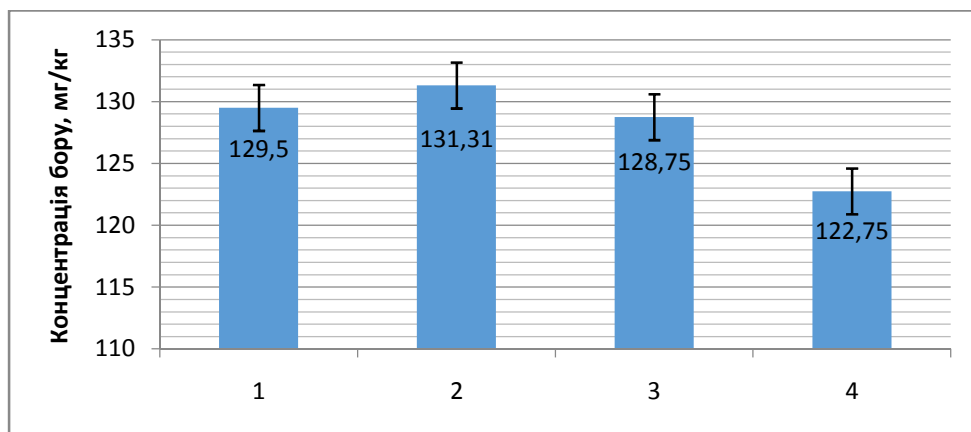


Рис. 2. Зміна концентрація бору в молодих листках 1 – кореневе підживлення; 2 – введення по листю; 3 – введення зі «старого» листка; 4 – контроль. Довірчий інтервал – 95 %

При введенні по листю (рис. 3) супрамолекулярний комплекс пектин – борна кислота проходить через листову мембрану рослини. З урахуванням розподілення бору між молодими та старими листками можна зауважити, що бор головним чином концентрується у молодих листах (рис. 3–5), що свідчить про значну роль бору у фазі росту рослини. Зважаючи на те, що ведення комплексу здійснювалося шляхом оприскування всієї рослини, при співвідношення площі старих листків до молодих приблизно 4:1, логічно було б очікувати, що більша концентрація бору буде у старих листках, але за результатами дослідження максимальне накопичення бору було зафіксоване в молодих листках. Це підтверджує вертикальний та горизонтальний транспорт бору в рослині і його концентрацію у тих частинах рослини, яка знаходиться у фазі активного росту. Висока концентрація бору у молодих листах також свідчить про достатню рухливість комплексу пектин – борна кислота у порівнянні з чистою борною кислотою.

Після нанесення 0,1 мг бору (10 см^3 розчину комплексу) на рослину середньою вагою 50 г, за 48 годин рослина в середньому (при умовному співвідношенні старих і молодих листів 4:1) поглинула близько 70 % бору, що свідчить про високу біодоступність супрамолекулярного комплексу пектин – борна кислота.

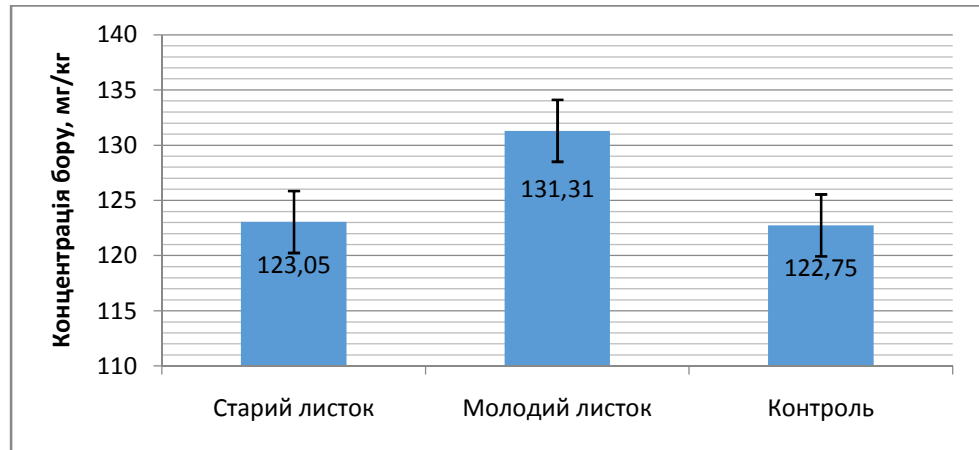


Рис. 3. Зміна концентрація бору в рослині при введенні комплексу пектин – борна кислота по листю. Довірчий інтервал – 95 %

Вертикальний та горизонтальний транспорт бору в рослині підтверджують дані при введенні комплексу з одного «старого» листка. Хоча ефективність такого способу введення дещо нижча. Менше 60 % нанесеного бору перейшло в рослину. При цьому бор з одного старого листка транспортується переважно в молоді листки, що знаходяться в фазі активного росту (рис. 4).

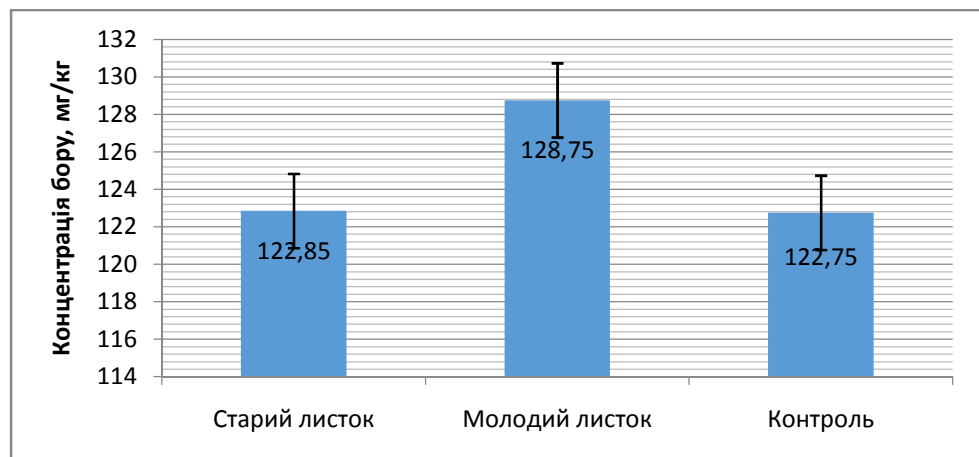


Рис. 4. Зміна концентрації бору в рослині при введенні комплексу пектин-борна кислота зі «старого» листка. Довірчий інтервал – 95 %

При кореновому підживленні супрамолекулярний комплекс пектин – борна кислота також показав достатньо високу біодоступність – проходження через кореневу систему близько 65 % бору від загальної маси введеного. Висока

концентрація бору в молодих листках (рис. 5) при такому способі введення також підтверджує вертикальний транспорт в рослині і концентрування бору в центрах активного росту.

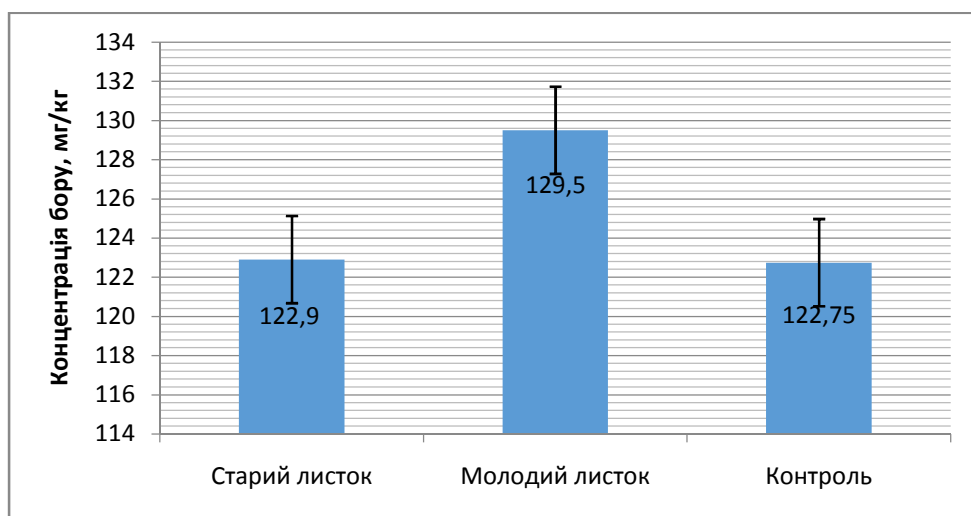


Рис. 5. Зміна концентрації бору при введенні комплексу пектин-борна кислота під корінь. Довірчий інтервал – 95 %

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження показало позитивну динаміку застосування супрамолекулярних комплексів пектин-борна кислота. Висока концентрація бору у молодих листках свідчить про достатню рухливість комплексу при вертикальному та горизонтальному транспортуванні бору в центри активного росту. При цьому найбільш ефективним способом введення виявилось оприскування всієї рослини. Застосування цього методу може бути особливо актуальним у стресові періоди (якщо ґрунтово-кліматичні умови не гарантують високого ефекту від внесення борних добрив під корінь).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Костин В. И. Применение регуляторов роста и борной кислоты для внекорневой подкормки. / Костин В.И., Музурова О.Г., Сяпуков Е.Е.// Сахарная свекла. – 2012. – №5. – С. 19–20.
2. Сяпуков Е. Е. Интенсивная технология возделывания сахарной свёклы с использованием регуляторов роста и борной кислоты для внекорневой

подкормки / Сяпуков Е.Е., Костин В.И., Музурова О.Г. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – №2. – С. 40–44.

3. Корневая подкормка винограда бором и его влияние на продуктивность насаждений / Малых Г.П., Титова Л.А., Магомадов А.С., Керимов И.С. // Садоводство и виноградарство. – 2013. – №5. – С. 29–23.

4. Harris K. D. Influence of Foliar Application of Boron and Copper on Growth and Yield of Tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv ‘Thilina’) / K. D. Harris, S. Puvanitha. // *AGRIEAST: Journal of Agricultural Sciences*. – 2018. – №11. – P. 12–19.

5. Miwa K. Boron transport in plants: co-ordinated regulation of transporters / K. Miwa, F. Toru. // *Annals of Botany*. – 2010. – №105:7. – P. 1103–1108.

6. Недуха О. М. Клітинна оболонка рослин і фактори середовища / О. М. Недуха. – Київ: Альтерпрес, 2015. – 289 с.

7. Borate Minerals Stabilize Ribose / A.Ricardo, M. A. Carrigan, A. N. Olcott, S. A. Benner. // *Science*. – 204. – №303. – 196 p.

8. Pectin: cell biology and prospects for functional analysis / Willats W.G., McCartney L., Mackie W., Knox J.P. // *Plant Molecular Biology*. – 2001. – №47. – P. 9–27.

9. Костин В.И. Экологическая эффективность применения природных регуляторов роста в популяции озимой пшеницы / В.И. Костин, В.Н. Ерофеева. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2010. – №5.2 – С. 127–130.

10. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development / [W. Khan, U. Rayirath, S. Subramanian et al.]. // *Journal of Plant Growth Regulation*. – 2009. – №28.4. – P. 386–399.

11. Каталымов М.В. Микроэлементы и микроудобрения / М.В. Каталымов. – М.: Химия, 2013. – 338 с.

12. Бисенова А.Р. Получение полисахаридов пектиновой природы из сырья Волго-Каспийского региона / А.Р. Бисенова, Е.Д. Мукактова. // Рыбпром:

технологии и оборудование для переработки водных биоресурсов. – 2010. – №4. – С. 56–59.

13. Белякова И.А. Краткий аналитический обзор способов получения морского пектина [Электронный ресурс] / Белякова И.А., Битютская О.Е., Глубоковских Ю.Р. // Керчь: ФГБОУ ВО «КГМТУ». – 2018. – Режим доступа до ресурсу: www.kgmtu.ru/documents/nauka/onm2018.pdf.

14. Немодрук А. А. Аналитическая химия бора / А. А. Немодрук, З. К. Каралова. – Москва: Наука, 1964. – 285 с.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И БИОДОСТУПНОСТЬ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ КОМПЛЕКСОВ (ПЕКТИН-БОРНАЯ КИСЛОТА) В СИСТЕМЕ ВЫСШИХ НАЗЕМНЫХ РАСТЕНИЙ

С.В. ПРИМАЧЕНКО, А.Д. КУСТОВСКАЯ, Д.С. МОХНЕВ

Национальный авиационный университет, г. Киев

*В этой работе были исследованы биоактивность и биодоступность супрамолекулярного комплекса пектин-борная кислота в зависимости от способа их ввода в растение. В качестве объекта исследований был использован салат посевной (*Lactuca sativa*). Наиболее эффективным способом введения оказалось опрыскивание всего растения. Высокая концентрация бора в молодых листьях свидетельствует о достаточной подвижности комплекса при вертикальной и горизонтальной транспортировке бора в части растения, находящиеся в фазе активного роста.*

Ключевые слова: биологическая активность, биологическая доступность, комплексные соединения, супрамолекулярные комплексы, борная кислота, зостеран.

**BIOLOGICAL ACTIVITY AND BIOAVAILABILITY OF
SUPRAMOLECULAR COMPLEXES (PECTIN-BORIC ACID) IN VIVO OF
LAND PLANTS (EMRYOPHYTES)**

S.V. PRYMACHENKO, A.D. KUSTOVSKA, D.S. MOKHNIEV

National Aviation University, Kyiv

The bioactivity and bioactivity of a pectin-boric acid supramolecular complex has been studied plant in vivo. The object of research was used lettuce (Lactuca sativa). Maximum bioactivity and bioavailability of the complex were identified after spraying the plant. Referring to the fact that a high concentration of boron was determined in young leaves, this confirms the vertical and horizontal transport of boron in parts of the plant in growth phase.

Keywords: biological activity, bioavailability, complex compounds, supramolecular complexes, boric acid, zosteran.