

УДК 633.358:631.54:631.84

Симбіотична взаємодія гороху озимого

Н. В. Новицька , О. В. Пономаренко*

Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна, *e-mail: ponomarenko2332@gmail.com

Мета. Оцінити симбіотичні параметри посівів гороху озимого залежно від азотного удобрення та інокуляції насіння в умовах Правобережного Лісостепу України. **Методи.** Дослідження проводили в умовах відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Агрономічна дослідна станція» (Київська обл.) упродовж 2019–2021 рр. Горох озимий 'НС Мороз' вирощували за схемою двофакторного польового дослідження із застосуванням інокуляції насіння (без інокуляції – контроль; інокулянт Оптімайз Пульс) та внесенням різних доз азотних добрив в основне (осіннє) удобрення + підживлення на початку відновлення вегетації (N_0 – контроль, $N_{15} + N_{15}$, $N_{15} + N_{30}$, $N_{15} + N_{45}$, $N_{30} + N_0$, $N_{30} + N_{15}$, $N_{30} + N_{30}$, $N_{45} + N_0$, $N_{45} + N_{15}$, $N_{60} + N_0$). Решта елементів агротехнології були загальноприйнятими для зони вирощування культури. **Результати.** Визначено, що інокуляція насіння Оптімайз Пульс позитивно впливає на формування колоній бульбочкових бактерій. Водночас ефективнішими за впливом на симбіотичні властивості рослин залишались варіанти удобрення з мінімальним унесенням азоту (N_{15}) в основне удобрення. Зі зростанням дози основного удобрення зменшувалась як загальна чисельність бульбочок на кореневій системі рослин, так і їхня маса. Установлено, що фактор інокуляції насіння визначав кількість активних бульбочкових бактерій у фазі бутонізації культури на 35 %, а погодні умови та основне удобрення були приблизно однакові за впливом – 29 та 28 % відповідно. Водночас варіанти підживлення рослин не впливали значно на формування цієї ознаки. **Висновки.** За зростання рівня основного удобрення як кількість, так і маса активних колоній бульбочкових бактерій зменшувалась у міру збільшення дози азотних добрив. Отримані залежності для кількості бульбочок описуються рівнянням $y = -0,1799x + 24,592$, а для їхньої маси – $y = -1,6817x + 258,17$. З огляду на лінійність зниження цих показників отримані рівняння можна використовувати для точного прогнозування стану симбіотичного апарату рослин у разі застосування доз азотних добрив відмінних від тих, які вивчали в досліді. Щодо закономірностей формування симбіотичного потенціалу залежно від удобрення азотом, то кращими варіантами як загального, так і активного потенціалу було застосування основного удобрення в дозі N_{15} з наступним підживленням рослин N_{30-45} .

Ключові слова: коренева система; бульбочкові бактерії; симбіоз; кількість колоній; маса колоній; симбіотичний потенціал.

Вступ

Симбіотична азотфіксація є надзвичайно важливою перевагою бобових культур взагалі та гороху зокрема. Адже таким чином бобові здатні до 80 % забезпечувати власну потребу та у вигляді пожнивних решток залишати до 80 кг/га біологічно фіксованого азоту. Звичайно, що не всі культури здатні згенерувати максимум біологічної фіксації азоту, навіть від сорту до сорту в межах однієї культури ці показники змінюються. Однак, серед польових культур горох відносять до рекордсменів симбіотичної азотфіксації [1, 2].

Для максимальної реалізації симбіотичного потенціалу гороху неабияку роль відіграють ґрунтово-кліматичні умови, вологозабезпечення та аерація ґрунту, забезпечення рослин макро- та мікроелементами, гарна вірулентність сортів гороху штамми бульбочкових бактерій та правильно дібрані види і штами бактерій, які фіксують вільний азот атмосфери. Тому реакція гороху на всі ці фактори досить важлива до вивчення, оскільки неправильний добір елементів

технології може звести нанівець сподівання щодо отримання доброго рівня забезпечення культури біологічно фіксованим азотом, а значить і високий урожай [3, 4].

За даними дослідників визначено, що врожай гороху на варіантах інокуляції насіння навіть у посушливий вегетаційний період на 7 % перевищує аналогічні варіанти без інокуляції насіння, а в кращі роки за погодними умовами може бути більшим на 26 % за контрольні варіанти. А отже, зважаючи на строкатість приросту врожаю від застосування інокуляції, варто докладніше визначити особливості процесів симбіотичної азотфіксації [5, 6].

Серед факторів ґрунтового середовища, необхідних для успішного функціонування симбіотичних мікроорганізмів, дослідники називають такі, як: рН ґрунту не нижче 4 і не вище 11, оптимально 6–7; гарна аерація ґрунту, мінімум глинистих запливаючих часточок у фізичній масі; добрий рівень волого забезпечення, адже в критичні за вологою роки рослини бобових різко зменшують живлення азотфіксуювальних мікроорганізмів [7, 8].

Біологічна фіксація азоту розпочинається після інфікування коренів рослин та утворення в місцях контакту з бактеріями коренових потовщень – бульбочок, у яких містяться колонії бульбочкових бактерій. Такі зміни структури кореневої системи рослин відбуваються на ранніх стадіях росту і вже в період з 10–15-ї доби рослини активно постачають бактеріям цукри, а ті в свою чергу утворюють леггемоглобін і розпочинають активне засвоєння азоту з повітря [9, 10].

Паралельно з тим, як рослини гороху надають мікроорганізмам живлення у відповідь вони отримують біологічно фіксований азот, однак лише частина його засвоюється рослинами, а певна кількість накопичується в бульбочках. Такі біологічні особливості азотфіксації бобових роблять їх цінними попередниками, оскільки запаси фіксованого азоту вже містяться в ґрунті, а не тільки в соломі, яка за неправильної агротехніки та мікробіологічного стану ґрунту може розкладатись з вивільненням азоту в атмосферу [11, 12].

Кількість колоній бульбочкових бактерій істотно змінюється залежно від того, який штам для інокуляції використовуємо, ґрунтово-кліматичних умов, а також особливостей сорту. Зокрема, у середньому цей показник варіює від 0 до 120 штук, і особливо непередбачуваний за використання диких штамів або частково сумісних із культурою. Також дикі штами можуть формувати значно більшу кількість неактивних колоній бульбочкових бактерій у яких відсутній леггемоглобін [13, 14].

В онтогенезі гороху кількість колоній бульбочкових бактерій зростає до фази цвітіння – початку наливання бобів, а після того всі зусилля рослини спрямовані на формування та налив насіння. Відповідно обсяги живлення рослиною колоній бульбочкових бактерій зменшуються, від чого частина їх переходить в неактивний стан, а частина відмирає. Цей процес відносно плавний зі зростанням інтенсивності відмирання колоній бульбочкових бактерій у часі від цвітіння до досягання рослин [15, 16].

Ефективність застосування азотного удобрення разом з процесами біологічної фіксації азоту викликає наукові дискусії і в наш час. Побутує думка, що засвоєння мінерального азоту кардинально впливає на зменшення інтенсивності обсягів симбіотичної фіксації. Адже це складніший шлях отримання азоту для рослини, тому за достатнього рівня мінерального живлення кількість та маса колоній бульбочкових бактерій розташованих на коренях рослин суттєво зменшується [17].

Однак, науковці стверджують що це далеко не так, оскільки для поглинання азоту з ґрунту рослини повинні витрачати енергію на ріст кореневої системи, а також на власне поглинання молекули азоту. А тому застосування мінерального азоту з нормами 20–40 кг/га діючої речовини аж ніяк не впливає на інтенсивність симбіотичної азотфіксації, у деяких випадках ще й активізує її. Також такі дози азотного удобрення слабо впливають на формування врожаю гороху [18].

А тому поширеними є рекомендації щодо застосування малих доз удобрення гороху на бідних та слабо окультурених ґрунтах – вносячи його одночасно із сівбою. Такі рекомендації знаходять своє обґрунтування ще й у тому, що біологічна фіксація азоту розпочинається мінімум через півтора тижні після появи сходів культури, а її ефективність на початкових етапах вегетації мінімальна і не забезпечує потреб рослин у достатній мірі [19].

Водночас застосування удобрення гороху азотними добривами в дозі 80–120 кг/га сприяє інтенсивному росту вегетативної маси та пригнічує формування симбіотичного апарату. Фактично мінеральні азотні добрива не впливають на кількість бульбочок до фази 5–6 утворення листочків, а далі відбувається суттєве пригнічення та руйнування симбіотичного апарату рослин гороху за застосування підвищених доз азотного мінерального живлення [20].

Мета дослідження – оцінити симбіотичні параметри посівів гороху озимого залежно від азотного удобрення та інокуляції насіння в умовах Правобережного Лісостепу України.

Матеріали та методика дослідження

Симбіотичні параметри посівів гороху озимого залежно від впливу інокуляції та азотного удобрення вивчали у досліді, що закладався у відокремленому підрозділі Національного університету біоресурсів і природокористування України на базі ННЛ «Демонстраційне колекційне поле сільськогосподарських культур» ВП «Агрономічна дослідна станція» впродовж 2019–2021 рр.

Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем карбонатний грубопилювато-легкосуглинковий на лесовидному суглинку. Цей тип ґрунту має середній уміст гумусу в орному шарі (4,58 %), середньою забезпеченістю рухомим фосфором і обмінним калієм та низькою – легкогідролізованим азотом.

Схема досліду передбачала такі фактори, як *інокуляція насіння*: 1. Без інокуляції (контроль), 2. Інокуляція Оптімайз Пульс; та *азотне удобрення*: 1. N_0 (контроль), 2. $N_{15} + N_{15}$, 3. $N_{15} + N_{30}$, 4. $N_{15} + N_{45}$, 5. $N_{30} + N_0$, 6. $N_{30} + N_{15}$, 7. $N_{30} + N_{30}$, 8. $N_{45} + N_0$, 9. $N_{45} + N_{15}$, 10. $N_{60} + N_0$.

Площа посівної ділянки – 25 м², облікової – 20 м². Повторність досліду – трикратна, розміщення варіантів – рендомізоване. Попередник – пшениця озима. Висівали озимий горох в другій половині вересня з нормою висіву 1,2 млн схожих насінин на 1 га, ширина міжрядь – 15 см, глибина сівби – 4–4,5 см.

Вирощували 'НС Мороз', перший озимий сорт білкового гороху сербської селекції, призначений для виробництва зерна. Рік реєстрації – 2016, рекомендовані зони вирощування – Степ, Лісостеп, Полісся. Дуже ранній сорт, створений методом добору гібридної популяції.

Для удобрення озимого гороху використовували фосфорно-калійні добрива з нормою внесення 45 кг/га восени та азотні добрива відповідно схеми досліду. Весняне застосування азотних добрив згідно зі схемою досліду проводили на початку відновлення вегетації аміачною селітрою у нормі 15–45 кг/га д.р. Інші елементи технології вирощування культури були загальноприйнятими для зони вирощування.

Погодні умови в роки проведення досліджень мали відхилення від середньобагаторічних показників, але цілком забезпечували успішний ріст і розвиток гороху озимого, перезимівлю посівів та формування ними високого рівня продуктивності.

Кількість та масу колоній бульбочкових бактерій (бульбочок на коренях рослин) визначали згідно з методикою Г. С. Посипанова.

Загальний симбіотичний потенціал (тис. кг діб/га) визначали за формулою:

$$\text{ЗСП} = \frac{M_1 + M_2}{2} \times T,$$

де M_1 та M_2 – маса бульбочок, кг/га; T – період між двома обліками, діб.

Активний симбіотичний потенціал (тис. кг діб/га) визначали за формулою:

$$\text{АСП} = \frac{M_1 + M_2}{2} \times T,$$

де: M_1 та M_2 – маса активних бульбочок, кг/га; T – період між двома обліками, діб.

Статистичний аналіз результатів досліджень проводили за допомогою дисперсійного методу з використанням прикладної програми Statistica 6 [21].

Результати досліджень

Дані щодо особливостей формування загальної кількості колоній бульбочкових бактерій на кореневій системі гороху озимого залежно від технології вирощування наведено в таблиці 1.

У фазі бутонізації рослини гороху в середньому по досліді мали 17,3 шт. бульбочок на рослину, а їх маса становила 189,6 г. Проте найбільш цікаві взаємодії були в межах варіантів досліду з та без інокуляції насіння. У середньому варіанти досліду із застосуванням інокулянта Оптімайз Пульс мали на 10,1 шт. на рослину більшу кількість колоній бульбочкових бактерій, а їх маса була на 103,9 г вищою. По суті, інокуляція насіння є визначальним заходом забезпечення гарного рівня симбіотичної взаємодії і навіть наявність великої кількості в ґрунті штамів симбіотичних мікроорганізмів не дає змоги отримати близького за значеннями ефекту взаємодії з рослинами гороху.

**Формування загальної кількості колоній бульбочкових бактерій на кореневій системі
гороху озимого залежно від технології вирощування, шт./роsl. (середнє за 2019–2021 рр.)**

Інокуляція насіння	Азотне удобрення	Фенологічна фаза					
		бутонізація		цвітіння		наливання бобів	
		кількість бульбочок	сира маса бульбочок	кількість бульбочок	сира маса бульбочок	кількість бульбочок	сира маса бульбочок
Без інокуляції	N ₀	12,5	135,9	25,0	195,0	29,5	247,6
	N ₁₅ + N ₁₅	13,1	145,9	27,2	200,6	32,1	254,8
	N ₁₅ + N ₃₀	13,0	144,6	26,7	209,0	31,5	265,5
	N ₁₅ + N ₄₅	13,2	146,9	26,4	200,7	31,1	254,9
	N ₃₀ + N ₀	12,6	144,6	26,3	205,3	31,1	260,8
	N ₃₀ + N ₁₅	12,2	140,2	25,7	196,0	30,3	248,9
	N ₃₀ + N ₃₀	12,2	138,5	24,6	195,0	29,1	247,7
	N ₄₅ + N ₀	11,9	131,0	23,9	184,2	28,2	234,0
	N ₄₅ + N ₁₅	11,0	127,3	23,3	179,4	27,5	227,9
Інокуляція Оптімйз Пульс	N ₆₀ + N ₀	10,6	121,4	23,0	174,2	27,2	221,2
	N ₀	23,5	251,7	35,0	403,1	41,3	511,9
	N ₁₅ + N ₁₅	24,3	255,1	36,2	422,3	42,7	536,3
	N ₁₅ + N ₃₀	24,9	260,2	36,6	429,0	43,1	544,8
	N ₁₅ + N ₄₅	25,0	256,8	35,0	422,7	41,2	536,8
	N ₃₀ + N ₀	22,9	246,4	35,0	415,6	41,3	527,9
	N ₃₀ + N ₁₅	21,9	244,1	30,8	397,3	36,3	504,6
	N ₃₀ + N ₃₀	21,0	238,3	31,3	396,0	36,9	502,9
	N ₄₅ + N ₀	20,7	229,3	30,1	388,0	35,5	492,8
HIP _{0,05}	N ₄₅ + N ₁₅	19,6	221,0	29,4	380,4	34,7	483,1
	N ₆₀ + N ₀	19,3	212,5	28,8	373,9	34,0	474,9
HIP _{0,05}		1,0	12,3	1,8	16,8	2,5	23,0

Щодо диверсифікації показників у межах дослідів з варіантами удобрень, то кращим формуванням більшої кількості та маси бульбочок було застосування дози основного удобрення азотом 15 кг/га, а от за збільшення її навіть до рівня 30 кг/га сприяло тому, що навіть у варіантах без інокуляції насіння кількість бульбочок була на 0,8 шт. меншою, а за інокуляції на 2,8 шт./рослину. За зростання рівня удобрення до 45 та 60 кг/га отримано на 1,7 та 2,5 шт. менше бульбочок у неінокульованих варіантах та 4,6 та 5,5 шт./рослину у варіантах з інокуляцією.

Аналогічно за збільшення основного удобрення до 30 кг/га навіть у варіантах без інокуляції насіння маса бульбочок була на 4,7 г меншою, а за інокуляції на 14,4 г відповідно. За зростання основного удобрення до 45 та 60 кг/га отримано на 16,7 та 24,4 г меншу масу бульбочок у неінокульованих варіантах та на 32,2 та 44,8 г відповідно у варіантах з інокуляцією.

Окрім того, варіанти додаткового удобрення (не основного внесення азотних добрив) істотно не впливали на зміну кількості бульбочок на рослинах та їхню масу. Вважаємо, що це пов'язано із зовсім іншою активністю використання азоту в період його максимальної потреби навесні. Тому доволі короткий час, відведений на засвоєння азоту мінеральних добрив, не міг істотно вплинути на динаміку формування кількості та маси колоній бульбочкових бактерій на коренях рослин. А от основне удобрення створює ситуацію з достатньою кількістю іонів азоту в ґрунті із самого початку росту й розвитку рослин – на час формування колоній бульбочкових бактерій на коренях.

У фазі цвітіння рослин гороху, у середньому варіанти взаємодій висвітлені у фазі бутонізації загалом збереглися й варіанти дослідів із застосуванням інокулянта Оптімйз Пульс мали на 7,6 шт. на рослину більшу кількість колоній бульбочкових бактерій, а їхня маса була на 208,9 г вищою.

Аналогічно кращим щодо формування більшої кількості та маси бульбочок було застосування дози основного удобрення азотом 15 кг/га, а вже навіть за збільшення її до рівня 30 кг/га у варіантах без інокуляції насіння кількість бульбочок була на 1,2 шт. меншою, а за інокуляції меншою на 3,5 шт./рослину. За зростання рівня удобрення до 45 та 60 кг/га отримано на 3,2 та 3,7 шт. менше бульбочок у неінокульованих варіантах та 6,1 та 7,1 шт./рослину у варіантах з інокуляцією. Відповідно за збільшення основного удобрення до 30 кг га навіть у варіантах без інокуляції насіння маса бульбочок була на 4,7 г меншою, а за інокуляції на 21,7 г меншою відповідно. За зростання основного удобрення до 45 та 60 кг/га отримано на 21,6 та 29,3 г меншу масу бульбочок у неінокульованих варіантах та на 40,4 та 50,8 г у варіантах з інокуляцією.

Також аналогічні закономірності були збережено й у фазі початку наливання бобів гороху: у середньому по досліді в разі застосування інокулянта Оптімайз Пульс рослини мали на 9,0 шт. на рослину більшу кількість колоній бульбочкових бактерій, а їхня маса була на 265,3 г вищою.

Аналогічно кращими з формування кількості та маси бульбочок були варіанти застосування дози основного удобрення 15 кг/га, а за зростання удобрення до 45 та 60 кг/га отримано на 3,7 та 4,4 шт. на не інокульованих варіантах та на 7,2 та 8,4 шт./рослину менше бульбочок на варіантах з інокуляцією. Також на цих варіантах на 27,4 та 37,2 г та 51,4 та 64,5 г була менша маса бульбочок відповідно. Тобто, фактично впродовж активного періоду росту й розвитку колоній бульбочкових бактерій на кореневій системі гороху озимого збереглися закономірності по впливу доз мінеральних добрив на одному й тому ж рівні. Кращими за впливом на симбіотичні властивості рослин залишались варіанти удобрення з мінімальним внесенням азоту в основне удобрення, не вище 15 кг/га в діючій речовині. А по мірі зростання дози основного удобрення зменшувалась як загальна чисельність бульбочок на кореневій системі рослин, так і їхня маса.

Отримані закономірності узгоджуються з даними інших вчених, що фіксують як основний час найсприятливіший для створення симбіотичних взаємодій бульбочкових бактерій з рослинами гороху період отримання повних сходів. Тобто на цей час коренева система найбільш схильна до симбіозу, вона активно формується та здатна утворювати бульбочки в місці проникнення бульбочкових бактерій у кореневі волоски. А от праці науковців, у яких викладено дані, що показують значне зростання кількості колоній бульбочкових бактерій на пізніх етапах росту й розвитку рослин, нам не траплялись. Тобто по суті основне удобрення виступає модифікатором симбіотичних взаємодій гороху з азотфіксувальними мікроорганізмами, тоді як подальші підживлення рослин не вносять критичних змін у сформований рівень симбіозу.

Однак наявність колоній бульбочкових бактерій на коренях рослин не є індикатором їх ефективного симбіозу та накопичення біологічно фіксованого азоту. Універсальним мірилом ефективності роботи виступає чисельність активних колоній бульбочкових бактерій, у яких присутній леггемоглобін, здатний фіксувати азот з повітря. Саме інформація про такі колонії бактерій дає змогу повніше оцінити стан симбіозу між рослинами й мікроорганізмами та показати ефективність впливу досліджуваних агротехнічних заходів не тільки на рослини культури, а й на пов'язані з ними мікроорганізми.

Дані щодо особливостей формування активних колоній бульбочкових бактерій на кореневій системі гороху озимого залежно від технології вирощування наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Формування активних колоній бульбочкових бактерій на кореневій системі гороху озимого залежно від технології вирощування, шт./роsl. (середнє за 2019–2021 рр.)

Інокуляція насіння	Азотне удобрення	Фенологічна фаза					
		бутонізація		цвітіння		наливання бобів	
		кількість бульбочок	сира маса бульбочок	кількість бульбочок	сира маса бульбочок	кількість бульбочок	сира маса бульбочок
Без інокуляції	N ₀	8,7	95,2	17,5	136,5	18,0	151,6
	N ₁₅ + N ₁₅	9,4	105,1	19,6	144,4	19,6	156,0
	N ₁₅ + N ₃₀	9,4	104,1	19,2	150,5	19,3	162,6
	N ₁₅ + N ₄₅	9,3	102,8	18,5	140,5	19,1	156,1
	N ₃₀ + N ₀	8,7	99,8	18,4	143,7	19,0	159,7
	N ₃₀ + N ₁₅	8,4	96,7	17,7	135,2	18,5	152,4
	N ₃₀ + N ₃₀	8,3	94,2	16,7	132,6	17,8	151,7
	N ₄₅ + N ₀	7,7	85,2	16,7	129,0	17,3	143,3
	N ₄₅ + N ₁₅	6,9	80,2	15,4	118,4	16,8	139,5
Інокуляція Оптімайз Пульс	N ₆₀ + N ₀	6,4	72,9	14,7	111,5	16,6	135,5
	N ₀	22,6	241,6	33,9	391,0	25,3	313,5
	N ₁₅ + N ₁₅	23,3	244,9	35,3	412,6	26,1	328,4
	N ₁₅ + N ₃₀	23,4	244,6	35,8	420,4	26,4	333,6
	N ₁₅ + N ₄₅	22,5	231,1	33,2	401,5	25,3	328,7
	N ₃₀ + N ₀	20,2	216,8	32,9	390,7	25,3	323,2
	N ₃₀ + N ₁₅	19,1	212,4	29,2	377,5	22,2	309,0
	N ₃₀ + N ₃₀	17,6	200,1	28,1	356,4	22,6	307,9
	N ₄₅ + N ₀	16,6	183,5	26,8	345,3	21,8	301,7
HIP _{0,05}	N ₄₅ + N ₁₅	15,1	170,1	25,6	331,0	21,2	295,8
	N ₆₀ + N ₀	14,3	157,3	24,2	314,1	20,8	290,8
HIP _{0,05}		0,8	11,0	1,4	15,3	2,2	20,3

Аналіз формування активних бульбочок у фазі бутонізації показує нам, що рослини гороху в середньому по досліді мали 13,9 шт. бульбочок на рослину, а їхня маса склала 151,9 г. Однак, у разі застосування інокулянта Оптімайз Пульс на горосі формувалось на 11,1 шт. на рослину більша кількість колоній бульбочкових бактерій, а їхня маса була на 116,6 г вищою.

Аналогічно загальній чисельності бульбочок кращим щодо формування більшої кількості та маси активних бульбочок були варіанти застосування дози основного удобрення азотом 15 кг/га, а от за збільшення її до 30 кг/га у варіантах без інокуляції насіння кількість бульбочок була меншою на 0,9, а за інокуляції – на 4,1 шт./рослину. Зростання рівня удобрення до 45 та 60 кг/га сприяло зменшенню на 2,0 та 3,0 шт. бульбочок у неінокульованих варіантах та на 7,3 та 8,8 шт./рослину у варіантах з інокуляцією. При цьому за основного удобрення 30 кг га навіть у варіантах без інокуляції насіння маса бульбочок була на 7,1 г меншою, а за інокуляції на 30,4 г відповідно, а за зростання удобрення до 45 та 60 кг/га на 21,3 та 31,1 г у неінокульованих варіантах та на 63,4 та 82,9 г у варіантах з інокуляцією меншою.

Отже, варіанти інокуляції та удобрення підсилили взаємодії, висвітлені для загальної чисельності колоній бульбочкових бактерій (рис. 1).

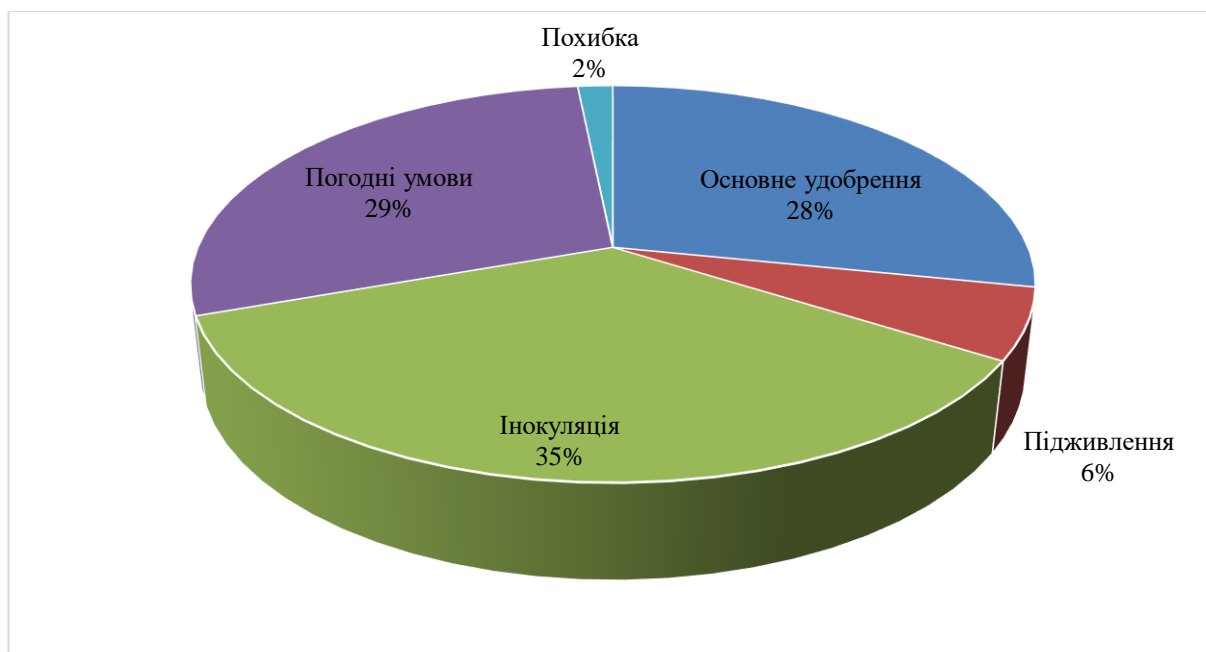


Рис. 1. Часта впливу факторів на кількість активних бульбочкових бактерій у фазі бутонізації

Аналіз факторів впливу засвідчує значну роль у формуванні кількості активних колоній бульбочкових бактерій власне фактора інокуляції насіння (35 %), а погодні умови та основне удобрення приблизно однакові за впливом (29 та 28 %). А от варіанти підживлення рослин не впливали значно на формування цієї ознаки, що було доведено нами попередньо при аналізі відхилень показників.

Досліджено, що у фазі цвітіння рослин гороху, в середньому варіанти взаємодій були аналогічні фазі бутонізації і за застосування інокулянта Оптімайз Пульс рослини мали на 13,1 шт. на рослину більшу кількість колоній бульбочкових бактерій, а їхня маса була на 239,8 г вищою. При цьому кращим варіантом було застосування дози основного удобрення азотом 15 кг/га, а збільшення її до 30 кг га у варіантах без інокуляції насіння викликало зменшення кількості бульбочок на 1,5 шт., а за інокуляції – на 4,7 шт./рослину. За рівня удобрення 45 та 60 кг/га отримано на 3,0 та 4,3 шт. менше бульбочок у неінокульованих варіантах та 8,6 та 10,6 шт./рослину у варіантах з інокуляцією.

Установлено, що збільшення основного удобрення до 30 кг га чинило вплив на масу активних бульбочок і без інокуляції насіння вона була на 8,0 г меншою, а за інокуляції на 36,7 г меншою відповідно. За зростання основного удобрення до 45 та 60 кг/га отримано на 21,4 та 33,7 г меншу масу бульбочок у неінокульованих варіантах та на 73,4 та 97,4 г у варіантах з інокуляцією.

У фазі початку наливання бобів гороху в середньому по досліді в разі застосування інокулянта Оптімайз Пульс рослини мали на 5,5 шт. на рослину більшу кількість колоній активних бульбочкових бактерій, а їхня маса була на 162,4 г вищою. Однак, загалом чисельність колоній активних бульбочкових бактерій у цій фазі значно зменшилась по відношенню до загальної їх кількості. Причому це якраз підтверджується і даними інших вчених, що після цвітіння частина колоній бульбочкових бактерій втрачає свої активні симбіотичні функції. Тобто відмирання колоній бульбочкових бактерій можливе лише за відмирання частин кореневої системи гороху, що викликано віковими змінами, а от самим дієвим механізмом зменшення навантаження з живлення колоній азотфіксуювальних мікроорганізмів для гороху залишається переведення їх у неактивний стан.

Також ми визначили, що кращими щодо формування кількості та маси бульбочок були варіанти застосування дози основного удобрення 15 кг/га, а за зростання удобрення до 45 та 60 кг/га отримано на 2,3 та 2,7 шт. у неінокульованих варіантах та на 4,4 та 5,1 шт./рослину менше бульбочок у варіантах з інокуляцією. Також у цих варіантах на 16,8 та 22,8 г та 31,4 та 39,5 г була менша маса бульбочок відповідно.

Також проаналізуємо закономірності формування кількості колоній бульбочкових бактерій (рис. 2) та їх маси (рис. 3) у варіантах досліді з інокуляцією під впливом застосування основного удобрення азотом.

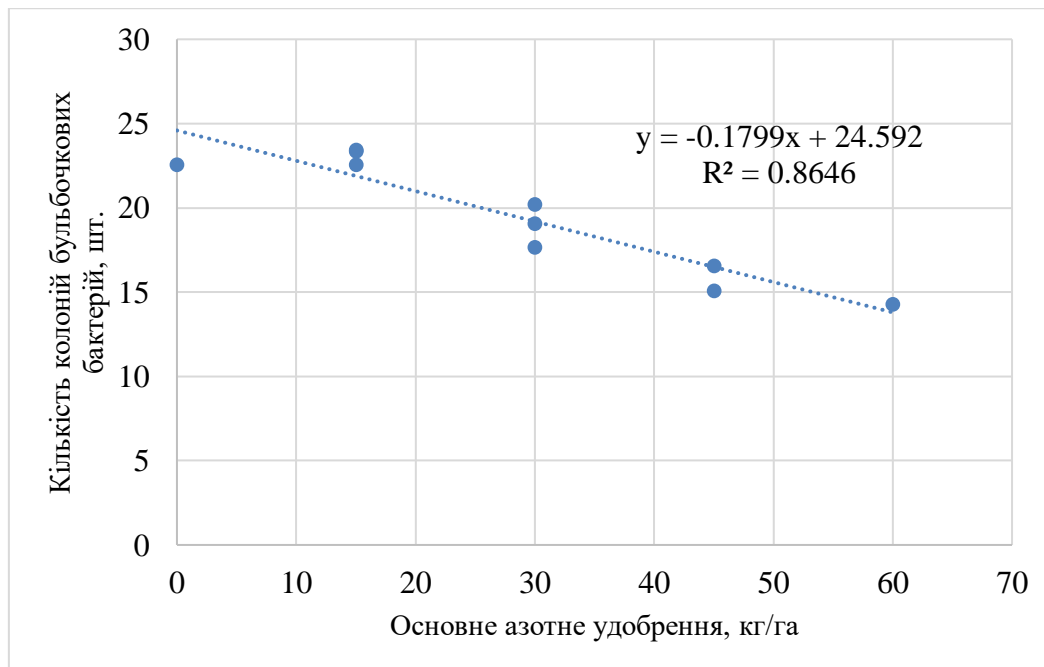


Рис. 2. Регресійна залежність кількості колоній активних бульбочкових бактерій від впливу дози основного азотного удобрення рослин гороху озимого

Як бачимо з даних графічного зображення регресійних залежностей при зростанні рівня основного удобрення як кількість, так і маса активних колоній бульбочкових бактерій зменшується в міру збільшення дози азотних добрив. Отриману залежність для кількості бульбочок можна описати рівнянням $y = -0,1799x + 24,592$, а для їх маси – $y = -1,6817x + 258,17$. А з огляду на лінійність зниження цих показників можемо використовувати отримані рівняння для точного прогнозування стану симбіотичного апарату рослин за застосування доз азотних добрив відмінних чим досліджувались у нашому досліді.

Попри детальне оцінювання кількості та маси колоній бульбочкових бактерій найбільш ефективним є визначення загального й активного симбіотичного потенціалу посівів гороху озимого, як універсального вираження ефективності симбіозу рослин.

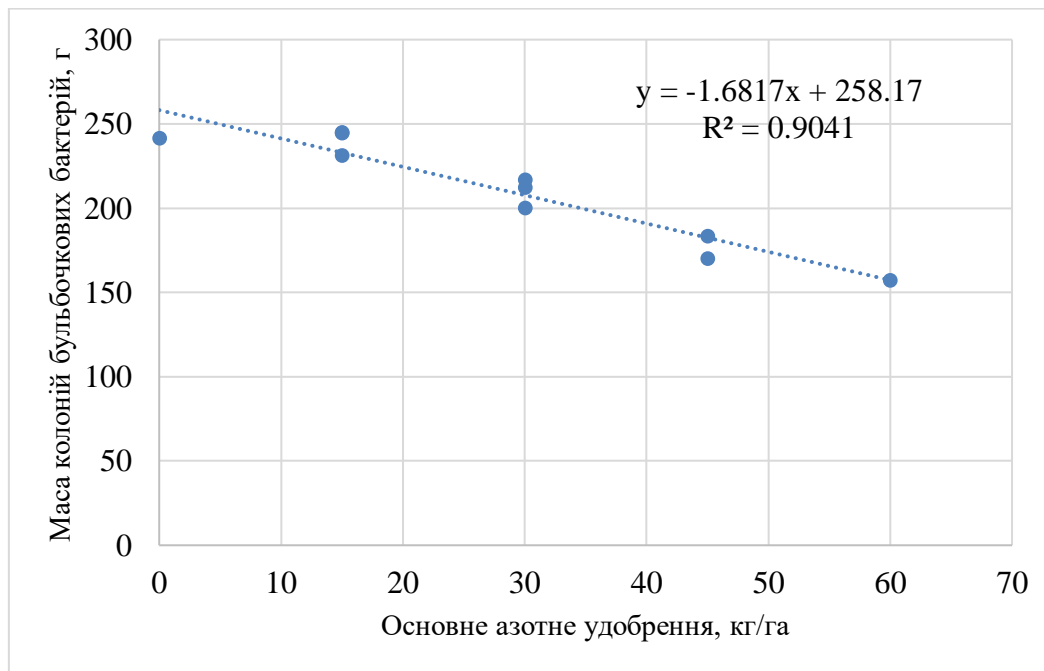


Рис. 3. Регресійна залежність маси колоній активних бульбочкових бактерій від впливу дози основного азотного удобрення рослин гороху озимого

Дані щодо особливостей симбіотичного потенціалу посівів гороху озимого залежно від технології вирощування наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Симбіотичний потенціал посівів гороху озимого залежно від технології вирощування, тис. кг × діб/га (середнє за 2019–2021 рр.)

Інокуляція насіння	Азотне удобрення	Фенологічна фаза			
		бутонізація – цвітіння		цвітіння – наливання бобів	
		загальний симбіотичний потенціал	активний симбіотичний потенціал	загальний симбіотичний потенціал	активний симбіотичний потенціал
Без інокуляції	N ₀	2,15	1,51	2,66	1,73
	N ₁₅ + N ₁₅	2,43	1,75	2,73	1,80
	N ₁₅ + N ₃₀	2,65	1,91	3,08	2,03
	N ₁₅ + N ₄₅	2,78	1,95	3,19	2,08
	N ₃₀ + N ₀	2,45	1,70	2,80	1,82
	N ₃₀ + N ₁₅	2,35	1,62	2,67	1,73
	N ₃₀ + N ₃₀	2,67	1,81	2,88	1,85
	N ₄₅ + N ₀	2,05	1,39	2,51	1,63
	N ₄₅ + N ₁₅	2,30	1,49	2,65	1,68
	N ₆₀ + N ₀	1,92	1,20	2,37	1,48
Інокуляція Оптімайз Пульс	N ₀	4,58	4,43	5,49	4,23
	N ₁₅ + N ₁₅	5,08	4,93	6,23	4,82
	N ₁₅ + N ₃₀	5,51	5,32	6,82	5,28
	N ₁₅ + N ₄₅	5,44	5,06	6,72	5,11
	N ₃₀ + N ₀	4,63	4,25	5,66	4,28
	N ₃₀ + N ₁₅	4,81	4,42	5,86	4,46
	N ₃₀ + N ₃₀	4,76	4,17	6,29	4,65
	N ₄₅ + N ₀	4,63	3,97	5,29	3,88
	N ₄₅ + N ₁₅	4,21	3,51	5,18	3,76
	N ₆₀ + N ₀	4,40	3,54	5,09	3,63

Якщо аналізувати в цілому загальний симбіотичний потенціал посівів гороху в період від бутонізації до цвітіння то він становив 3,6 тис. кг × діб/га, а от в інокульованих варіантах було отримано на 2,4 тис. кг × діб/га більший рівень симбіотичного потенціалу, ніж у неінокульованих. Аналогічно можна стверджувати, що активний симбіотичний потенціал інокульованих рослин був на 2,7 тис. кг × діб/га кращим.

Аналізуючи закономірності формування симбіотичного потенціалу залежно від удобрення азотом ми виявили, що загалом по досліді кращими варіантами як загального, так і активного потенціалу було застосування основного удобрення в дозі N_{15} з наступним підживленням рослин N_{30-45} .

Досліджено також, що підживлення не чинило особливого впливу на формування симбіотичного потенціалу посівів, а от за збільшення основного удобрення до 30 кг/га загальний симбіотичний потенціал зменшувався на 0,13 тис. кг \times діб/га а от подальше збільшення рівня удобрення викликало зменшення цього показника на 0,44 та 0,70 тис. кг \times діб/га відповідно. При цьому у варіантах з інокуляцією насіння загальний симбіотичний потенціал при зростанні удобрення зменшувався на 0,61 тис. кг \times діб/га (30 кг/га), 0,92 тис. кг \times діб/га (45 кг/га) та 0,95 тис. кг \times діб/га (60 кг/га).

Активний симбіотичний потенціал в період з бутонізації до цвітіння у неінокульованих варіантах за норми удобрення 30 кг/га зменшився на 0,15 тис. кг \times діб/га порівняно з варіантом удобрення 15 кг/га, а за удобрення 45 та 60 кг/га зменшився на 0,43 та 0,67 тис. кг \times діб/га. При цьому на інокульованих варіантах отримано зниження показника на 0,82; 1,37 та 1,57 тис. кг \times діб/га відповідно до дози основного удобрення.

Установлено, що в період від цвітіння до наливання бобів загальний симбіотичний потенціал посівів гороху становив 4,3 тис. кг \times діб/га, а от на інокульованих варіантах було отримано на 3,1 тис. кг \times діб/га більший, ніж у неінокульованих, відповідно активний симбіотичний потенціал інокульованих посівів був на 2,6 тис. кг \times діб/га кращим.

Також установлено, що за зростання рівня основного удобрення до 30 кг/га загальний симбіотичний потенціал зменшувався на 0,22 тис. кг \times діб/га, а от подальше збільшення удобрення викликало зменшення цього показника на 0,42 та 0,63 тис. кг \times діб/га відповідно. При цьому у варіантах з інокуляцією насіння загальний симбіотичний потенціал при зростанні удобрення зменшувався на 0,65 тис. кг \times діб/га (30 кг/га), 1,35 тис. кг \times діб/га (45 кг/га) та 1,50 тис. кг \times діб/га (60 кг/га).

Також ми визначили, що активний симбіотичний потенціал у період з цвітіння до початку наливання бобів у неінокульованих варіантах за норми удобрення 30 кг/га зменшився на 0,17 тис. кг \times діб/га порівняно з варіантом удобрення 15 кг/га, а за удобрення 45 та 60 кг/га зменшився на 0,32 та 0,49 тис. кг \times діб/га. При цьому в інокульованих варіантах отримано зниження показника на 0,60; 1,25 та 1,44 тис. кг \times діб/га відповідно.

Висновки

Інокуляція насіння препаратом Оптімайз Пульс позитивно впливає на формування колоній бульбочкових бактерій. Водночас кращими щодо впливу на симбіотичні властивості рослин залишались варіанти удобрення з мінімальним унесенням азоту в основне удобрення – не вище 15 кг/га в діючій речовині. У міру зростання дози основного удобрення зменшувалась як загальна чисельність бульбочок на кореневій системі рослин, так і їхня маса. Зокрема, фактор інокуляції насіння у фазі бутонізації визначав кількість активних бульбочкових бактерій на 35 %, а погодні умови та основне удобрення приблизно однакові за впливом (29 та 28 %). Варіанти підживлення рослин не впливали значно на формування цієї ознаки.

У разі зростанні рівня основного удобрення як кількість, так і маса активних колоній бульбочкових бактерій зменшується в міру збільшення дози азотних добрив. Отриману залежність для кількості бульбочок можна описати рівнянням $y = -0,1799x + 24,592$, а для їх маси – $y = -1,6817x + 258,17$. А з огляду на лінійність зниження цих показників можемо використовувати отримані рівняння для точного прогнозування стану симбіотичного апарату рослин за застосування доз азотних добрив відмінних чим досліджувались у нашому досліді.

Щодо закономірностей формування симбіотичного потенціалу залежно від удобрення азотом, то кращими варіантами як загального, так і активного потенціалу було застосування основного удобрення в дозі N_{15} з наступним підживленням рослин N_{30-45} .

Використана література

1. Belimov A. A., Dodd I. C., Hontzeas N. et al. Rhizosphere bacteria containing ACC deaminase increase yield of plants grown in drying soil via both local and systemic hormone signalling. *New Phytologist*. 2009. Vol. 181, Iss. 2. P. 413–423. doi: 10.1111/j.1469-8137.2008.02657.x

2. Via V. D., Zanetti M. E., Blanco F. How legumes recognize rhizobia. *Plant Signaling & Behavior*. 2016. Vol. 11, Vol. 2. Article e1120396. doi: 10.1080/15592324.2015.1120396
3. Fields S. Global nitrogen: Cycling out of control. *Environmental Health Perspectives*. 2004. Vol. 112, Vol. 10. A556–A563. doi: 10.1289/ehp.112-a556
4. Oldroyd G. E., Murray J. D., Poole P. S., Downie J. A. The rules of engagement in the legume-rhizobial symbiosis. *Annual Review of Genetics*. 2011. Vol. 45. P. 119–144. doi: 10.1146/annurev-genet-110410-132549
5. Poole P., Allaway D. Carbon and nitrogen metabolism in Rhizobium. *Advances in Microbial Physiology*. 2000. Vol. 43. P. 117–163. doi: 10.1016/s0065-2911(00)43004-3
6. White J., Prell J., James E. K., Poole P. Nutrient sharing between symbionts. *Plant Physiology*. 2007. Vol. 144, Iss. 2. P. 604–614. doi: 10.1104/pp.107.097741
7. Cullimore J. V., Bennett M. J. Nitrogen assimilation in the legume root nodule: current status of the molecular biology of the plant enzymes. *Canadian Journal of Microbiology*. 1992. Vol. 38, Iss. 6. P. 461–466. doi: 10.1139/m92-077
8. Gianinazzi-Pearson V. Morphofunctional compatibility in interactions between roots and arbuscular endomycorrhizal fungi: molecular mechanisms, genes and gene expression. *Pathogenesis and Host Specificity in Plant Diseases*, Pergamon / K. Kohmoto, R. P. Singh, U. S. Singh (Eds.). Oxford : Elsevier Science Ltd, 1995. Vol. II. P. 251–263.
9. Gollotte A., Gianinazzi-Pearson V., Gianinazzi S. Immunodetection of infection thread glycoprotein and arabinogalactan protein in wild type *Pisum sativum* (L.) or an isogenic mycorrhiza-resistant mutant interacting with *Glomus mosseae*. *Symbiosis*. 1995. Vol. 18. P. 69–85.
10. Werner D. Symbiosis of plants and microbes. London : Chapman & Hall, 1992. 390 p.
11. Larsen J., Bodker L. Interactions between pea root-inhabiting fungi examined using signature fatty acids. *New Phytologist*. 2001. Vol. 149, Iss. 3. P. 487–493. doi: 10.1046/j.1469-8137.2001.00049.x
12. Sessitsch A., Howieson J. G., Perret X. et al. Advances in Rhizobium research. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2002. Vol. 21, Iss. 4. P. 323–378. doi: 10.1080/0735-260291044278
13. Kent A. D., Triplett E. W. Microbial communities and their interactions in soil and rhizosphere ecosystems. *Annual Review of Microbiology*. 2002. Vol. 56. P. 211–236. doi: 10.1146/annurev.micro.56.012302.161120
14. Kapulnik Y. Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Plant roots: the hidden half* / Y. Waisel, A. Eshel, U. Kafkadi (Eds.). New York, NY : Marcel Dekker Inc., 1991. P. 347–362.
15. Wardle D. A., van der Putten W. H., Biodiversity, ecosystem functioning and above-ground–below-ground linkages. *Biodiversity and Ecosystem Functioning Synthesis and Perspectives* / M. Loreau, S. Naeem, P. Inchausti (Eds.). Oxford, UK : Oxford University Press, 2002. P. 155–168.
16. Ramamoorthy V., Viswanathan R., Raguchander T. et al. Induction of systemic resistance by plant growth promoting rhizobacteria in crop plants against pests and diseases. *Crop Protection*. 2001. Vol. 20. P. 1–11. doi: 10.1016/S0261-2194(00)00056-9
17. Clay K., Holah J. Fungal endophyte symbiosis and plant diversity in successional fields. *Science*. 1999. Vol. 285. P. 1742–1744. doi: 10.1126/science.285.5434.1742
18. Doornbos R. F., van Loon L. C., Bakker P. A. Impact of root exudates and plant defense signaling on bacterial communities in the rhizosphere. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2012. Vol. 32. P. 227–243. doi: 10.1007/s13593-011-0028-y
19. De Bruijn F. J. Biological nitrogen fixation. In *Principles of Plant-Microbe Interactions* / B. Lugtenberg (Ed.). Cham : Springer, 2015. P. 215–224. doi: 10.1007/978-3-319-08575-3_23
20. Hosie A. H. F., Allaway D., Galloway C. S. et al. Rhizobium leguminosarum has a second general amino acid permease with unusually broad substrate specificity and high similarity to branched-chain amino acid transporters (Bra/LIV) of the ABC family. *Journal of Bacteriology*. 2002. Vol. 184, Iss. 15. P. 4071–4080. doi: 10.1128/JB.184.15.4071-4080.2002
21. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6. Київ : ПоліграфКонсалтинг, 2007. 56 с.

References

1. Belimov, A. A., Dodd, I. C., Hontzeas, N., Theobald, J. C., Safronova, V. I., & Davies, W. J. (2008). Rhizosphere bacteria containing ACC deaminase increase yield of plants grown in drying soil via both local and systemic hormone signalling. *New Phytologist*, 181(2), 413–423. doi: 10.1111/j.1469-8137.2008.02657.x
2. Via, V. D., Zanetti, M. E., & Blanco, F. (2015). How legumes recognize rhizobia. *Plant Signaling & Behavior*, 11(2), Article e1120396. doi: 10.1080/15592324.2015.1120396
3. Fields, S. (2004). Global nitrogen: Cycling out of control. *Environmental Health Perspectives*, 112(10), A556–A563. doi: 10.1289/ehp.112-a556

4. Oldroyd, G. E., Murray, J. D., Poole, P. S., & Downie, J. A. (2011). The rules of engagement in the legume-rhizobial symbiosis. *Annual Review of Genetics*, 45, 119–144. doi: 10.1146/annurev-genet-110410-132549
5. Poole, P., & Allaway, D. (2000). Carbon and nitrogen metabolism in Rhizobium. *Advances in Microbial Physiology*, 43, 117–163. doi: 10.1016/s0065-2911(00)43004-3
6. White, J., Prell, J., James, E. K., & Poole, P. (2007). Nutrient sharing between symbionts. *Plant Physiology*, 144(2), 604–614. doi: 10.1104/pp.107.097741
7. Cullimore, J. V., & Bennett, M. J. (1992). Nitrogen assimilation in the legume root nodule: current status of the molecular biology of the plant enzymes. *Canadian Journal of Microbiology*, 38(6), 461–466. doi: 10.1139/m92-077
8. Gianinazzi-Pearson, V. (1995). Morphofunctional compatibility in interactions between roots and arbuscular endomycorrhizal fungi: molecular mechanisms, genes and gene expression. In K. Kohmoto, R. P. Singh, & U. S. Singh (Eds.), *Pathogenesis and Host Specificity in Plant Diseases*, Pergamon (Vol. 2, pp. 251–263). Oxford: Elsevier Science Ltd.
9. Gollotte, A., Gianinazzi-Pearson, V., & Gianinazzi, S. (1995). Immunodetection of infection thread glycoprotein and arabinogalactan protein in wild type *Pisum sativum* (L.) or an isogenic mycorrhiza-resistant mutant interacting with *Glomus mosseae*. *Symbiosis*, 18, 69–85.
10. Werner, D. (1992). *Symbiosis of plants and microbes*. London: Chapman & Hall.
11. Larsen, J., & Bodker, L. (2001). Interactions between pea root-inhabiting fungi examined using signature fatty acids. *New Phytologist*, 149(3), 487–493. doi: 10.1046/j.1469-8137.2001.00049.x
12. Sessitsch, A., Howieson, J. G., Perret, X., Antoun, H., & Martínez-Romero, E. (2002). Advances in Rhizobium research. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 21(4), 323–378. doi: 10.1080/0735-260291044278
13. Kent, A. D., & Triplett, E. W. (2002). Microbial communities and their interactions in soil and rhizosphere ecosystems. *Annual Review of Microbiology*, 56, 211–236. doi: 10.1146/annurev.micro.56.012302.161120
14. Kapulnik, Y. (1991). Plant-growth-promoting rhizobacteria. In Y. Waisel, A. Eshel, & U. Kafkadi (Eds.), *Plant roots: the hidden half* (pp. 347–362). New York, NY: Marcel Dekker Inc.
15. Wardle, D. A., & van der Putten, W. H. (2002). Biodiversity, ecosystem functioning and above-ground–below-ground linkages. In M. Loreau, S. Naeem, & P. Inchausti (Eds.), *Biodiversity and Ecosystem Functioning Synthesis and Perspectives* (pp. 155–168). Oxford, UK: Oxford University Press.
16. Ramamoorthy, V., Viswanathan, R., Raguchander, T., Prakasam, V., & Samiyappan, R. (2001). Induction of systemic resistance by plant growth promoting rhizobacteria in crop plants against pests and diseases. *Crop Protection*, 20, 1–11. doi: 10.1016/S0261-2194(00)00056-9
17. Clay, K., & Holah, J. (1999). Fungal endophyte symbiosis and plant diversity in successional fields. *Science*, 285, 1742–1744. doi: 10.1126/science.285.5434.1742
18. Doornbos, R. F., van Loon, L. C., & Bakker, P. A. (2012). Impact of root exudates and plant defense signaling on bacterial communities in the rhizosphere. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 227–243. doi: 10.1007/s13593-011-0028-y
19. De Bruijn, F. J. (2015). Biological nitrogen fixation. In B. Lugtenberg (Ed.), *Principles of Plant-Microbe Interactions* (pp. 215–224). Cham: Springer. doi: 10.1007/978-3-319-08575-3_23
20. Hosie, A. H. F., Allaway, D., Galloway, C. S., Dunsby, H. A., & Poole, P. S. (2002). Rhizobium leguminosarum has a second general amino acid permease with unusually broad substrate specificity and high similarity to branched-chain amino acid transporters (Bra/LIV) of the ABC family. *Journal of Bacteriology*, 184(15), 4071–4080. doi: 10.1128/JB.184.15.4071-4080.2002
21. Ermantraut, E. R., Prysiazniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic study dat in the Statistica 6.0 software suite*. Kyiv: PolihrafKonsaltnykh. [In Ukrainian]

UDC 633.358:631.54:631.84

Novytska, N. V., & Ponomarenko, O. V.* (2022). Symbiotic interaction of winter pea. *Advanced Agritechnologies*, 10(3). <https://doi.org/10.47414/na.10.3.2022.270491> [In Ukrainian]

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine, *e-mail: ponomarenko2332@gmail.com

Purpose. To evaluate the symbiotic parameters of winter pea sowings depending on nitrogen fertilization and seed inoculation in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. **Methods.** The research was carried out at the Agronomic Research Station of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine (Kyiv region) in 2019–2021. Winter pea variety ‘NS Moroz’ was grown in a two-factor field experiment with the following treatments: seed inoculation (control – without inoculation) with inoculant Optimize Pulse and application of different doses of nitrogen fertilizers in the main (autumn) fertilization + foliar application at the beginning of vegetation (N₀ – control, N₁₅ + N₁₅, N₁₅ + N₃₀, N₁₅ + N₄₅, N₃₀ + N₀, N₃₀ + N₁₅, N₃₀ + N₃₀, N₄₅ + N₀, N₄₅ + N₁₅, N₆₀ + N₀). The rest of the elements of agricultural technology were conventional. **Results.** Seed inoculation with Optimize Pulse seeds revealed a positive effect on the formation of colonies of nodule bacteria. At the same time, fertilization

treatment with minimal nitrogen (N_{15}) dose at the main fertilization was more efficient in terms of impact on the symbiotic properties of plants. As the dose of the main fertilizer increased, both the total number of nodules on the root system of plants and their mass decreased. It was established that the seed inoculation factor determined the number of active nodule bacteria in the budding stage of pea by 35%; weather conditions and main fertilization had approximately the same share of influence – 29 and 28%, respectively. At the same time, foliar application of fertilizers did not significantly affect the number of active nodule bacteria. **Conclusions.** As the dose of base fertilizer increased, both the number and mass of active colonies of nodule bacteria decreased as the dose of nitrogen fertilizers increased. The obtained dependency for the number of nodules can be described by the equation $y = -0.1799x + 24.592$, and for their mass $y = -1.6817x + 258.17$. Given the linearity of the reduction of these indicators. Obtained equations can be used to accurately predict the state of the symbiotic apparatus of plants in the case of application of doses of nitrogen fertilizers different from those studied in the experiment. Regarding the regularities of the formation of symbiotic potential depending on nitrogen fertilization, the best treatments for both general and active potential were the application of the main fertilizer at a dose of N_{15} followed by later application of N_{30-45} .

Keywords: root system; nodular bacteria; symbiosis; number of colonies; mass of colonies; symbiotic potential.

Надійшла / Received 16.11.2022
Погоджено до друку / Accepted 05.12.2022