

УДК 579: 631.461

МІГРАЦІЯ СПОЛУК БІОГЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА ВИКОРИСТАННЯ КОМПЛЕКСНИХ ІНОКУЛЯНТІВ ДЛЯ СОЇ

С. Ф. Козар, Т. А. Євтушенко, Л. В. Потапенко, В. П. Горбань, О. П. Чмель

Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН
вул. Шевченка, 97; м. Чернігів, 14027, Україна; e-mail: ismav@online.ua

У лізиметричному досліді з соєю вивчено вплив комплексних інокулянтів на основі *Bradyrhizobium japonicum* та *Azospirillum brasilense* на вертикальну міграцію біогенних елементів. За вирощування сої без внесення мінеральних добрив бактеризація сприяла зменшенню втрат сполук азоту, фосфору, калію, кальцію, магнію, а також вологи і водорозчинного гумусу. Також виявлено зменшення втрат сполук біогенних елементів за дії інокулянтів на фоні N_{30} , але при цьому бактеризація не впливала на втрати вологи і гумусу. Показано, що комплексні інокулянти впливають на біометричні показники рослин сої і сприяють підвищенню продуктивності цієї культури.

Ключові слова: інокулянт, соя, лізиметричні дослідження, біогенні елементи.

Сьогодні актуальним є питання використання азотфіксувальних бактерій для підвищення врожайності сільськогосподарських культур та поліпшення якості отримуваної продукції шляхом передпосівної обробки насіння мікробними препаратами [1–3]. Для сої невід'ємним елементом технології вирощування є використання високоефективних інокулянтів на основі бактерій *Bradyrhizobium japonicum*. У той же час серед основних вимог до сучасних агарних технологій є забезпечення рівня урожайності сільськогосподарських культур відповідно до потенціалу сорту. До найважливіших прийомів вирощування сої варто віднести систему її удобрення, яка обов'язково має бути комбінованою, оскільки ця культура певну частину азотних сполук здатна засвоювати у симбіозі з мікроорганізмами. Проте до останнього часу не повною мірою вивчено вплив поєднання агротехнічних заходів, зокрема внесення невисоких норм азотних мінеральних добрив та застосування мікробних інокулянтів, на міграцію сполук біогенних елементів за вирощування бобових культур, що є важливим для оцінки технологій їх вирощування з точки зору ресурсозбереження.

Метою нашої роботи було вивчення в умовах лізиметричних дослідів впливу нових комплексних інокулянтів на основі діазотрофів *Bradyrhizobium japonicum* та *Azospiril-*

lum brasilense на інтенсивність міграції сполук біогенних елементів за межі кореневмісного шару ґрунту за вирощування сої без внесення мінеральних добрив та на фоні N_{30} .

Матеріали і методи. Вплив передпосівної бактеризації сої інокулянтами на основі бульбочкових бактерій і азоспірил з альгінатом натрію та без нього вивчали в умовах лізиметричної установки Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН, яка має 48 секцій-лізиметрів, розміщених двома паралельними рядами по 24 лізиметри в кожному. Під ними встановлено посудини-приймачі для збирання інфільтрату. За конструкцією лізиметри — бетонні, насипного типу. Лізиметричні чарунки заповнені ґрунтом послідовно, починаючи з материнської породи з урахуванням потужності генетичного горизонту. Посівна площа лізиметричної чарунки — 3,8 м². Шар ґрунту — 155 см, його маса 10,5 т. Ґрунт у лізиметрах — дерново-підзолистий супіщаний з такою агрохімічною характеристикою орного шару (0–23 см): вміст гумусу за Тюрнімом — 1,1 %, рН сольової витяжки — 5,5; гідролітична кислотність (за Каппеном) — 2,5 мг-екв. на 100 г; вміст P₂O₅ (за Кірсановим) — 170,0 мг; K₂O (за Масловою) — 62,0 мг/кг ґрунту.

Вміст нітратів визначали дисульфифеноловим методом, амонійного азоту — з реак-

тивом Неслера, водорозчинного P_2O_5 — за Кірсановим, K_2O — полум'яно-фотометричним методом, CaO і MgO — комплексометричним методом, водорозчинний гумус — за Тюрніним [4].

У дослідях використовували штами бактерій *Bradyrhizobium japonicum* М-8 [5] та *Azospirillum brasilense* 410 [6], культивовані сумісно з додаванням у живильне середовище для його стабілізації і підвищення життєздатності діазотрофів альгінату натрію [7] та без нього. Мікроорганізми отримано з колекції корисних ґрунтових мікроорганізмів Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН. Висловлюємо щиру вдячність авторам за люб'язно надані штами.

Дослідження із соєю сорту Легенда проводили в 2016 р., повторність досліду чотирікратна. Схема досліду передбачала два блоки — без внесення добрив та із застосуванням мінерального азоту (N_{30}), у кожному з яких передбачено такі варіанти:

- 1) без інокулянтів (контроль);
- 2) інокулянт 1 (на основі *Bradyrhizobium japonicum* М-8 та *Azospirillum brasilense* 410);
- 3) інокулянт 2 (на основі *B. japonicum* М-8 та *A. brasilense* 410, з додаванням альгінату натрію).

Збирання та облік урожаю здійснювали прямим методом. Статистичну обробку отриманих результатів проводили за Доспеховим [8].

Досліджувані мікроорганізми вирощували в умовах періодичного культивування на мікробіологічній качалці при 220 об./хвилину при 28 °С. Посівну культуру *A. brasilense* вирощували у рідкому живильному середовищі такого складу (г/дм³): кукурудзяний екстракт — 30,0; меляса — 30,0; $(NH_4)_2SO_4$ — 0,10; KH_2PO_4 — 0,25; $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$ — 0,25; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ — 0,20; $CaCO_3$ — 0,30. Посівну культуру *B. japonicum* вирощували у рідкому живильному середовищі такого складу (г/дм³): відвар насіння гороху — 100; глюкоза — 10; сахароза — 5; $(NH_4)_2SO_4$ — 1,0; KH_2PO_4 — 0,5; $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$ — 0,5; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ — 0,2; $CaCO_3$ — 0,3. Сумісне культивування бактерій *A. brasilense* та *B. japonicum* здійснювали за використання живильного середовища для змішаного культивування бульбочкових бактерій і азоспірил [9].

Визначення активності азотфіксації мік-

роорганізмів у симбіозі з рослинами сої проводили ацетиленовим методом на газовому хроматографі Chrom-4 з полум'яно-іонізаційним детектором на колонці з β - β -оксидипропіонітрилом [10].

Результати та їх обговорення. Дослідження показали, що режими вертикальної міграції вологи, водорозчинного гумусу і втрати біогенних елементів за межі кореневмісного шару ґрунту були різними залежно від досліджуваних прийомів. Так, по фоні без добрив кількість вологи за дії інокуляції зменшувалась на 19–31 % при втраті на контролі 12,4 мм за гідрологічний рік, що суттєво і математично вірогідно (табл. 1). На фоні застосування мінерального азоту (N_{30}) вірогідних відмінностей у дії інокуляції на втрати вологи не встановлено (табл. 1). При застосуванні інокулянта 2 по даному фоні відмічено тенденцію до зменшення втрат вологи.

Відмінності у втратах гумусу за варіантами досліду були не суттєвими і коливалися у межах 0,4–4,0 кг/га. Однак, за варіантом з інокулянтом 2 за фоном I (без мінеральних добрив) втрати гумусу щодо контролю зменшувалися на 29 %. Вивчені у досліді агротехнічні прийоми також забезпечили зміни у втратах рухомих форм азоту на 19–23 % і сприяли зниженню втрат нітратного азоту на 6,4 кг/га. Слід зазначити, що відмінність у міграції оксидів лужноземельних металів була більшою у порівнянні з азотними сполуками, а саме: при втратах у контролі по фоні I кальцію 68,0 кг/га інокуляція знижувала цей показник до 32,0–38,0 кг/га, тобто в 1,8–2,1 рази (табл. 2). Також виявлено, що застосування інокулянтів сприяло зменшенню щодо контролю втрат магнію з 18,5 кг/га до 12,0 кг/га, тобто в 1,5 рази. Аналогічну закономірність спостерігали і за фоном II. Втрати фосфору і калію під культурою сої були невеликі і коливалися у межах 3,0–5,6 кг/га із зниженням під дією інокуляції.

Аналізуючи отримані дані щодо вертикальної міграції сполук біогенних елементів, слід відзначити, що застосування інокуляції у технології вирощування сої, безперечно, є ресурсозберігаючим агротехнологічним прийомом.

Передпосівна бактеризація насіння сої сприяла збільшенню кількості і маси бульбочок на коренях рослин, що забезпечило

Таблиця 1. Втрати вологи, водорозчинного гумусу та рухомих форм азоту під культурою сої залежно від інокуляції насіння

Варіанти дослідів	Волога		Водорозчинний гумус		N-NO ₃ , кг/га	N-NH ₄ , кг/га	Сумарні втрати азоту, кг/га	% до контролю
	мм	% до контролю	кг/га	% до контролю				
Фон I — без добрив								
Без інокулянтів (контроль)	12,4	100	14,0	100	26,0	3,0	29,0	100
Інокулянт 1	10,0	81	13,5	96	20,0	2,4	22,4	77
Інокулянт 2	8,6	69	10,0	71	20,0	2,4	22,4	77
Фон II — N ₃₀								
Без інокулянтів (контроль)	12,6	102	16,0	114	29,3	4,2	33,5	116
Інокулянт 1	12,8	103	15,6	111	20,6	3,0	23,6	81
Інокулянт 2	12,0	97	15,6	111	19,6	3,0	22,6	78
НІР ₀₁	0,62		0,71		1,40	0,02		

Таблиця 2. Втрати сполук кальцію, магнію, рухомих форм фосфору та обмінного калію під культурою сої залежно від інокуляції насіння

Варіанти дослідів	CaO		MgO		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	кг/га	% до контролю	кг/га	% до контролю	кг/га	% до контролю	кг/га	% до контролю
Фон I — без добрив								
Без інокулянтів (контроль)	68,0	100	18,5	100	3,0	100	4,8	100
Інокулянт 1	38,0	56	12,0	65	2,2	73	4,0	83
Інокулянт 2	32,0	47	12,0	65	2,2	73	4,0	83
Фон II — N ₃₀								
Без інокулянтів (контроль)	77,0	100	21,0	100	4,6	100	5,6	100
Інокулянт 1	56,0	73	17,5	83	2,0	43	4,0	71
Інокулянт 2	50,0	65	17,0	81	2,0	43	4,0	71
НІР ₀₁	3,02		0,91		0,04		0,06	

підвищення симбіотичної азотфіксувальної активності. Показники азотфіксації були найвищими у варіантах із передпосівною бактеризацією насіння інокулянтом 2, який містив полісахарид альгінат натрію (табл. 3).

У фазі сходів за використання азотних добрив досліджуваний показник перевищив контроль у 2,1 рази у варіанті з інокулян-

том 1 та у 3,1 рази за використання інокулянту 2; на фоні без мінеральних добрив азотфіксувальна активність збільшилась, відповідно, у 2,3 та 6,0 разів. У фазі цвітіння спостерігали аналогічну закономірність: за дії інокулянту з альгінатом натрію азотфіксувальна активність рослин сої збільшилась на 13,9 % на фоні I (без мінеральних добрив)

і на 115 % — на фоні II (N₃₀), за дії інокулянту без альгінату натрію активність азотфіксації була вищою на 9,2–51,1 %.

Таблиця 3. Вплив передпосівної бактеризації на азотфіксувальну активність сої сорту Легенда

Варіанти дослідів	Активність азотфіксації, мкг N / рослину	
	фаза сходів	фаза цвітіння
Фон I — без добрив		
Без інокулянтів (контроль)	17,87 ± 4,87	256,23 ± 4,87
Інокулянт 1	41,71 ± 4,86	280,04 ± 24,33
Інокулянт 2	107,25 ± 13,46	291,96 ± 14,60
Фон II — N ₃₀		
Без інокулянтів (контроль)	53,63 ± 14,59	268,13 ± 14,60
Інокулянт 1	113,30 ± 14,6	405,17 ± 9,73
Інокулянт 2	166,83 ± 9,73	577,96 ± 14,60

При вивченні впливу досліджуваних інокулянтів на ріст рослин сої в лізіметричній установці виявлено, що на фоні I за бактеризації висота рослин збільшувалась на 25 %. На фоні N₃₀ висота рослин була більшою, ніж у варіантах без добрив. У варіантах з інокуляцією на фоні I спостерігали збільшення продуктивних бобів і насінин у бобі. На фоні II ці показники були вищими, при цьому відмічено, що маса 1000 насінин була найвищою у варіантах з інокулянтом на основі *B. japonicum* та *A. brasilense* з альгінатом натрію.

Приріст урожайності рослин сої від інокуляції спостерігали як на фоні без добрив, так і за внесення мінерального азоту (табл. 4). Слід зазначити, що комплексний інокулянт з альгінатом натрію сприяв підвищенню урожайності на 25–28 %, а інокулянт без полісахариду — на 14–18 %.

Вищу ефективність інокулянта на основі бульбочкових бактерій сої і азоспірил з додаванням альгінату натрію можна пояснити тим, що цей полісахарид забезпечує стабілізацію середовища, в якому перебувають азотфіксувальні мікроорганізми, а також захищає їх від несприятливих факторів зов-

нішнього середовища і сприяє збереженню життєздатності діазотрофів на бактеризованому насінні.

Таблиця 4. Вплив передпосівної бактеризації на урожайність зерна сої сорту Легенда

Варіанти дослідів	Урожайність, т/га	Приріст	
		т/га	%
Без мінеральних добрив			
Без інокулянтів (контроль)	2,41	–	–
Інокулянт 1	2,75	0,34	14
Інокулянт 2	3,01	0,60	25
На фоні N ₃₀			
Без інокулянтів (контроль)	2,77	–	–
Інокулянт 1	3,27	0,50	18
Інокулянт 2	3,55	0,78	28
НІР ₀₅	0,22		

Таким чином, застосування комплексних інокулянтів на основі *Bradyrhizobium japonicum* та *Azospirillum brasilense* у технології вирощування сої по різних фонах удобрення забезпечує зменшення втрат сполук біогенних елементів. При цьому інокуляція впливає на біометричні показники рослин сої і сприяє підвищенню продуктивності цієї культури на 14–28 %.

1. Мікробні препарати в сучасних аграрних технологіях (науково-практичні рекомендації) / [Волкогон В. В., Заришняк А. С., Пилипенко Л. А. та ін.] / за ред. В. В. Волкогона. — К., 2015. — 248 с.

2. Мікробні препарати у землеробстві. Теорія і практика / [Волкогон В. В., Надкернична О. В., Ковалевська Т. М. та ін.] ; за ред. В. В. Волкогона. — К. : Аграрна наука, 2006. — 312 с.

3. Біологічний азот / [Патика В. П., Коць С. Я., Волкогон В. В. та ін.] / за ред. Патики В. П. — К. : Світ, 2003. — 424 с.

4. Аринушкина Э. В. Руководство по химическому анализу почв / Э. В. Аринушкина. — М. : Изд-во Московского ун-та, 1970. — 488 с.

5. Пат. 39545 А Україна МПК6 C12N 1/20, C12R 1/41, C05F 11/08, A01N 63/00, A01P 21/00, A01C 1/06. Штам бульбочкових бактерій *Bradyrhizobium japonicum* M-8 Kirchner, який викорис-

товують для приготування бактеріального препарату, що підвищує урожайність сої / М. З. Голкачов, В. П. Патица, І. О. Каменєва, Л. Ю. Грітчина ; заявник і патентовласник: Південний філіал Інституту сільськогосподарської мікробіології Української академії аграрних наук. — № 2000105680; заявл. 06.10.2000 ; опубл. 15.06.2001, бюл. № 5.

6. А.с. 1796603 СССР, МКИ С 05 F 11/08, С 12 N 1/12. Штамм бактерий *Azospirillum brasilense* для производства бактериального удобрения под коострец безостый / [В. В. Волкогон, Н. Н. Мальцева, Л. И. Онищенко и др.]. — опубл. 23.02.93, бюл. № 7.

7. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. — М. : Колос, 1985. — 376 с.

8. Пат. 107857 UA, МПК С 12 N 1/20. Спосіб підтримання життєдіяльності *Bradyrhizobium ja-*

ponicum / Козар С. Ф., Усманова Т. О., Євтушенко Т. А. ; заявник та патентовласник Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН. — № а 201304311, заявл. 05.04.13 ; опубл. 25.02.15, бюл. № 19. — 4 с.

9. Пат. 103966 UA, МПК С 05 F 11/08, С 12 N 1/20. Спосіб виготовлення бактеріального препарату для бактеризації сої / Козар С. Ф., Усманова Т. О., Євтушенко Т. А. ; заявник та патентовласник Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН. — № а 201209859, заявл. 15.08.12 ; опубл. 10.12.2013, бюл. № 18. — 4 с.

10. The acetylene-ethylene assay for N₂ fixation: laboratory and field evaluation / Hardy R. W. F., Hotsren R. D., Jackson E. K., Burns R. C. // Plant Physiol. — 1968. — Vol. 43, № 8. — P. 1185–1207.

МИГРАЦИЯ СОЕДИНЕНИЙ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ КОМПЛЕКСНЫХ ИНОКУЛЯНТОВ ДЛЯ СОИ

**С. Ф. Козар, Т. А. Евтушенко,
Л. В. Потапенко, В. П. Горбань,
Е. П. Чмель**

Институт сельскохозяйственной микробиологии
и агропромышленного производства НААН,
г. Чернигов

*В лизиметрическом опыте с соей изучено влияние комплексных инокулянтов на основе *Bradyrhizobium japonicum* и *Azospirillum brasilense* на вертикальную миграцию биогенных элементов. При выращивании сои без внесения минеральных удобрений бактеризация способствовала уменьшению потерь соединений азота, фосфора, калия, кальция, магния, а также влаги и водорастворимого гумуса. Также выявлено уменьшение потерь соединений биогенных элементов при действии инокулянтов на фоне N₃₀, но при этом бактеризация не влияла на потери влаги и гумуса. Показано, что комплексные инокулянты влияют на биометрические показатели растений сои и способствуют повышению продуктивности этой культуры.*

Ключевые слова: инокулянт, соя, лизиметрические исследования, биогенные элементы.

MIGRATION OF BIOGENIC ELEMENTS COMPOUNDS IN THE APPLICATION OF COMPLEX INOCULANT FOR SOYBEAN

**S. F. Kozar, T. A. Yevtushenko,
L. V. Potapenko, V. P. Horban,
Ye. P. Chmel**

Institute of Agricultural Microbiology and
Agroindustrial Manufacture, NAAS, Chernihiv

*In lysimetric experiment with soybean, the effect of complex inoculants based on *Bradyrhizobium japonicum* and *Azospirillum brasilense* on the vertical migration of biogenic elements have been studied. When growing without application of mineral fertilizers, bacterization helped to reduce losses of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium compounds, as well as moisture and water-soluble humus. Also reduction in loss of biogenic elements compounds under the action of inoculants on the background of N₃₀ was found, but bacterization not affect the loss of moisture and humus. It was shown that complex inoculants affect biometric parameters of soybean plants and enhances the productivity of this culture.*

Kew words: inoculant, soybean, lysimetric experiments, biogenic elements.