

УДК: 631.847.211:633.31:631.81

Реакція самофертильних ліній люцерни на інокуляцію бульбочковими бактеріями

П.П. Пухтаєвич, К.П. Кукол, Н.А. Воробей, С.Я. Коць

В умовах модельного вегетаційного дослідження вивчали реакцію самофертильних ліній люцерни Кишварді 46, Кишварді 27, Вертус і Зігуен на інокуляцію бульбочковими бактеріями *Sinorhizobium meliloti* AC48 та AC88. У результаті досліджень встановлено, що інтенсивність асиміляції N_2 симбіотичними системами, утвореними за участі різних генотипів люцерни та активних штамів *S. meliloti*, є одним із основних факторів, який впливає на урожай вегетативної маси цієї важливої кормової культури. Самофертильні лінії рослин *Medicago sativa* L., інокульовані різними штамми ризобій, характеризувалися більшими, порівняно з контрольними рослинами люцерни сорту Ярославна, показниками маси сформованих на коренях бульбочок. У всіх досліджуваних нами симбіотичних системах зберігалась традиційна динаміка азотфіксувальної активності кореневих бульбочок – із низькими значеннями у фазу стеблуння та інтенсивним зростанням до фаз бутонізації і цвітіння. Найвищий рівень азотфіксації та вегетативного росту рослин (показники зеленої та сухої маси рослин, маси коренів та кореневих бульбочок) встановлено при інокуляції люцерни лінії Кишварді 46 штамом *S. meliloti* AC48. У рослин цього варіанту показники маси сформованих на коренях бульбочок були більшими порівняно з контролем в 1,8–2,3 рази, зеленої маси в 1,2–1,6 рази та висоти рослин 1,2–1,4 рази упродовж вегетації. Азотфіксувальна активність симбіотичного комплексу рослин лінії Кишварді 27 та бульбочкових бактерій *S. meliloti* AC48 у фазу цвітіння перевищувала показники симбіотичних систем, сформованих за участю цього ж штаму і рослин ліній Зігуен та Вертус на 13,0 і 39,4 %. За інокуляції рослин ліній Вертус і Зігуен активними штамми *S. meliloti* AC48 та AC88 відмічені найменші показники азотфіксувальної активності, порівняно з симбіозами, утвореними рослинами ліній Кишварді 27 і 46 та сорту-контролю Ярославна з зазначеними штамми. Відмічено стимулюючий вплив інокуляції насіння люцерни різних генотипів на ріст і розвиток рослин, про що свідчить позитивна динаміка наростання надземної маси, накопичення сухої речовини та вищі, порівняно з контролем, значення (показники) висоти рослин упродовж вегетації.

Ключові слова: *Sinorhizobium meliloti*, азотфіксація, інокуляція, люцерна, надземна маса рослин, самофертильні лінії.

Про авторів:

П.П. Пухтаєвич – Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, вул. Васильківська, 31/17, Київ, Україна, 03022, azot@ifrg.kiev.ua, <https://orcid.org/0000-0002-6179-6239>

К.П. Кукол – Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, вул. Васильківська, 31/17, Київ, Україна, 03022, katerinakukol@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2889-9957>

Н.А. Воробей – Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, вул. Васильківська, 31/17, Київ, Україна, 03022, n-vorobey@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-6039-5409>

С.Я. Коць – Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, вул. Васильківська, 31/17, Київ, Україна, 03022, kots@ifrg.kiev.ua, <https://orcid.org/0000-0002-3477-793X>

Вступ

Недостатня забезпеченість кормами та низька їх якість призводять до того, що генетичний потенціал тварин реалізується лише на 60–90 % (Постельга, Філоненко, 2016). Для стабілізації і подальшого нарощування їх виробництва необхідно оптимізувати посівні площі під кормовими культурами, підвищити урожайність цих культур та поживну цінність сировини (Обідняк, Башкірова, 2018).

У наш час при біологізації землеробства в умовах обмеженого ресурсного забезпечення зростає роль багаторічних бобових трав і особливо люцерни, яка збагачує ґрунт органічною речовиною і біологічним азотом, покращує його фізико-хімічні властивості та захищає від ерозії (Желтопузов і др., 2013).

Люцерна (*Medicago sativa* L.) – багаторічна бобова культура, яка широко використовується у всьому світі як одна з найважливіших кормових рослин. Це пов'язано, головним чином, з її достатньо високою урожайністю та якістю кормів, пластичністю і здатністю створювати симбіотичні системи з мікроорганізмами-азотфіксаторами, які асимілюють молекулярний азот повітря, забезпечують потребу в ньому макросимбіонтів й накопичують його в орному шарі ґрунту (Коць, Михалків, 2005; Tesfaye et al., 2006; Li, Brummer, 2012; Quan et al., 2016; Soto-Zarazua et al., 2016; Zhang et al., 2017; Pukhtaievych et al., 2019).

За результатами багаторічних досліджень, люцерна та її травосуміші із злаковими рослинами на сінокосах, пасовищах і в кормових сівозмінах забезпечують збереження й накопичення гумусу в ґрунті за рахунок накопичення великої кількості біологічного азоту і кореневої маси (Коць, Михалків, 2005; Гребенников и др., 2011).

Вирощування люцерни посівної позитивно впливає на структуру і водно-фізичний стан ґрунтів. На гектарі в умовах зрошення вона фіксує до 500 кг азоту в рік із повітря при урожайності сіна 25–30 т/га (за рахунок кількох укосів). За середніх урожаїв у богарних умовах 4–5 т/га сіна в ґрунті залишається 80–120 кг фіксованого азоту (Гудзь та ін., 2014). В умовах інтенсифікації сільськогосподарського виробництва люцерна відіграє важливе значення у підтриманні екологічної рівноваги в зрошуваних агроценозах (Данилов и др., 1997). Ця культура активно використовує запаси нітратного азоту за межами кореневмісного шару однорічних сільськогосподарських культур. У рік посіву вона поглинає їх на глибині до 120 см, а на другий рік – до 180 см, тому може широко застосовуватись для підвищення ефективності використання мінеральних азотних добрив і зменшення накопичення нітратів у ґрунті (Entz et al., 1993).

У сухій масі люцерни міститься 17–18 % протеїну, 2,5–3,0 – жиру, 24–28 – клітковини, 35–37 – безазотистих екстрактивних речовин, у 100 кг сіна – 11,5–12,5 кг перетравного білка, 56–63 кормових одиниць (Ковбасюк, 2013). Білки люцерни містять усі незамінні амінокислоти і добре за ними збалансовані, наближаючись за цим показником до яєчного білка (Аксенов, Аксенова, 2000).

Важливість люцерни як кормової культури у світі спонукає до проведення досліджень, направлених на вдосконалення елементів технології її вирощування. Науковці також працюють над тим, щоб нові сорти, створені у науково-дослідних установах, були стійкими до несприятливих ґрунтово-кліматичних умов, збудників хвороб і шкідників, добре реагували на внесення добрив та зрошення, були спроможними давати високі врожаї зеленої маси, мали стабільну насінневу продуктивність (Башкірова, Глибовець, 2014). Ідеальна люцерна повинна мати розширений потенціал для продукування біомаси, високу інтенсивність відростання після збору врожаю і прямий високий ріст стебла для полегшення механічного збирання врожаю, стійкість до вилягання (Robins et al., 2007; McCord et al., 2014). На сьогоднішній день суттєвою проблемою культури є низька насіннева продуктивність (Коць, 2001; Волинець, 2013), тому одним із основних завдань, які ставляться перед селекціонерами, є виведення нових, самофертильних сортів із високою насінневою продуктивністю.

Актуальним сьогодні є також пошук нових азотфіксувальних мікроорганізмів і створення на їх основі ефективних симбіотичних систем, які можна було б застосовувати для підвищення врожайності сільськогосподарських культур і водночас запобігати забрудненню навколишнього середовища синтетичними сполуками (Коць, 2011).

Процес активізації симбіотичної фіксації молекулярного азоту залежить від сортової чутливості бобових до бактеризації бульбочковими бактеріями та специфічності штамів ризобій. Сортова специфічність у бульбочкових бактерій люцерни є помірною (Спайнк и др., 2002). У роботах М.Тагаєва зі співавт. (Тагаєв, Рустамбекова, 1992) показано залежність симбіотичної азотфіксації від видових і сортових особливостей люцерни та штаму бульбочкових бактерій. Оцінка колекцій сортів люцерни виявила, що міжсортів відмінності за показниками кількості та маси бульбочок виражені більш різко, ніж за азотфіксувальною активністю, оскільки ці ознаки, вірогідно, визначаються різними групами рослинних генів. Також встановлено, що ефективність симбіозу контролюється генотипом рослини-хазяїна, тоді як азотфіксувальна активність обумовлена переважно генотипом штаму (Назарюк и др., 2004).

На ефективність функціонування симбіотичних систем значний вплив має також і рівень забезпеченості рослин мінеральним азотом та застосування стимуляторів росту (Коць, Михалків, 2005).

Передпосівна інокуляція насіння бактеріальними препаратами, до складу яких входять біоагенти, які вступають у симбіоз із люцерною, позитивно впливає на загальний стан рослин: вони мають кращі біометричні показники, відзначаються високим ступенем метаболічних процесів, зокрема фотосинтезу та азотфіксації, характеризуються підвищеною резистентністю до фітопатогенів (Коць, Михалків, 2005).

Отже, метою нашої роботи було дослідити реакцію перспективних самофертильних ліній люцерни (*Medicago sativa* L.) на інокуляцію насіння різними штамми азотфіксувальних бактерій

Sinorhizobium meliloti, формування та функціонування утворених симбіотичних систем та аналіз впливу бактеризації на ріст і розвиток рослин.

Об'єкти та методи дослідження

Вегетаційні досліді проводили з рослинами люцерни (*Medicago sativa* L.) сорту Ярославна (селекції Інституту землеробства НААН України) та самофертильними лініями Вертус, Кишварді 27, Кишварді 46 і Зігуен, які були надані к.б.н., доцентом Н.В.Башкіровою (Національний університет біоресурсів і природокористування України).

Схема досліді включала варіанти із передпосівною інокуляцією насіння люцерни штамми бульбочкових бактерій *Sinorhizobium meliloti* AC48 та AC88 із колекції азотфіксуючих мікроорганізмів Інституту фізіології рослин і генетики НАН України.

Лінію Вертус отримано методом добору за рівнем самофертильності із сорту Вертус. Тричі було проведено примусове самозапилення, потім три покоління сибсового розмноження, тобто схрещування між самофертильними (рівень самосумісності >45 %), морфологічно однорідними рослинами, після цього повторно два примусових штучних самозапилення.

Лінія Кишварді – результат добору з угорського сорту Кишварді. Чотири послідовних примусових самозапилення, потім два схрещування між самофертильними (рівень самосумісності >45 %) рослинами, після цього два самозапилення.

Лінію Зігуен отримано методом добору за рівнем самофертильності з чилійського сорту Зігуен. Двічі було проведено примусове самозапилення, потім три схрещування між самофертильними (>45 %), морфологічно однорідними рослинами, після цього повторно три примусових самозапилення.

Усі лінії є восьмим поколінням насіннєвого розмноження.

Рослини люцерни вирощували у 14-кілограмових посудинах за природних освітлення та температури на вегетаційному майданчику ІФРГ НАН України.

Посудини попередньо стерилізували 20 % розчином H_2O_2 . Субстратом для вирощування рослин слугував річковий пісок. Джерелом мінерального живлення була поживна суміш Гельрігеля, збагачена мікроелементами: молібденом, бором і міддю та збіднена на азот – 0,25 норми (1 норма відповідає $708 \text{ мг Ca (NO}_3)_2 \cdot 4 \text{ H}_2\text{O}$ на 1 кг піску).

Для приготування інокуляційних суспензій біомасу бактерій змивали з поверхні агаризованого поживного середовища стерильною водопровідною водою. Водні суспензії бульбочкових бактерій вирівнювали між собою за стандартом каламутності. Тривалість бактеризації насіння суспензією бактерій становила 60 хвилин. Інфекційне навантаження складало 10^9 кл/мл. У контролі насіння люцерни зволожували водопровідною водою. Повторність досліді – п'ятиразова. Рослини для аналізу відбирали у фази стеблуння, бутонізації та цвітіння, відповідно 32, 39 та 45-та доба після появи сходів. Визначали та аналізували вплив інокуляції насіння бульбочковими бактеріями на біометричні показники люцерни.

Азотфіксувальну активність (АФА) визначали ацетиленовим методом за рівнем ацетиленвідновлювальної активності кореневих бульбочок і виражали в наномолях етилену, утворюваного бульбочками однієї рослини за 1 годину. Газову суміш, що містила етилен, утворений у результаті редукції ацетилену нітрогеназою, аналізували на газовому хроматографі Agilent Technologies 6850 Network GC System, USA. Об'єм аналізованої проби газової суміші становив 1 мл.

Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали за загальноприйнятими методиками (Доспехов, 1985) із залученням пакету програм Microsoft Excel 2013. У таблицях наведено середньоарифметичні значення та їх стандартні похибки.

Результати та обговорення

У результаті досліджень встановлено, що бульбочки у люцерни утворилися на коренях рослин усіх варіантів, проте їх кількість та маса істотно відрізнялися, залежно від генотипів рослини-хазяїна та залучених у роботу штамів бульбочкових бактерій. Так, у контрольованих умовах вегетаційних дослідів інокуляція насіння *S. meliloti* AC48 забезпечувала формування на рослинах люцерни більшої кількості бульбочок, порівняно з інокуляцією штамом AC88.

У люцерни, інокуюваної штамми бульбочкових бактерій *S. meliloti* AC48 та AC88, найбільшу масу бульбочок відмічено на коренях рослин самофертильних ліній Кишварді 27 та Кишварді 46, що

перевищувала показники рослин контрольного варіанту (сорт Ярославна) у фазу бутонізації в 1,4–1,8 рази, у фазу цвітіння – в 1,3–2,3 рази відповідно.

У рослин люцерни ліній Вертус та Зігуен симбіотичний апарат активніше формувалася на пізніших фазах вегетації, і, як наслідок, збільшення загальної маси кореневих бульбочок на 1 рослині відбувалося в фазу цвітіння в 1,3 та 1,7 рази порівняно з контрольними рослинами за інокуляції штамом AC48 (табл. 1).

Отже, в результаті проведених досліджень встановлено, що на кореневій системі рослин люцерни селекційної самофертильної лінії Кишварді формувалось більше азотфіксуючих бульбочок, ніж на кореневій системі сорту люцерни Ярославна, за інокуляції обома досліджуваними штамми *S. meliloti*.

Таблиця 1.

Маса кореневих бульбочок різних ліній люцерни (мг/рослину) за інокуляції *Sinorhizobium meliloti* AC48 та AC88

Варіант	Фаза розвитку рослин, доба після сходів	
	бутонізація, 39-та	цвітіння, 45-та
Інокуляція <i>Sinorhizobium meliloti</i> AC48		
Ярославна (контроль)	16,62±0,99	28,07±2,38
Кишварді 27	28,51±1,14	56,25±5,06
Кишварді 46	30,24±1,51	66,41±4,85
Зігуен	22,15±1,77	48,15±4,62
Вертус	20,83±1,25	38,12±2,25
Інокуляція <i>Sinorhizobium meliloti</i> AC88		
Ярославна (контроль)	19,26±0,77	34,80±3,27
Кишварді 27	26,50±2,12	45,12±3,93
Кишварді 46	28,64±2,00	59,25±5,81
Зігуен	23,52±1,18	40,50±3,85
Вертус	18,92±1,14	37,18±3,20

Ефективні бульбочки з високою азотфіксувальною активністю утворюються при генетичній сумісності видів і сортів бобових рослин із штамми бульбочкових бактерій (Проворов, Симаров, 1992).

Із літературних джерел відомо, що маса кореневих бульбочок у бобових рослин здебільшого корелює з інтенсивністю фіксації ними молекулярного азоту. Загальна азотфіксувальна активність може слугувати інтегральним показником, який характеризує функціонування симбіотичної системи, оскільки високий рівень АФА спостерігається за наявності специфічного штаму ризобій, збалансованості С- і N-метаболізму в бульбочках і потреби рослин в елементах живлення (Спайнк и др., 2002).

Вважається, що загальна азотфіксувальна здатність кореневих бульбочок люцерни у період її активної вегетації є найбільш значущим критерієм для оцінювання ефективності симбіотичної взаємодії макро- та мікросимбіонтів.

Варто зауважити, що у всіх досліджуваних нами симбіотичних системах зберігалась традиційна динаміка азотфіксувальної активності кореневих бульбочок – із низькими значеннями у фазу стеблуння та інтенсивним зростанням до фаз бутонізації і цвітіння. При цьому в фазі цвітіння спостерігали незначну тенденцію до збільшення асиміляції N₂ досліджуваними симбіотичними системами люцерни у порівнянні із фазою бутонізації.

У результаті визначення азотфіксувальної активності кореневих бульбочок люцерни нами відмічено істотно нижчий рівень даного показника у симбіотичних системах, утворених штамми *S. meliloti* AC48 та AC88 із рослинами ліній Вертус та Зігуен, упродовж всього вегетаційного періоду, у порівнянні з симбіотичними системами, утвореними лініями Кишварді 27, Кишварді 46 та сортом Ярославна (рис. 1 та рис. 2).

З-поміж двох самофертильних ліній люцерни Зігуен і Вертус більш комплементарною до бульбочкових бактерій *S. meliloti* AC48 та *S. meliloti* AC88 виявилась перша (Зігуен), що підтверджується масою сформованих кореневих бульбочок та рівнем їх асиміляції N_2 упродовж вегетації. Найвищі значення азотфіксувальної активності (714,5 та 651,2 нмоль C_2H_4 /рослину•год) кореневих бульбочок люцерни, утворених на рослинах лінії Вертус штамми AC48 та AC88, відмічено у фазу цвітіння, проте вони були в 1,8 та 1,5 рази меншими порівняно з контрольними рослинами сорту Ярославна.

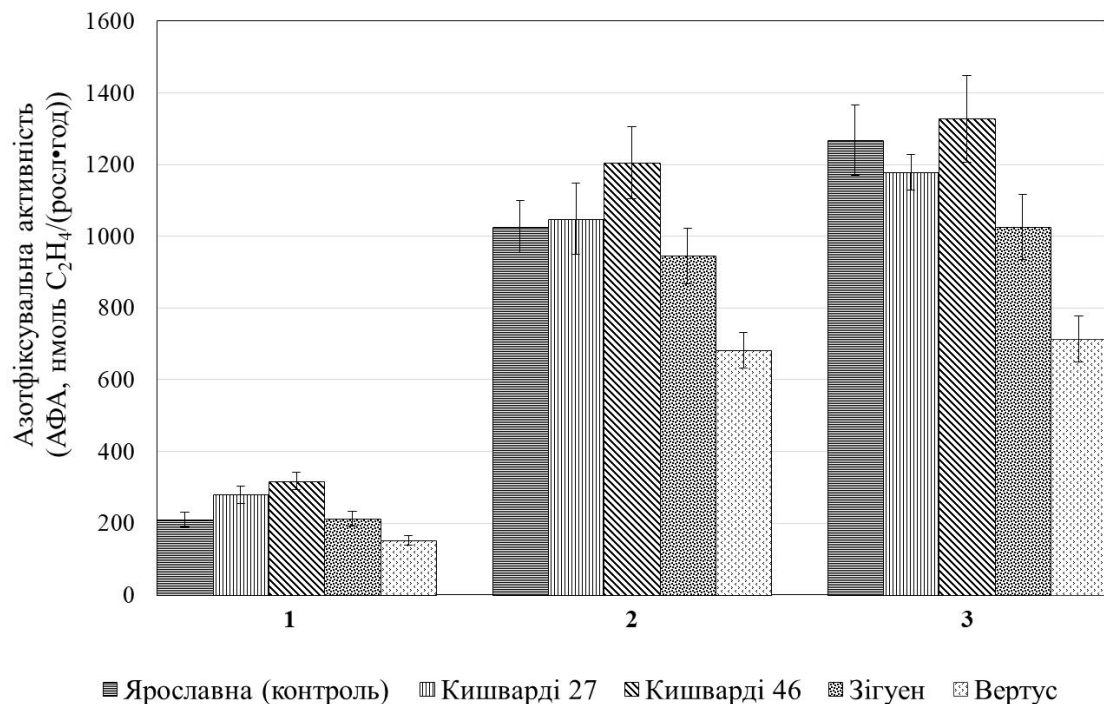


Рис. 1. Азотфіксувальна активність кореневих бульбочок різних генотипів люцерни (нмоль C_2H_4 /(рослину•год)) за інокуляції *Sinorhizobium meliloti* AC48. Фаза розвитку: 1 – стеблування; 2 – бутонізація; 3 – цвітіння

Отже, інокуляція насіння люцерни лінії Кишварді 46 штамми *S. meliloti* AC48 та *S. meliloti* AC88 забезпечувала найвищий рівень асиміляції N_2 , порівняно з іншими варіантами досліду. Так, АФА симбіотичних систем, утворених рослинами лінії Кишварді 46 з ризобіями *S. meliloti* AC48, перевищувала показник контрольних рослин на 50,9 % у фазу стеблування, 17,4 % у фазу бутонізації та 4,8 % у фазу цвітіння. У варіанті з обробкою насіння люцерни вказаної лінії бульбочковими бактеріями AC88 перевищення показників порівняно із контрольними становило відповідно 12,5, 33,1 та 20,4 %.

Азотфіксувальна активність симбіотичного комплексу Кишварді 27 + *S. meliloti* AC48 у фазу цвітіння була на рівні 1179,1 нмоль C_2H_4 /(рослину•год), що на 13,0 і 39,4 % більше порівняно із симбіотичними системами, сформованими за участю цього ж штаму і рослин ліній Зігуен та Вертус.

У рослин сорту Ярославна (контроль) дещо вищими показниками азотфіксувальної активності характеризувались кореневі бульбочки, утворені штамом *S. meliloti* AC48 (рис. 2).

Таким чином, штами *S. meliloti* AC48 та AC88, використані для інокуляції насіння *M. sativa*, були комплементарними із різними самофертильними лініями люцерни та забезпечували інтенсивну азотфіксацію у фазі бутонізації та цвітіння. У результаті досліджень виявлено максимально продуктивні за ознакою азотфіксувальної активності симбіотичні системи із урахуванням генетичних особливостей ліній та мікросимбіонтів: Кишварді 46 і 27 із *S. meliloti* AC48 і AC88.

Аналіз літературних джерел свідчить про те, що результати морфометричних вимірювань підтверджують існування прямої позитивної залежності між зростаючими показниками загальної

азотфіксувальної активності та динамікою формування рослинами вегетативної маси. Внаслідок асиміляції N_2 бульбочками забезпечуються кращі умови азотного живлення люцерни, що сприяє інтенсифікації метаболічних процесів росту та розвитку рослин (Патика та ін., 1993; Коць, Михалків, 2005). Тому інокуляція ефективними штамми бульбочкових бактерій є одним із засобів підвищення урожаю зеленої маси люцерни і вмісту в ній білка (Коць, Михалків, 2005).

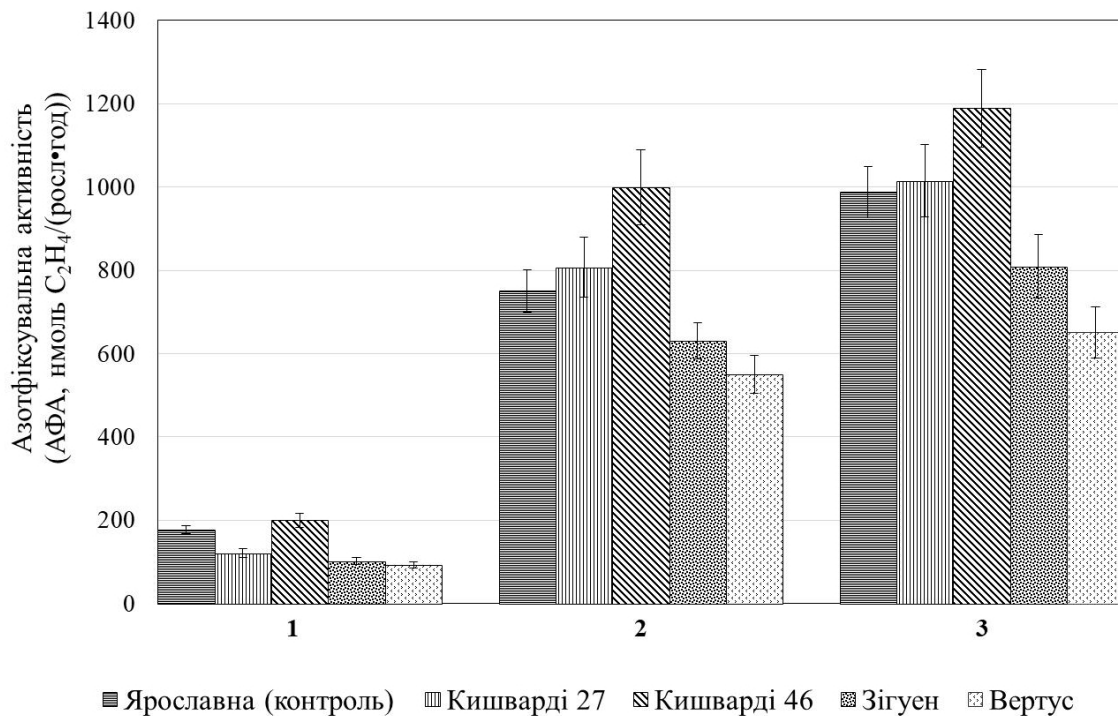


Рис. 2. Азотфіксувальна активність кореневих бульбочок різних генотипів люцерни (нмоль C_2H_4 /(рослину•год)) за інокуляції *Sinorhizobium meliloti* AC88. Фаза розвитку: 1 – стеблуння; 2 – бутонізація; 3 – цвітіння

Крім того, існує декілька складових механізму впливу бульбочкових бактерій на бобові рослини, зокрема і люцерну, що пояснює дані результати:

- збільшення надходження атмосферного азоту в рослини за рахунок функціонування бактеріальної нітрогенази;
- підвищення асиміляції нітратів за рахунок активності бактеріальної нітратредуктази;
- синтез мікроорганізмами фізіологічно активних речовин (гормонів, вітамінів, амінокислот та ін.), які здійснюють пряму гормональну регуляцію росту рослин;
- здатність мікроорганізмів до синтезу екзополісахаридів, що є природними прилипаками бактерій до рослинних тканин і ґрунтових часточок (Коць и др., 2010).

Отримані результати динаміки наростання зеленої маси рослинами досліджуваних ліній люцерни на фоні інокуляції активними штамми бульбочкових бактерій представлені в табл. 2.

Важливим показником росту рослин є їх висота. Ріст люцерни був значно інтенсивнішим у рослин самофертильної лінії Кишварді 46. За висотою стебла лінія люцерни Кишварді 46 перевищувала контрольні рослини на 30,5, 37,3 та 16,4 % за інокуляції штамом AC48 і на 24,1, 24,7, 35,8 % – за інокуляції *S. meliloti* AC88 у фази стеблуння, бутонізації та цвітіння відповідно. За ростовою активністю досліджені лінії та сорт люцерни можна розмістити у порядку зменшення їх висоти за інокуляції різними штамми бульбочкових бактерій – Кишварді 46, Кишварді 27, Зігуен, Вертус, Ярославна (табл. 2).

Слід зазначити, що інокуляція штамом *S. meliloti* AC48 сприяла кращому наростанню надземної маси рослин, порівняно з варіантами, де насіння обробляли штамом AC88 (табл. 2). У рослин лінії Кишварді 46 на фоні інокуляції штамом *S. meliloti* AC48 зафіксовано упродовж вегетації найвищі показники зеленої маси серед інших варіантів досліду. Зокрема, у фазу стеблуння маса

рослин лінії Кишварді 46 становила в середньому 1,77 г/рослину, що на 12,0–55,2 % більше порівняно з рослинами контролю та ліній Кишварді 27, Зігуен та Вертус. У фазу цвітіння маса рослин даного варіанту становила 2,59 г/рослину, при цьому відповідні показники зросли на 11,6–42,3 %.

За інокуляції насіння залучених у роботу ліній люцерни бактеріями *S. meliloti* AC88 спостерігали подібну динаміку приросту зеленої маси. Як у рослин самофертильних ліній люцерни Кишварді 46, Кишварді 27, Зігуен та Вертус, так і у рослин контрольного варіанту відмічено поступове зростання показника наростання зеленої маси протягом вегетації. Однак за обробки насіння люцерни обома штамми ризобій рослини ліній Зігуен і Вертус мали дещо меншу масу порівняно з сортом Ярославна і лініями Кишварді 27 і 46.

Таблиця 2.

Показники наростання надземної маси рослин різних ліній люцерни (*Medicago sativa* L.) за інокуляції насіння *Sinorhizobium meliloti* AC48 та AC88

Варіант	Зелена маса рослин, г			Суха надземна маса, г			Висота рослин, см		
	Фаза розвитку								
	стеблуння	бутонізації	цвітіння	стеблуння	бутонізації	цвітіння	стеблуння	бутонізації	цвітіння
Інокуляція насіння бактеріями <i>Sinorhizobium meliloti</i> AC48									
Ярославна (контроль)	1,14± 0,06	1,52± 0,06	2,15± 0,11	0,31± 0,02	0,38± 0,03	0,41 ±0,03	21,31± 1,67	23,10± 1,75	35,24± 2,54
Кишварді 27	1,58± 0,11	1,62± 0,07	2,32± 0,14	0,43± 0,02	0,45± 0,03	0,67± 0,05	26,94± 2,37	30,96± 2,32	36,22± 2,96
Кишварді 46	1,77± 0,10	1,82± 0,06	2,59± 0,19	0,52± 0,04	0,55± 0,03	0,73± 0,06	27,81± 2,63	31,72± 2,88	41,05± 3,12
Зігуен	1,35± 0,10	1,60± 0,12	2,23± 0,17	0,36± 0,03	0,43± 0,04	0,57± 0,04	25,34± 1,81	30,60± 2,48	35,15± 2,83
Вертус	1,24± 0,07	1,53± 0,10	1,82± 0,15	0,32± 0,02	0,38± 0,04	0,46± 0,04	25,22± 2,05	30,01± 2,45	32,40± 2,82
Інокуляція насіння бактеріями <i>Sinorhizobium meliloti</i> AC88									
Ярославна (контроль)	0,87± 0,07	1,10± 0,08	1,52± 0,10	0,17± 0,01	0,23± 0,02	0,42± 0,04	20,22± 1,22	25,54± 2,05	28,91± 2,15
Кишварді 27	1,01± 0,09	1,51± 0,12	1,98± 0,13	0,22± 0,02	0,41± 0,03	0,56± 0,03	22,74± 1,83	27,13± 2,35	33,34± 2,65
Кишварді 46	1,15± 0,08	1,69± 0,09	2,32± 0,20	0,25± 0,02	0,49± 0,04	0,68± 0,05	25,10± 2,19	31,85± 2,48	39,27± 2,55
Зігуен	0,94± 0,06	1,43± 0,06	1,92± 0,13	0,21± 0,02	0,37± 0,02	0,52± 0,02	21,12± 1,66	27,05± 2,14	32,30± 2,82
Вертус	0,88± 0,06	0,90± 0,05	1,54± 0,14	0,18± 0,01	0,23± 0,02	0,43± 0,03	20,91± 1,43	24,21± 1,69	30,32± 2,71

Істотне підвищення показника наростання зеленої маси рослин люцерни у всіх варіантах дослідів відмічено у фазу цвітіння. Очевидно, це пов'язано з інтенсивним перебігом асиміляційних процесів.

Відомо, що люцерна посівна, як і усі бобові трави, багата на протеїн та каротин, але порівняно зі злаками бідніша на декстрини, натрій, фосфор і деякі мікроелементи. Найоптимальніший період використання її зеленої маси – це фази бутонізації та початку цвітіння. Як правило, у цей період проводять заготівлю грубих кормів сіна, сінажу, а також трав'яного борошна. Молоді неогрубілі

стебла рослин при висушуванні є більш м'якими і при збиранні менше втрачають листочки (Чорнолата та ін., 2019).

Під час бутонізації – початку цвітіння у зеленій масі бобових трав, у тому числі й люцерни, синтезується значний вміст сухої речовини та нагромаджується максимальна кількість білка. У цей період за оптимальних умов симбіозу досягають максимуму показники кількості та маси бульбочок, а також азотфіксувальної активності, і це сприяє інтенсивнішому синтезу білка. У результаті проведених нами досліджень відмічено найбільш позитивний вплив передпосівної інокуляції насіння люцерни штамом бульбочкових бактерій AC48 на показники сухої маси рослин лінії Кишварді 46 (вміст сухої речовини в надземній масі люцерни становив 0,52 г у фазу стеблуння, 0,55 г у фазу бутонізації та 0,73 г у фазу цвітіння) (табл. 2). Вірогідно, штам AC48 виявився найбільш комплементарним до цієї лінії люцерни, про що засвідчували також показники кількості та маси бульбочок і дані їх азотфіксувальної активності. Рослини ліній Кишварді 27, Зігуен та Вертус за інокуляції насіння штамом ризобій *S. meliloti* AC48 також мали подібну позитивну динаміку накопичення сухої речовини, проте дещо поступалися за кількісним показником.

За інокуляції насіння самофертильних ліній люцерни штамом *S. meliloti* AC88 найвищими показниками сухої надземної маси характеризувались рослини лінії Кишварді 46 (від 0,25 до 0,68 г) та Кишварді 27 (від 0,22 до 0,56 г). У рослин лінії Вертус кількість сухої речовини та динаміка її накопичення майже не відрізнялися від рослин контрольного варіанту.

Таким чином, для досягнення найефективнішої реалізації симбіотичного потенціалу необхідно постійно вести координовану селекцію сортів рослин і штамів бульбочкових бактерій, направлену на створення комплементарних генотипів мікро- і макросимбіонтів.

Перспективним може бути створення універсальних комплексних бактеріальних добрив на основі декількох штамів мікроорганізмів-азотфіксаторів, здатних формувати ефективні взаємовідносини з різними генотипами люцерни. При застосуванні таких комплексних добрив рослина сама буде добирати найбільш відповідного їй мікросимбіонта-партнера. Це дозволить ефективніше використовувати потенціал бобово-ризобіальних систем для підвищення продуктивності рослин.

Ефективне використання бульбочкових бактерій як біоагентів для мікробних препаратів у сільськогосподарському виробництві дає можливість підвищувати родючість ґрунтів, економити значну кількість азотних добрив, отримуючи при цьому високі та стабільні врожаї. Адже у ґрунті не завжди присутня достатня кількість бульбочкових бактерій, здатних продуктивно зв'язувати молекулярний азот. Часто вони представлені маловірулентними неактивними штамми, а в районах, де раніше не вирощувалися певні види бобових, такі бактерії взагалі відсутні. Тому посилити ефективність фіксації атмосферного азоту в таких регіонах можна лише завдяки використанню бактеріальних препаратів, виготовлених на основі активних, конкурентоздатних штамів ризобій. Застосування їх дає змогу покращити умови азотного живлення бобових культур, підвищити урожай зерна і зеленої маси, збільшити вміст білка в рослинах і суттєво зменшити або практично виключити внесення у ґрунт мінерального азоту при їх вирощуванні (Коць и др., 2010).

Висновки

Вивчено реакцію досліджуваних самофертильних ліній люцерни Кишварді 27, Кишварді 46, Зігуен та Вертус на інокуляцію бульбочковими бактеріями *S. meliloti* AC48 і AC88. Отримані показники азотфіксувальної активності кореневих бульбочок та динаміки приросту вегетативної маси рослин самофертильних ліній люцерни проаналізовані у порівнянні із сортом-контролем Ярославна.

У результаті проведених досліджень встановлено, що інтенсивність асиміляції N₂ симбіотичними системами, утвореними за участі самофертильних ліній люцерни Кишварді 27, Кишварді 46, Зігуен та Вертус і активних штамів *S. meliloti*, є одним із основних факторів, який впливає на урожай вегетативної маси *Medicago sativa* як важливої кормової культури.

Макро- та мікросимбіонти, які формують симбіотичну систему, мають значний вплив на показники наростання зеленої маси. Найвищий рівень азотфіксувальної активності та найбільші показники надземної маси й маси коренів і корневих бульбочок встановлено для симбіотичної системи люцерни лінії Кишварді 46 із *S. meliloti* AC48.

Симбіотичні системи, утворені рослинами лінії Вертус і Зігуен з активними штамми *S. meliloti* AC48 та AC88, характеризувалися нижчими показниками азотфіксувальної активності порівняно з симбіозами, утвореними рослинами ліній Кишварді 27 і 46 та сорту-контролю Ярославна.

Беручи до уваги те, що у даний час самофертильність є одним із найважливіших критеріїв продуктивності люцерни, можна вважати досліджені лінії перспективними і рекомендувати їх для включення в подальший селекційний процес із створення самофертильних сортів люцерни посівної із високим азотфіксувальним потенціалом.

Список літератури / References

- Аксенов Е.С., Аксенова Н.А. (2000). Травянистые растения / В кн.: Декоративные садовые растения. Москва: ЛБФ. Т.2. 608 с. [Aksenov Ye.S., Aksenova N.A. Herbaceous plants / In: *Ornamental garden plants*. Moscow: ABF. Vol.2. 608 p.]
- Башкірова Н.В., Глибовець А.О. (2014). Оцінка нових самофертильних селекційних зразків люцерни посівної (*Medicago sativa* L.). *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*, 1, 10–14. [Bashkirova, N.V., Hlybovets A.O. (2014). Evaluation of new self-fertile breeding samples of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Plant Varieties Studying and Protection*, 1, 10–14.]
- Волинець А.П. (2013). Фенольные соединения в жизнедеятельности растений. Минск: Беларуская навука. 283 с. [Volynets A.P. (2013). *Phenolic compounds in plant life*. Minsk: Belaruskaya navuka. 283 p.]
- Гребенников В.Г., Куш Е.Д., Шипилов И.А. (2011). Многолетние травы как фактор сохранения и повышения плодородия каштановых почв. *Кормопроизводство*, 2, 16–17. [Grebennikov V.G., Kushch Ye.D., Shipilov I.A. (2011). Perennial herbs as a factor in preserving and increasing the fertility of chestnut soils. *Fodder Production*, 2, 16–17.]
- Гудзь В.П., Шувар І.А., Юник А.В. та ін. (2014). Адаптивні системи землеробства: підруч. / Ред. В.П.Гудзь. К.: «Центр учбової літератури». 336 с. [Hudz V.P., Shuvar I.A., Yunyk A.V. et al. (2014). *Adaptive farming systems: textbook* / Ed. V.P.Hudz. Kyiv: "Tsentr uchbovoi literatury". 336 p.]
- Данилов А.Н., Данилова С.А., Караваева Г.И. (1997). Влияние удобрений и пожнивных корневищ люцерны на содержание и воспроизводство гумуса в почве / «Развитие научного наследия академика Н.И.Вавилова»: тезисы международной научной конференции. Саратов. С. 33–35. [Danylov A.N., Danilova S.A., Karavaeva G.I. (1997). Influence of fertilizers and stubble-root residues of alfalfa on the content and reproduction of humus in the soil. *The development of the scientific heritage of academician N.I. Vavilov: abstracts of International Scientific Conference*. Saratov, pp. 33–35.]
- Доспехов Б.А. (1985). Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Агропромиздат. 351 с. [Dospekhov B.A. (1985). *Field experience methodology (with basics of statistical processing of research results)*. Moscow: Agropromizdat. 351 p.]
- Желтопузов В.Н., Шипилов И.А., Гребенников В.Г. и др. (2013). Перспективы выращивания новых сортов люцерны и ее смесей для производства высококачественных кормов. *Сельскохозяйственный журнал*, 6(2), 158–164. [Zheltopuzov V.N., Shipilov I.A., Grebennikov V.G. et al. (2013). Prospects for growing new varieties of alfalfa and its mixtures for the production of high quality fodders. *Agricultural Journal*, 6(2), 158–164.]
- Ковбасюк П. (2013). Вирощування люцерни та її кормова цінність. *Пропозиція*, 12, 78–81. [Kovbasiuk P. (2013). Growing alfalfa and its fodder value. *Proposition*, 12, 78–81.]
- Коць С.Я. (2011). Сучасний стан досліджень біологічної фіксації азоту. *Фізіологія і біохімія культурних рослин*, 43(3), 212–225. [Kots S.Ya. (2011). Current state of biological nitrogen fixation studies. *Physiology and biochemistry of cultivated plants*, 43(3), 212–225.]
- Коць С.Я. (2001). Фізіологічні основи високоефективного функціонування симбіотичних систем люцерни в агроценозах. Дис. ... д-ра. біол. наук. Київ, Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, 2001. 323 с. (рукопис). [Kots S.Ya. (2001). *Physiological bases of highly efficient functioning of alfalfa symbiotic systems in agroecosystems*. Dr. Sci. Diss. Kyiv, Institute of Plant Physiology and Genetics NAS of Ukraine. 323 p. (manuscript).]
- Коць С.Я., Михалків Л.М. (2005). Фізіологія симбіозу та азотне живлення люцерни. К.: Логос. 300 с. [Kots S.Ya., Mykhalkiv L.M. (2005). *Physiology of symbiosis and nitrogen nutrition of alfalfa*. Kyiv: Logos. 300 p.]
- Коць С.Я., Моргун В.В., Патыка В.Ф. и др. (2010). Биологическая фиксация азота. Бобово-ризобиальный симбиоз. Київ: Логос, 2010. Т.1. 508 с. [Kots S.Ya., Morgun V.V., Patyka V.F. et al. (2010). *Biological fixation of nitrogen. Legume-Rhizobium symbiosis*. Kiev: Logos. Vol.1. 508 p.]
- Назарюк В.М., Сидорова К.К., Шумный В.К., Кленова М.И. (2004). Роль генотипа макросимбионта в усвоении азота из почвы и воздуха. *Доклады АН РАН*, 394(1), 139–141. [Nazaryuk V.M., Sidorova K.K., Shumnyy V.K., Klenova M.I. (2004). Role of genotype of macrosymbiont in nitrogen uptake from soil and air. *Doklady AN RAN*, 394(1), 139–141.]

- Shumny V.K., Klenova M.I. (2004). The role of the macrosymbiont genotype in nitrogen assimilation from the soil and the air. *Dokl. Biol. Sci.*, 394, 44–46. <https://doi.org/10.1023/B:DOBS.0000017127.10198.45>
- Обідняк Н.І., Башкірова Н.В. (2018). Самофертильність люцерни посівної як спосіб підвищення насінневої продуктивності сортів / «Селекція, генетика та технології вирощування сільськогосподарських культур»: матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів. Вінниця: Нілан. С. 60–61. [Obidnyak N.I., Bashkirova N.V. (2018). Self-fertility of alfalfa as a way to improve seed productivity of varieties. *Breeding, genetics and technologies of cultivation of crops: the Fourth International Scientific-Practical Conference of Young Scientists and Specialists proceedings*. Vinnytsya: Nilan, pp. 60–61.]
- Патика В.П., Тихонович І.А., Філіп'єв І.Д. та ін. (1993). Мікроорганізми і альтернативне землеробство / Відп. ред. В.П.Патика. Київ: Урожай. 176 с. [Patyka V.P., Tykhonovych I.A., Filip'yev I.D. et al. (1993). *Microorganisms and alternative agriculture* / Ed. V.P.Patyka. Kyiv: Urozhay. 167 p.]
- Постельга С., Філоненко Л. (2016). Дослідження технології консервування соковитих кормів з використанням новітніх технічних засобів. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*, 20, 397–404. [Postelga S., Filonenko L. (2016). Research of technology for preserving juicy fodder using the latest technical means. *Technical and technological aspects of development and testing of new machinery and technologies for agriculture of Ukraine*, 20, 397–404.]
- Проворов Н.А., Симаров Б.В. (1992). Генетический полиморфизм бобовых культур по способности к симбиозу с клубеньковыми бактериями. *Генетика*, 28(6), 5–14. [Provorov N.A., Simarov B.V. (1992). Genetic polymorphism of legumes by symbiosis ability with nodule bacteria. *Genetika*, 28(6), 5–14.]
- Спайнк Г., Кондороши А., Хукас П. (2002). Rhizobiaceae. Молекулярная биология бактерий, взаимодействующих с растениями. СПб. 567 с. [Spaink G., Kondoroshi A., Khukas P. (2002). *The Rhizobiaceae, molecular biology of model plant-associated bacteria*. Sankt-Peterburg. 567 p.]
- Тагаев М., Рустамбекова Н. (1992). Изучение сорто-штаммовой специфичности симбиотической азотфиксации клубеньковыми бактериями люцерны / Сб. тезисов 2 съезда Всесоюзного общества физиологии растений. Москва. Ч.2. С. 203. [Tagayev M., Rustambekova N. (1992). The study of varietal-strain specificity of symbiotic nitrogen fixation by nodule bacteria of alfalfa. *Abstracts of 2nd Congress of the All-Union Society of Plant Physiology*. Moscow. Part 2, p. 203.]
- Чорнолата Л.П., Ляхач С.М., Пирин Н.І. та ін. (2019). Характеристика зеленої маси люцерни посівної різних укосів, проведених у фазі бутонізації. *Корми і кормовиробництво*, 87, 114–120. [Chornolata L.P., Lykhach S.M., Pryn N.I. et al. (2019). Characteristics of the green mass of different slopes alfalfa carried out in the budding phase. *Fodder and fodder production*, 87, 114–120.]
- Entz M.H., Vessey J.K., Kelner D. et al. (1993). Extraction of deep-leached nitrate by short-term alfalfa stands. *Canadian Journal of Plant Science*, 73(1), 216.
- Li X., Brummer E.C. (2012). Applied genetics and genomics in alfalfa breeding. *Agronomy*, 2(1), 40–61.
- McCord P., Gordon V., Saha G. et al. (2014). Detection of QTL for forage yield, lodging resistance and spring vigor traits in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Euphytica*, 200, 269–279. <https://doi.org/10.1007/s10681-014-1160-y>
- Pukhtaievykh P.P., Kukol E.P., Vorobey N.A. et al. (2019). Efficiency of inoculation by nodule bacteria of alfalfa grown in mixture with smooth brome grass at various rates of phosphorus and potassium nutrition. *Plant Physiology and Genetics*, 51(5), 415–424. <https://doi.org/10.15407/frg2019.05.415>
- Quan W.L., Liu X., Wang H.Q. et al. (2016). Comparative physiological and transcriptional analyses of two contrasting drought tolerant alfalfa varieties. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1256. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01256>
- Robins J.G., Baughan G.R., Brummer E.C. (2007). Genetic mapping forage yield, plant height, and regrowth at multiple harvests in tetraploid alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Crop Science*, 47(1), 11–18. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.07.0447>
- Soto-Zarazua M.G., Rodrigues F., Pimentel F.B. et al. (2016). The isoflavone content of two new alfalfa-derived products for instant beverage preparation. *Food Function*, 7(1), 364–371. <https://doi.org/10.1039/C5FO01115A>
- Tesfaye M., Silverstein K.A.T., Bucciarelli B. et al. (2006). The affymetrix Medicago GeneChip® array is applicable for transcript analysis of alfalfa (*Medicago sativa*). *Functional Plant Biology*, 33(8), 783–788. <https://doi.org/10.1071/FP06065>

Zhang W., Mao P., Li Y. et al. (2017). Assessing of the contributions of pod photosynthesis to carbon acquisition of seed in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Sci. Rep.*, 7, 42026. <https://doi.org/10.1038/srep42026>

The reaction of self-fertile alfalfa lines to inoculation with nodule bacteria

P.P. Pukhtaievych, K.P. Kukol, N.A. Vorobey, S.Ya. Kots

Under the conditions of a model pot experiments, the reaction of the self-fertile lines of alfalfa Kishvardy 46, Kishvardy 27, Vertus and Ziguen to inoculation with nodule bacteria *Sinorhizobium meliloti* AC48 and AC88 was studied. As a result of studies, it was found that the intensity of assimilation of N_2 by symbiotic systems created with the participation of various genotypes of alfalfa and active strains of *S. meliloti* is one of the main factors that affects the vegetative mass yield of this important forage crop. Self-fertile lines of *Medicago sativa* L. plants, inoculated with different strains of rhizobia were characterized by higher rates of the mass formed on the root nodules, compared to the control plants of the alfalfa variety Yaroslavna. The traditional dynamics of nitrogen-fixation activity of root nodules was maintained in all the symbiotic systems studied by us, with low values in the stems formation stage and intensive growth in the budding and flowering stages. The highest level of nitrogen fixation and vegetative growth of plants (values of plants green and dry mass, roots and root nodules mass) was established by inoculation of alfalfa line Kishvardy 46 with strain *S. meliloti* AC48. During the growing season the indices of the mass of nodules formed on the roots of these plants were higher by 1.8–2.3 times, the green mass by 1.2–1.6 times and the height of the plants 1.2–1.4 times as compared to the control. In the flowering stages the nitrogen-fixation activity of the symbiotic complex of plants of the Kishvardy line 27 and nodule bacteria *S. meliloti* AC48 exceeded the values in the symbiotic systems formed with the participation of the same strain and plants of the Ziguen and Vertus lines by 13.0 and 39.4 %. The lowest values of nitrogen fixation activity were observed by inoculation of plants of the Vertus and Ziguen lines with active strains *S. meliloti* AC48 and AC88 compared to the symbioses formed by the plants of the Kishvardy lines 27 and 46, as well as of the control-variety Yaroslavna with the noted strains. A stimulating effect of inoculation of alfalfa seeds of different genotypes on the growth and development of plants was noted, as evidenced by the positive dynamics of the increase in above-ground mass, the accumulation of dry matter and higher than the control values (indicators) of plant height during the growing season.

Key words: *Sinorhizobium meliloti*, nitrogen fixation, inoculation, alfalfa, above-ground mass of plants, self-fertile lines.

About the authors:

P.P. Pukhtaievych – Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine, Vasylykivska St., 31/17, Kyiv, Ukraine, 03022, azot@ifrg.kiev.ua, <https://orcid.org/0000-0002-6179-6239>

K.P. Kukol – Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine, Vasylykivska St., 31/17, Kyiv, Ukraine, 03022, katerinakukol@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2889-9957>

N.A. Vorobey – Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine, Vasylykivska St., 31/17, Kyiv, Ukraine, 03022, n-vorobey@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-6039-5409>

S.Ya. Kots – Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine, Vasylykivska St., 31/17, Kyiv, Ukraine, 03022, kots@ifrg.kiev.ua, <https://orcid.org/0000-0002-3477-793X>

Реакция самофертильных линий люцерны на инокуляцию клубеньковыми бактериями

П.П. Пухтаєвич, Е.П. Кукол, Н.А. Воробей, С.Я. Коць

В условиях модельного вегетационного опыта изучали реакцию самофертильных линий люцерны Кишварди 46, Кишварди 27, Вертус и Зигуен на инокуляцию клубеньковыми бактериями *Sinorhizobium meliloti* AC48 и AC88. В результате исследований установлено, что интенсивность ассимиляции N_2 симбиотическими системами, созданными при участии различных генотипов люцерны и активных штаммов *S. meliloti*, является одним из основных факторов, который влияет на урожай вегетативной массы этой важной кормовой культуры. Самофертильные линии растений *Medicago sativa* L., инокулированные различными штаммами ризобий, характеризовались более высокими, по сравнению с контрольными растениями люцерны сорта Ярославна, показателями массы сформированных на корнях клубеньков. Во всех исследуемых нами симбиотических системах сохранялась традиционная динамика азотфиксирующей активности корневых клубеньков – с низкими значениями в фазу стеблевания и интенсивным ростом к фазам бутонизации и цветения. Самый высокий уровень азотфиксации и вегетативного роста растений (показатели зеленой и сухой массы растений, массы корней и корневых клубеньков) установлен при инокуляции люцерны линии Кишварди 46 штаммом *S. meliloti* AC48. У растений этого варианта показатели массы сформированных на корнях клубеньков были больше по сравнению с контролем в 1,8–2,3 раза, зеленой массы в 1,2–1,6 раза и высоты растений 1,2–1,4 раза в течение вегетации. Азотфиксирующая активность симбиотического комплекса растений линии Кишварди 27 и клубеньковых бактерий *S. meliloti* AC48 в фазу цветения превышала показатели симбиотических систем,

сформированных с участием этого же штамма и растений линий Зигуен и Вертус на 13,0 и 39,4 %. При инокуляции растений линий Вертус и Зигуен активными штаммами *S. meliloti* AC48 и AC88 отмечены самые низкие показатели азотфиксирующей активности, по сравнению с симбиозом, сформированным растениями линий Кишварди 27 и 46 и сорта-контроля Ярославна с указанными штаммами. Отмечено стимулирующее влияние инокуляции семян люцерны разных генотипов на рост и развитие растений, о чем свидетельствует положительная динамика нарастания надземной массы, накопление сухого вещества и более высокие, по сравнению с контролем, значения (показатели) высоты растений в течение вегетации.

Ключевые слова: *Sinorhizobium meliloti*, азотфиксация, инокуляция, люцерна, надземная масса растений, самофертильные линии.

Об авторах:

П.П. Пухтаевич – Институт физиологии растений и генетики НАН Украины, ул. Васильковская, 31/17, Киев, Украина, 03022, azot@ifrg.kiev.ua, <https://orcid.org/0000-0002-6179-6239>

Е.П. Кукол – Институт физиологии растений и генетики НАН Украины, ул. Васильковская, 31/17, Киев, Украина, 03022, katerinakukol@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2889-9957>

Н.А. Воробей – Институт физиологии растений и генетики НАН Украины, ул. Васильковская, 31/17, Киев, Украина, 03022, n-vorobey@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-6039-5409>

С.Я. Коць – Институт физиологии растений и генетики НАН Украины, ул. Васильковская, 31/17, Киев, Украина, 03022, kots@ifrg.kiev.ua, <https://orcid.org/0000-0002-3477-793X>

Представлено: В.П.Патика / Presented by: V.P.Patyka

Рецензент: В.В.Жмурко / Reviewer: V.V.Zhmurko

Подано до редакції / Received: 03.03.2020