

Effect of glucose-containing monosaccharides on the symbiotic properties of soybean nodule bacteria and plant crop formation

O.V. Kyrychenko, Yu.O. Khomenko, S.Ya. Kots

Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine

Vasylkivska 31/17, Kyiv, 03022, Ukraine

E-mail: azoleki@ukr.net

Submitted: 10.01.2018. Accepted: 20.02.2018

The symbiotic properties of soybean nodule bacteria, root nodules forming (nodulation ability), nitrogen-fixing activity and efficiency under the influence of monosaccharides (0.01 M glucose and N-acetyl-D-glucosamine) on rhizobium culture were investigated in greenhouse with sandy soils. Nodulation activity and efficiency was estimated by the number and weight of the nodules formed on the roots of plants; by the formation of vegetative mass and by the yield of soybean seeds. Nitrogenase activity was determined by acetylene-reductase method. The control variant was inoculated by monoculture of soybean rhizobium. A significant increase in the degree of realization of the nodulation ability of rhizobium has been established under the influence of glucose-containing monosaccharides on the culture of microorganisms. Adding glucose to bacteria led to increase the average number of nodules per plant by 1.6, 2.2, and 1.7 times respectively in the phase of development of two true leaves, flowering and active bean formation in soybean. At the same time the weight of the root nodules was increased by 1.4, 2.3, and 1.4 times respectively as compared to control. The number of root nodules was increased by 2.2, 2.3, and 1.4 times as compared to the control while of glucosamine was used; while the weight of these nodules were 2.1 and 1.9 times higher than control in the phase of development of two true leaves and flowering, while in the phase of active beans formation it did not differ from control. The functional activity of the soybean symbiotic system that was formed by rhizobial culture and modified by glucose, had the highest positive effect, since the nitrogen-fixing activity remained stable and was 2.1 and 1.7 times higher than control. Rhizobia, to suspension of which we added glucosamine, formed a symbiosis with activity that was 1.7 times higher than monoculture in the flowering phase, but later it was at the control level. We registered that inoculants on the basis of bacteria and glucose-containing monosaccharides activated seeds germination. The first true leaf of plants (up to 3.5 times higher than control), their above green mass (25-27% higher) and root system (10-16% higher) were actively formed while we used inoculant with rhizobia and glucose. Plants in the variant with the pre-sowing inoculation of seeds by bacteria and glucosamine almost did not differ from the control. The yield of soybean seeds significantly exceeded (up to 14%) the crop, produced by plants with inoculation by monoculture of rhizobia under the influence of glucose-containing monosaccharides. We indicated high efficiency of soybean-rhizobium symbiosis formed by nodule bacteria modified of glucose-containing monosaccharides. Thus, the use of glucose-containing monosaccharides as additional "green" and safe natural agents in complex inoculants with nodule soybean bacteria promotes a more complete implementation of the symbiotic and productive potential of soybean-rhizobial symbiosis compared with the use for seeds pre-sowing treatment only of rhizobia monoculture in greenhouse with sandy culture.

Key words: soybean; nodule bacteria; symbiosis; glucose; N-acetyl-D-glucosamine; nodulation; nitrogen-fixation; crop

Вплив глюкозовмісних моноцукрів на симбіотичні властивості бульбочкових бактерій сої та формування урожаю рослинами

О.В. Кириченко, Ю.О. Хоменко, С.Я. Коць

Інститут фізіології рослин і генетики НАН України

31/17, вул. Васильківська, м. Київ, 03022, Україна

E-mail: azoleki@ukr.net

У вегетаційних умовах із піщаною культурою досліджено симбіотичні властивості бульбочкових бактерій сої, зокрема бульбочкоутворюючу (нодуляційну) здатність, нітрогеназну активність і ефективність за впливу глюкозовмісних моноцукрів (0,01 М розчини глюкози і N-ацетил-D-глюкозаміну) на культуру ризобій. Нодуляційну активність визначали за кількістю та масою утворених на коренях рослин бульбочок, нітрогеназну активність – ацетиленредуктазним методом, ефективність – за формуванням вегетативної маси та урожаю насіння сої. Контрольний варіант – інокуляція насіння монокультурою ризобій сої. Встановлено достовірне підвищення ступеню реалізації нодуляційної здатності ризобій сої під впливом глюкозовмісних моноцукрів на культуру мікроорганізмів. За дії глюкози на бактерії середній показник кількості бульбочок на рослині збільшився в 1,6; 2,2 та 1,7 рази відповідно у фази розвитку двох справжніх листків, цвітіння й активного плодоутворення у сої. Маса бульбочок на рослині при цьому переважала контроль у 1,4; 2,3 та 1,4 рази відповідно. У варіанті із застосуванням глюкозаміну на коренях рослин утворювалось бульбочок в 2,2; 2,3 та 1,4 рази більше, ніж у контрольному варіанті. Маса цих бульбочок була більшою за контроль в 2,1 і 1,9 рази у фази розвитку двох справжніх листків та цвітіння, тоді як у фазу активного утворення бобів не відрізнялась від контролю. Функціональна активність симбіотичного апарату сої засвідчила максимально позитивний вплив глюкози на ризобіальну культуру, оскільки нітрогеназна активність залишалась стабільно високою і переважала контроль в 2,1 і 1,7 рази. За впливу глюкозаміну ризобії утворили симбіоз із активністю в 1,7 рази вищою, ніж монокультура у фазу цвітіння, але в подальшому – була на рівні контролю. Показано, що інокулянти на основі бактерій і глюкозовмісних цукрів активували вихід насіння зі стану спокою та його проростання. За дії інокулянту ризобій з глюкозою активно формувался перший справжній листок рослинами (до 3,5 рази більше за контроль), їх надземна маса (на 25-27% більше) та коренева система (на 10-16% більше). Рослини варіанту з передпосівною інокуляцією насіння бактеріями з глюкозаміном майже не відрізнялись від контрольних. За дії глюкозовмісних цукрів урожай насіння сої достовірно (на 14%) перевищував урожай, сформований рослинами за інокуляції монокультурою ризобій, що свідчить про більшу ефективність соєво-ризобіальних симбіозів, утворених бульбочковими бактеріями, модифікованими глюкозовмісними моноцукрами. Отже, застосування глюкозовмісних моноцукрів як додаткових екологічно безпечних природних агентів у комплексних інокулянтах із бульбочковими бактеріями сої у вегетаційних умовах з піщаною культурою сприяє більш повній реалізації симбіотичного і продуктивного потенціалу соєво-ризобіальних симбіозів порівняно до використання монокультури ризобій для передпосівної обробки насіння.

Ключові слова: соя; бульбочкові бактерії; симбіоз; глюкоза; глюкозамін; нодуляція; азотфіксація; урожай

Вступ

Соя – перспективна продовольча культура не тільки України, а й інших країн світу, тому розробка біотехнологічних засобів підвищення її продуктивності є актуальним питанням сьогодення. Передпосівна інокуляція насіння сої – екологічно безпечний біотехнологічний прийом, що сприяє формуванню більш високих урожаїв даної культури та отриманню екологічно чистої рослинної продукції (Isobe, Ohte, 2014; Kyrychenko, 2014, 2016; Chebotar et al., 2015; Shiro et al., 2015). Внесення на насіння або в ґрунт корисних мікроорганізмів шляхом спеціально розроблених мікробіологічних препаратів (Kyrychenko, 2016) на основі відселектованих бактеріальних штамів сприяє покращенню росту і розвитку зернобобових культур та підвищує їхню урожайність. Це відбувається за рахунок стимулювання проростання насіння, поліпшення живлення рослин, активізації фотосинтетичної діяльності, підвищення їх стійкості до хвороб і шкідників, а також активного формування й функціонування симбіотичних систем (Kiriziy et al., 2007; Beneduzi et al., 2012; Garipova, 2012; Trivedi et al., 2012; Chebotar et al., 2015; Djordjevic et al., 2015). Результати досліджень останніх років свідчать про перспективність і ефективність використання комплексних мікробіологічних препаратів для бактеризації сої (Chebotar et al., 2013; Kyrychenko, 2016), які забезпечують отримання стабільних урожаїв, у тому числі, й за дії стрес-факторів різної природи (Chebotar et al., 2013, 2015; Jabbarova et al., 2013). Оскільки моноінокулянти є більш чутливими до дії таких факторів, стабілізація та оптимізація агрономічно корисних ефектів бактеріальних препаратів при інокуляції насіння досягається за рахунок комплексної дії біологічних агентів – компонентів препаратів, якими можуть бути бактерії з різними екологічними функціями, а також біологічно активні речовини природного походження (Garipova, 2012; Chebotar et al., 2013, 2015; Jabbarova et al., 2013; Kyrychenko, 2015, 2016).

Моноцукри, зокрема й глюкозовмісні, є продуктами рослинного метаболізму, які з кореневими ексудатами виділяються у зону ризосфери (McNear Jr, 2013; Basler et al., 2015), впливаючи на розвиток і функціональну активність ризосферної мікрофлори (Burgmann et al., 2005; Kyrychenko, 2016a), а також як компоненти поживних середовищ активно використовуються в якості енергетичних субстратів для росту і розвитку мікроорганізмів в умовах чистої культури (Antypchuk et al., 2011).

Метою даної роботи було дослідження впливу глюкозовмісних моноцукрів – гексози глюкози та аміноцукру N-ацетил-D-глюкозаміну на реалізацію симбіотичних властивостей бульбочкових бактерій сої у симбіозі з рослинами.

Матеріали і методи дослідження

Об'єктом дослідження були соєво-ризобіальні симбіози, утворені рослинами сої сорту Лісабон і бактеріями *Bradyrhizobium japonicum* 6346, модифікованими глюкозівмісними моноцукрами (глюкоза і N-ацетил-D-глюкозамін). Сорт Лісабон (оригінація селекційно-наслідкова компанія «Saat Bau», Австрія) – раннього дозрівання (вегетаційний період до 105 днів), застосовується у виробництві з 2011 р. Продуктивний потенціал до 50 ц/га, вміст білку – 40%, олії – 20,5%, маса 1000 зерен 180-190 г. Бульбочкові бактерії *B. japonicum* 6346 (колекція штамів симбіотичних і асоціативних азотфіксуючих мікроорганізмів Інституту фізіології рослин і генетики (ІФРГ) НАН України) вирощували при 28° С на агаризованому манітно-дріжджовому середовищі (г/л): K_2HPO_4 – 0,5; $MgSO_4 \times 7H_2O$ – 0,4; NaCl – 0,1; маніт – 10,0; дріжджовий екстракт – 0,5; агар-агар – 16,0; дистильована вода – 1 л; рН 6,8–7,0 протягом 10 діб, змивали культуру стерильною водою, перемішували до однорідної суспензії та визначали кількість життєздатних (колонієутворюючих одиниць) бактерій (Antyрchuk et al., 2011). Титр бактерій в суспензії становив 10^{10} кл/мл.

Бінарні інокулянти (ризобії + моноцукри, 1:1) готували шляхом змішування культури ризобій з розчинами (0,01 М) глюкози і N-ацетил-D-глюкозаміну й інкубації сумішей протягом доби при 28° С. Інокуляцію насіння сої проводили в день посіву, витримуючи посівне насіння в інокулянті протягом години (1 мл / 100 насінин на варіант). У контролі бактерії інкубували з водою, отримуючи таким чином аналогічне інокуляційне навантаження ризобіальних клітин у всіх варіантах.

Вегетаційний дослід проводили на майданчику ІФРГ НАН України при природних освітленні та температурі у 5-кратній повторності по варіантах у 10-кілограмових посудинах Вагнера на піщаному субстраті з поживною сумішшю Гельригеля (0,25 норми мінерального азоту).

Дослід закладали за наступною схемою:

1. Інокуляція насіння ризобіями (монокультура – контроль)
2. Інокуляція насіння композицією ризобії + глюкоза
3. Інокуляція насіння композицією ризобії + глюкозамін

Аналізували динаміку появи сходів та утворення першого справжнього листка у рослин, масу вегетуючих рослин у період активної азотфіксації, а також нодуляційну здатність ризобій сої (за кількістю та масою кореневих бульбочок) і функціональну (нітрогеназну) активність соєво-ризобіальних симбіозів ацетиленовим методом за Харді зі співавт. (Hardi et al., 1973). Корені з бульбочками розміщували в герметично закритих скляних флаконах ємністю 75 мл, в яких створювали 10% концентрацію ацетилену. Тривалість інкубації зразка 1 год. Після інкубації газову суміш, яка містила етилен, утворений в результаті редукації ацетилену нітрогеназою, аналізували на газовому хроматографі Agilent GC System 6850 (США) з полум'яно-іонізаційним детектором. Розділення газів проводили на колонці Supelco Porapak N при температурі печі 55° С і температурі детектора 150° С. Газоносієм був гелій (50 мл за 1 хв). Об'єм аналізованої проби газової суміші становив 1 мл. Як стандарт використовували чистий етилен (Sigma-Aldrich, N536164, USA). Кількість етилену, що утворився з ацетилену за 1 годину інкубації під дією нітрогенази інкубованого зразка виражали в молярних одиницях утвореного етилену на 1 рослину за 1 годину. Визначення проводили в 4 біологічних повтореннях. Відбори рослин здійснювали у фазу розвитку двох справжніх листків, цвітіння й активного плодоутворення. Збір урожаю та аналіз структури урожаю – у фазу повної стиглості насіння сої. Результати статистично обраховані (*Statgraphyc Plus*) та представлені у вигляді середніх значень і їх похибок ($M \pm m$).

Результати та їх обговорення

Показано (табл. 1), що бінарні інокулянти на основі бульбочкових бактерій сої і моноцукрів глюкози та глюкозаміну позитивно впливали на схожість насіння сої. Особливо відмічено активацію виходу насіння зі стану спокою, що спостерігалось вже на початку дії бінарних інокулянтів. Кількість сходів у дослідних варіантах достовірно перевищувала контроль у 2,0–2,4 рази (7-ма доба після посіву) та 1,9 рази (8-ма доба після посіву) і майже зрівнювалась із контролем на більш пізніх строках розвитку рослин (11-та доба після посіву). Схожість насіння сої становила 70%.

Рослини варіанту з інокуляцією насіння композицією ризобії + глюкоза активно формували перший справжній листок (див. табл. 1). Відмічено найбільш ранні строки початку формування справжніх листків у рослин даного варіанту і протягом усього періоду спостережень показник «кількості рослин із справжнім листком» достовірно перевищував контрольний в 3,5; 1,4 та 1,3 рази. За дії інокулянту ризобії + глюкозамін справжні листки на рослинах почали активно утворюватися на кілька днів пізніше і несуттєво перевищували контрольні значення.

На більш пізніх етапах розвитку сої (фази цвітіння й активного плодоутворення) (табл. 2) зберігалась закономірність у розвитку рослин, зокрема формуванні листового апарату, відмічена нами на ранніх етапах онтогенезу сої (див. табл. 1). У варіанті із застосуванням глюкози маса надземної частини рослини порівняно до контролю достовірно збільшилась на 27 і 25% відповідно у фазі цвітіння й активного утворення бобів, маса кореня – на 10 і 16% відповідно. Рослини варіанту з глюкозаміном не відрізнялись від контрольних. У фазу повної стиглості насіння рослини дослідних варіантів із застосуванням глюкози і глюкозаміну перебільшували контрольні за масою на 14 і 11% відповідно (див. табл. 4).

Розвиток листового (фотосинтетичного) апарату бобових рослин прямо пов'язаний із активністю фіксації молекулярного азоту симбіотичними структурами на їх коренях.

Активність азотфіксації залежить від енергетичного забезпечення рослини, що обумовлено активністю метаболізму, зокрема й вуглецевого, продуктів фотосинтетичної діяльності рослин.

Встановлено пряму залежність між інтенсивністю азотфіксації (мкмоль, C_2H_4 /рослину•год) й асиміляцією CO_2 (мкмоль, CO_2 /рослину•год), $R^2 = 0,86$, а також інтенсивністю азотфіксації (мкмоль, C_2H_4 /рослину•год) й масою рослини (г), $R^2 = 0,95$ (Kiriziy et al., 2007; Kots et al., 2011).

Таблиця 1. Динаміка схожості насіння та появи першого справжнього листка у сої за дії комплексних інокулянтів на основі ризобій і глюкозовмісних моноцукрів (вегетаційний дослід, піщана культура, 20 насінин / посудину)

Варіант	Кількість сходів / посудину, шт.			Схожість насіння, %		
	Доба після посіву					
	7-ма	8-ма	11-та	7-ма	8-ма	11-та
Ризобії (контроль)	5,2±1,3	7,4±1,6	13,8±1,2	26±6,3	37±7,9	69±5,9
Ризобії + глюкоза	12,2±1,0*	13,6±0,8*	14,4±0,6	61±5,0*	68±4,1*	72±3,0
Ризобії + глюкозамін	10,4±1,1*	13,8±1,0*	14,4±0,8	52±5,7*	68±4,7*	72±4,1

Варіант	Кількість рослин із першим справжнім листком / посудину, шт.			
	Доба після посіву			
	19-та	20-та	21-ша	22-га
Ризобії (контроль)	0,4±0,2	3,0±0,8	7,4±0,6	11,2±0,5
Ризобії + глюкоза	1,4±0,5*	3,4±0,5	10,4±1,1*	14,0±0,5*
Ризобії + глюкозамін	0,2±0,2	1,8±0,6	9,4±1,1*	12,0±0,9

Тут і надалі: * - достовірно ($p \leq 0,05$) до контролю (інокуляція насіння ризобіями)

Таблиця 2. Формування вегетативної маси рослинами сої за інокуляції насіння ризобіями з глюкозовмісними моноцукрами

Варіант	Фаза цвітіння		Фаза активного утворення бобів	
	Надземна частина	Корінь	Надземна частина	Корінь
Ризобії (контроль)	4,33±0,63	3,31±0,25	10,62±0,89	5,60±0,74
Ризобії + глюкоза	5,51±0,45*	3,63±0,45	12,77±0,41*	6,48±0,65
Ризобії + глюкозамін	4,60±0,37	2,30±0,18	10,68±0,85	5,46±0,49

Нами показано достовірне підвищення ступеню реалізації нодуляційної (бульбочкоутворюючої) здатності ризобій сої під впливом глюкозовмісних моноцукрів на культуру мікроорганізмів (табл. 3). Так за дії глюкози середній показник кількості бульбочок на рослині збільшився порівняно до варіанту з інокуляцією насіння ризобіями в 1,6; 2,2 та 1,7 рази відповідно у фази розвитку двох справжніх листків, цвітіння й активного плодоутворення у сої. Маса бульбочок на рослині, при цьому, переважала контроль у 1,4; 2,3 та 1,4 рази відповідно. У варіанті із застосуванням глюкозаміну на коренях рослин утворювалось бульбочок в 2,2; 2,3 та 1,4 рази більше, ніж у контрольному варіанті. Маса цих бульбочок на рослині була більшою за контроль в 2,1 і 1,9 рази у фази розвитку двох справжніх листків та цвітіння, тоді як у фазу активного утворення бобів не відрізнялась від контролю. Отже, глюкоза за дії на культуру бульбочкових бактерій сої сприяла збалансованому підвищенню як кількості, так і маси кореневих бульбочок на рослинах, тоді як за дії глюкозаміну утворювалась велика кількість бульбочок, навіть більша, ніж за використання глюкози (фаза цвітіння), але дані бульбочки були невеликого розміру і маси (фази цвітіння й активного плодоутворення).

Оцінка функціональної активності симбіотичного апарату сої (див. табл. 3) засвідчила максимально позитивний вплив глюкози на ризобіальну культуру, оскільки в даному варіанті протягом як фази цвітіння, так і активного плодоутворення нітрогеназна активність залишалась стабільно високою і переважала контрольні значення в 2,1 і 1,7 рази відповідно.

Таблиця 3. Ступінь реалізації симбіотичних властивостей бульбочкових бактерій сої за дії глюкозовмісних цукрів на ризобіальну культуру

Варіант	Нодуляційна активність ризобій		Нітрогеназна активність кореневих бульбочок
	Кількість бульбочок на рослину	Маса бульбочок на рослині	
	шт.	мг	
<i>Фаза розвитку двох справжніх листків</i>			
Ризобії (контроль)	15,8±3,9	24,77±8,55	-
Ризобії + глюкоза	25,3±3,9*	34,84±5,85	-
Ризобії + глюкозамін	34,0±3,8*	51,88±7,36*	-
<i>Фаза цвітіння</i>			
Ризобії (контроль)	12,3±3,5	155,83±46,90	1,19±0,27
Ризобії + глюкоза	26,7±4,8*	355,50±46,95*	2,47±0,17*
Ризобії + глюкозамін	28,8±4,3*	293,27±39,50*	2,00±0,27*
<i>Фаза активного плодоутворення</i>			
Ризобії (контроль)	29,2±3,0	720,93±65,88	5,87±0,79
Ризобії + глюкоза	50,8±7,1*	1020,02±113,37*	9,68±1,04*
Ризобії + глюкозамін	40,5±2,7*	723,82±25,83	6,28±0,54

« - » - не визначали

За впливу глюкозаміну ризобії утворили симбіоз із активністю в 1,7 рази вищою, ніж монокультура у фазу цвітіння, але вже у фазу активного утворення бобів здатність даної симбіотичної системи до фіксації азоту була на рівні контролю, що може бути обумовлено невеликою (на рівні контролю) масою цих бульбочок, оскільки для сої встановлено прямий зв'язок між інтенсивністю азотфіксації та масою кореневих бульбочок на рослині (Kots et al., 2011).

Аналіз структури урожаю засвідчив позитивний вплив інокулянтів із додаванням глюкозовмісних моноцукрів на формування генеративних органів і насіння рослинами сої (табл. 4). За використання глюкози для модифікації бактеріального агенту рослини сформували більше, ніж у контролі плодівузлів (на 26%) і бобів (на 37%) з масою на 16% більшою. Кількість і маса насінин на рослинах даного варіанту переважала контрольні на 21 і 15% відповідно. Маса 1000 насінин була на рівні контролю. У варіанті з інокуляцією насіння композицією ризобії + глюкозамін на рослинах сформовано плодівузлів на 14% і бобів на 16% більше за контрольні значення. Маса бобів при цьому переважала контроль на 13%. Показники кількості і маси насінин на рослині були більшими за контрольні на 8 і 14%. Маса 1000 насінин достовірно відрізнялась від контролю, що вказує на більшу виповненість насіння в даному варіанті. Урожай насіння сої у варіантах із додаванням до ризобіального інокулянту глюкозовмісних моноцукрів достовірно (на 14%) перевищував урожай, сформований рослинами за інокуляції монокультурою ризобій, що свідчить про більшу ефективність соєво-ризобіальних симбіозів, утворених бульбочковими бактеріями, модифікованими глюкозовмісними моноцукрами.

Таблиця 4. Структура урожаю сої за передпосівної бактеризації насіння інокулянтами на основі ризобій і глюкозовмісних моноцукрів

Структура урожаю сої	Варіант (передпосівна обробка насіння)			
	Ризобії (контроль)	Ризобії + глюкоза	Ризобії + глюкозамін	
Кількість бобів, шт	6,8±0,3	<u>9,3±1,3*</u> 137	<u>7,9±0,5*</u> 116	
Кількість плодівузлів, шт.	5,8±0,3	<u>7,3±0,5*</u> 126	<u>6,6±0,3*</u> 114	
Маса бобів, г	на рослину	4,04±0,03	<u>4,67±0,22*</u> 116	<u>4,56±0,35*</u> 113
Кількість насінин, шт.		16,0±0,5	<u>19,3±1,8*</u> 121	<u>17,2±1,4</u> 108
Маса насінин, г		2,96±0,05	<u>3,40±0,22*</u> 115	<u>3,38±0,25*</u> 114
Маса насінин на посудину, г		17,80±0,31	<u>20,27±1,20*</u> 114	<u>20,25±1,50*</u> 114
Маса 1000 насінин, г		187,17±4,88	<u>189,37±7,25</u> 101	<u>199,20±0,80*</u> 106
Маса рослини, г		6,80±0,10	<u>7,77±0,27*</u> 114	<u>7,53±0,85</u> 111
К госп.		0,44±0,01	<u>0,44±0,01</u> 100	<u>0,45±0,02</u> 102

У чисельнику – абсолютні значення, у знаменнику – відсоток відносно варіанту з інокуляцією насіння культурою ризобій.

Висновки

Отже, застосування глюкозовмісних моноцукрів як додаткових екологічно безпечних природних агентів у комплексних інокулянтах із бульбочковими бактеріями сої у вегетаційних умовах із піщаною культурою сприяє більш повній реалізації симбіотичного і продуктивного потенціалу соєво-ризобіальних симбіозів порівняно до використання монокультури ризобій для передпосівної обробки насіння.

References

- Antypchuk, A.F., Pilyashenko-Novokhatniy, A.I., Evdokimenko, T.M. (2011). Practicum on Microbiology. Kyiv. University "Ukraine" (in Ukrainian).
- Basler, A., Dippold, M., Helfrich, M., Dyckmans, J. (2015). Microbial carbon recycling: an underestimated process controlling soil carbon dynamics. *Biogeosciences Discussions* 12, 9729-9750. DOI: [10.5194/bgd-12-9729-2015](https://doi.org/10.5194/bgd-12-9729-2015).
- Beneduzi, A., Ambrosini, A., Passaglia, L.M.P. (2012). Plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Their potential as antagonists and biocontrol agents. *Genet. Mol. Biol.*, 35(Suppl. 4), 1044-1051.
- Burgmann, H., Meier, S., Bunge, M. et al. (2005). Effects of model root exudates on structure and activity of a soil diazotroph community. *Environ. Microbiol.*, 7(11), 1711-1724.
- Chebotar, V.K., Raphalskiy, S.V., Aritkin, A.G., Esion V.V. (2013). Efficiency of combined application of microbiological means for soybean cultivation. *Dostizheniya nauki i tekhniki. APK*, 8, 23-25 (in Russian).

- Chebotar, V.K., Malfanova, N.V., Shcherbakov, A.V., Ahtemova, G.A., Borisov, A.Y., Lugtenberg, B., Tikhonovich, I.A. (2015). Endophytic bacteria in microbial preparations that improve plant development (Review). *Applied Biochemistry and Microbiology*, 51(3), 271–277. DOI: [10.1134/S0003683815030059](https://doi.org/10.1134/S0003683815030059).
- Djordjevic, M.A., Mond-Radzman, N.A., Imin, N. (2015). Small-peptide signals that control root nodule number, development, and symbiosis. *J. Exp. Bot.*, 66(17), 5171–5181. DOI: [10.1093/jxb/erv357](https://doi.org/10.1093/jxb/erv357).
- Garipova, S.R. (2012). The ecological role of endophytic bacteria in symbiosis with legumes and their use in plant breeding. *Advances in Current Biology*, 132(5), 493–505 (in Russian).
- Jabbarova, D.P., Egamberdieva, D., Davranov, K., Jabbarov, M.P. (2013). Restoration of growth of soybean under saline conditions due to inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* and *Pseudomonas putida*. *Uzbek. Biol. J.*, 5, 23–26.
- Hardy, R.W.F., Burns, R.C., Holsten, R.D. (1973). Application of the acetylene-ethylene assay for measurement of nitrogen fixation. *Soil. Biol. Biochem.*, 5(1), 41–83.
- Isobe, K., Ohte, N. (2014). Ecological perspectives on microbes involved in N-cycling. *Microbes Environ.*, 29(1), 4–16. DOI: [10.1264/jsme2.ME13159](https://doi.org/10.1264/jsme2.ME13159).
- Kyrychenko, E.V. (2014). Crop biotechnology. Nikolaev: Ilion, 436 (in Russian).
- Kyrychenko, O.V. (2015). Market analysis and microbial biopreparations creation for crop production in Ukraine. *Biotechnologia Acta*, 8(4), 40–52.
- Kyrychenko, O. (2016). Microbial preparations for crop in the agrarian market of Ukraine. Nikolaev: Ilion (in Russian).
- Kyrychenko, O.V. (2016a). Biological activity of rhizosphere soil spring wheat in association with bacteria *Azotobacter chroococcum* T79 modified N-acetyl-D-glucosamine. *Microbiol. and Biochemol.*, 3, 30–42 (in Russian). DOI: [http://dx.doi.org/10.18524/2307-4663.2016.3\(35\).77955](http://dx.doi.org/10.18524/2307-4663.2016.3(35).77955).
- Kiriziy, D.A., Vorobey, N.A., Kots, S.Ya. (2007). The relationship of nitrogen fixation and photosynthesis as the main components of the production process in alfalfa. *Russ. Plant Physiology*, 54 (5), 666–671. (In Russian).
- Kots, S.Ya., Morgun, V.V., Patyka, V.Ph. et al. (2011). Biological nitrogen fixation: Legume-rhizobium symbiosis. Kiev: Logos (in Russian).
- McNear Jr., D.H. (2013). The rhizosphere – roots, soil and everything in between. *Nat. Educ. Knowl.*, 4(3):1. Available from: <http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/the-rhizosphere-roots-soiland-67500617/> Accessed 11 Jan 2018.
- Trivedi, P., Pandey, A., Palni, L.M.S. (2012). Bacterial inoculants for field applications under Mountain Ecosystem: present initiatives and future prospects. *Bacteria in Agrobiol., Plant Probiotics*; Ed. D.K. Maheshwari. Springer, 15–44.
- Shiro, S., Matsuura, S., Rina Saiki, G., Sigue, C., Yamamoto, A, Umehara, Y., Hayashi, M., Saeki Y. (2013). Genetic diversity and geographical distribution of indigenous soybean-nodulating *Bradyrhizobia* in the United States. *Applied and Environmental Biology*, 79(12), 3610–3618.

Citation:

Kyrychenko O.V., Khomenko Yu.O., Kots S.Ya. (2018). Effect of glucose-containing monosaccharides on the symbiotic properties of soybean nodule bacteria and plant crop formation. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(1), 460–465.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0. License
