
doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2018.07.088>

УДК 581.132:63.632.95

С.Я. Коць, Д.А. Кірізій, А.В. Павлице

Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, Київ

E-mail: zapadenka2015@gmail.com

Взаємодія процесів асиміляції азоту і вуглецю у рослин сої, оброблених речовинами із фунгіцидною активністю та бульбочковими бактеріями, інкубованими з лектином

Представлено членом-кореспондентом НАН України С.Я. Коцем

Досліджено зв'язок між азотфіксувальною активністю та інтенсивністю фотосинтезу рослин сої в онтогенезі у разі оброблення речовинами із фунгіцидною активністю та інокуляції бульбочковими бактеріями, інкубованими з лектином. Показано, що ефективність взаємодії симбіотичного та фотосинтетичного апаратів рослин сої поступово збільшується від фази трьох справжніх листків до цвітіння. Виявлено істотний кореляційний зв'язок між інтенсивністю фотосинтезу і накопиченням сухої речовини в рослинах сої, який посилюється протягом вегетації, при цьому ефективність перетворення асимільованого вуглецю в суху речовину залишається сталою. Водночас зв'язок між азотфіксувальною активністю і накопиченням сухої речовини слабшає.

Ключові слова: соя, *Bradyrhizobium japonicum*, симбіоз, азотфіксувальна активність, інтенсивність фотосинтезу, лектин, фунгіциди.

Процеси асиміляції вуглецю і азоту лежать в основі продуктивності рослинного організму, оскільки ці елементи разом із киснем і воднем є головними компонентами біологічних макромолекул. Бобові культури — важливий об'єкт дослідження зв'язку вуглецевого та азотного метаболізму, оскільки здатні за допомогою симбіозу з бульбочковими бактеріями фіксувати молекулярний азот у доступні для рослини форми [1]. Соя посідає центральне місце серед зернобобових і є не тільки основним джерелом збалансованого за амінокислотним складом і вмістом білка, але і цінним попередником у сівозміні. У результаті її симбіозу з *Bradyrhizobium japonicum* у ґрунті накопичується велика кількість біологічного азоту, який може легко використовуватися іншими культурами в подальшій сівозміні [2]. Відомо, що ефективно функціонування симбіотичного апарату відбувається тоді, коли із рослини в бульбочки надходять в достатній кількості фотоасиміляти, які слугують джерелом енергії та вуглецю для процесів азотфіксації, а із бульбочок у надземну частину рослини транспортуються продукти азотфіксації, що використовуються рослиною-хазяїном для синтезу необхідних білків та інших азотовмісних сполук. Єдність і узгодженість процесів пластичного й енергетичного обмінів забезпечують функціонування рослинного організму як цілісної біологічної системи [1].

© С.Я. Коць, Д.А. Кірізій, А.В. Павлице, 2018

Взаємодію цих фізіологічних процесів вивчали у різних бобових рослин: люцерни [3], сої [4], гороху [5], люпину [6]. Отримані численні підтвердження зниження азотфіксувальної активності (АФА) за умов пригнічення інтенсивності фотосинтезу [1, 7].

Інтенсивні технології сучасного землеробства передбачають використання різноманітних фізіологічно активних речовин, зокрема фунгіцидів. Характер впливу екзогенних фізіологічно активних речовин на інтенсивність фізіологічних процесів як у цілому рослинному організмі, так і в окремих його частинах має фазовий характер і змінюється протягом онтогенезу залежно від часу та умов їх застосування [1, 8, 9]. Показано, що фунгіциди крім захисної функції від фітопатогенів впливають на функціонування бобово-ризобіального симбіозу [10]. Раніше нами в модельних дослідах був виявлений негативний вплив низки фунгіцидів як на інтенсивність фотосинтезу, так і АФА рослин сої, причому ступінь цього впливу залежав від препарату та способу застосування [11]. З іншого боку, відомо, що лектини чинять позитивний вплив на функціонування бобово-ризобіального симбіозу [1]. Виходячи з цього можна припустити, що застосовуючи для оброблення рослин препарати фунгіцидної дії окремо та у комбінації з лектином, можна отримати широкий спектр варіювання фізіологічних показників функціонального стану бобово-ризобіального симбіозу. Зокрема, для макросимбіонта — це інтенсивність фотосинтезу листків, для симбіотичного апарату бульбочок — азотфіксувальна активність корневих бульбочок. Такі дані необхідні для кількісного аналізу взаємозв'язків між фотосинтезом і азотфіксацією, причому на особливу увагу заслуговує проведення досліджень на різних етапах росту і розвитку рослин.

За мету дослідження ставилося вивчити динаміку взаємозв'язків між азотфіксувальною активністю та інтенсивністю фотосинтезу під впливом екзогенного лектину та фунгіцидів, а також оцінити роль цих двох головних складових продукційного процесу у формуванні біологічної продуктивності рослин сої.

Матеріали і методи. Досліджували симбіотичні системи, створені за участю рослин сої сорту Алмаз та високоактивного виробничого штаму бульбочкових бактерій *Bradyrhizobium japonicum* 6346. Рослини вирощували на вегетаційному майданчику Інституту фізіології рослин і генетики НАН України у 4-кілограмових посудинах за умов природного освітлення та оптимального (60 % ПВ) водозабезпечення. Субстратом слугував промитий річковий пісок із поживною сумішшю Гельрігеля, збідненою на азот (0,25 норми). Бактеріальні культури вирощували на манітно-дріжджовому агарі протягом 8 діб при 28 °С. Частину ризобіальної суспензії інкубували із комерційним лектином насіння сої (Львів, “Лектинотест”) у концентрації 100 мкг/мл протягом 20 год. Насіння сої перед посівом стерилізували 70 %-м розчином етанолу протягом 15 хв і промивали проточною водою. Інокуляцію проводили шляхом зволоження його впродовж 1 год бактеріальною суспензією із титром клітин 10^8 кл/мл.

Схема досліду включала: контрольні рослини, з проведенням тільки інокуляції насіння бактеріями; варіанти з інокуляцією та протруюванням фунгіцидами; рослини, насіння яких бактеризували ризобіями, інкубованими з лектином, а також рослини, насіння яких бактеризували ризобіями, інкубованими з лектином та обробляли фунгіцидами. Для оброблення насіння використовували фунгіциди Стандак Топ (“BASF”, Німеччина), Февер (“Bayer CropScience AG”, Німеччина), Максим XL 035PS (“Syngenta”, Швейцарія) з розрахунку однієї норми витрат діючої речовини кожного препарату, вказаної виробником. Оброблення Аканто Плюс (ТОВ “Август—Україна”) проводили по вегетації у фазу бутонізації.

АФА симбіотичних систем визначали ацетиленовим методом на газовому хроматографі Agilent GC system 6850 (США) [12]. Визначення проводили в чотириразовій біологічній повторності. Інтенсивність фотосинтезу визначали в контрольованих умовах за допомогою оптико-акустичного інфрачервоного газоаналізатора ПІАМ-5М (Росія), увімкненого за диференціальною схемою. Густина променевого потоку становила 400 Вт/м^2 ФАР, температура — $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Розрахунки проводили згідно зі стандартними методиками [13]. Масу сухої речовини різних органів рослин сої визначали у дев'ятиразовій біологічній повторності ваговим методом. Зразки фіксували в сушильній шафі при $105 \text{ }^\circ\text{C}$ протягом 4 год і досушували до повного випаровування вологи при $70 \text{ }^\circ\text{C}$. Визначення всіх показників проводили у фазі трьох справжніх листків, бутонізації та масового цвітіння. Статистична обробка експериментальних даних виконана з використанням програми Microsoft Excel 2010.

Результати та їх обговорення. Виявлено, що бактеризація насіння ризобіями, інкубованими з лектином, стимулювала активність азотфіксації та інтенсивність фотосинтезу рослин сої, тоді як оброблення фунгіцидами різною мірою пригнічувало ці фізіологічні показники залежно від препарату і комбінації його з ризобіями та лектином. Таким чином, у фазу трьох справжніх листків було отримано 8 експериментальних точок, які істотно різнилися за досліджуваними параметрами, а у фазі бутонізації та цвітіння — по 10 точок, оскільки рослини по вегетації були оброблені ще одним препаратом (Аканто Плюс) окремо і в комбінації з лектином. Це дало можливість визначити зв'язки між АФА, інтенсивністю фотосинтезу та біологічною продуктивністю рослин сої, виходячи з нижченаведених теоретичних положень.

Відомо, що більш як 90 % сухої речовини рослини утворюється завдяки фотосинтетичній асиміляції CO_2 . Водночас для свого нормального формування та функціонування фотосинтетичний апарат потребує великої кількості елементів мінерального живлення, особливо азоту. Фотосинтетичний апарат має у своєму складі багато азотовмісних сполук, переважно білків. Взагалі, з-поміж вегетативних органів рослини вміст білка (а отже, й азоту) найвищий, як правило, у листках, при цьому майже половину розчинного білка становить головний фермент фіксації CO_2 — RuBisCO [14]. Враховуючи інші ферментні та структурні білки, можна вважати, що принаймні 70–80 % білка зеленої клітини мезофілу припадає на фотосинтетичний апарат.

У бобових рослин, особливо за нестачі мінерального азоту в ґрунті, головним джерелом цього елемента є симбіотичний апарат, в якому відбувається фіксація молекулярного азоту атмосфери. Тому функціонування фотосинтетичного апарату листків безпосередньо залежить від сумарної АФА кореневих бульбочок. У свою чергу, бактероїди потребують енергії та органічних молекул для асиміляції азоту, що забезпечується надходженням фотоасимілятів із листків.

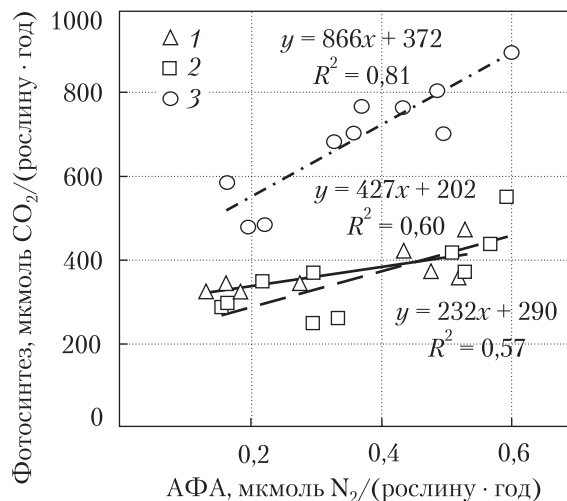
Виходячи з цих міркувань, виявлений нами зв'язок між АФА та інтенсивністю фотосинтезу цілої рослини сої є цілком очікуваним і підтверджує адекватність застосованих методичних підходів (рис. 1). Аналогічна закономірність встановлена нами раніше для люцерни [15]. У представленій роботі принципово новим є дослідження цього зв'язку в динаміці, що дає змогу проаналізувати особливості взаємодії процесів асиміляції вуглецю й азоту протягом росту і розвитку рослин сої у разі оброблення речовинами із фунгіцидною активністю та інокуляції бульбочковими бактеріями, інкубованими з лектином.

Рис. 1. Залежності між азотфіксувальною активністю та інтенсивністю фотосинтезу рослин сої, оброблених різними препаратами фунгіцидної дії в комбінації з лектином. Тут і на рис. 2, 3: 1 – фаза трьох справжніх листків; 2 – фаза бутонізації; 3 – фаза масового цвітіння

На рис. 1 видно, що кут нахилу прямої, яка апроксимує залежність між АФА та інтенсивністю фотосинтезу цілої рослини, поступово збільшується від фази трьох справжніх листків до цвітіння. При цьому також зростає коефіцієнт кореляції, який певною мірою характеризує силу цього зв'язку. Ці закономірності свідчать про підвищення ефективності взаємодії симбіотичного та фотосинтетичного апаратів рослин сої в період їх активного росту.

Кількісно цю ефективність характеризує коефіцієнт при аргументі лінійного рівняння. Так, у фазу трьох справжніх листків відношення CO_2/N_2 становило 232 мкмоль CO_2 /мкмоль N_2 , у фазу бутонізації – 427, а у фазу цвітіння – 866. Таке стрімке зростання кількості асимільованих молекул діоксиду вуглецю на одну молекулу асимільованого атмосферного азоту зумовлене насамперед збільшенням площі асиміляційної поверхні рослини. З ростом рослини і появою нових листків підвищується кількість азоту, акумульованого у фотосинтетичному апараті, який працює на асиміляцію CO_2 цілою рослиною, тоді як швидкість асиміляції молекулярного азоту зростає значно менше або залишається сталою (хоча симбіотичний апарат безперервно працює на забезпечення рослини цим елементом). Отже, саме те, що в процесі фотосинтезу бере участь раніше асимільований і акумульований у фотосинтетичному апараті азот, і є головною причиною різкого зростання співвідношення між інтенсивністю асиміляції CO_2 і N_2 цілими рослинами сої. Іншими словами, чим довше працює симбіотичний апарат, тим більше азоту бере участь в асиміляції CO_2 і тим сильніший зв'язок між інтенсивністю фотосинтезу та активністю азотфіксації, що кількісно відображається у зазначеному вище зростанні коефіцієнта кореляції між АФА та інтенсивністю фотосинтезу від фази трьох справжніх листків до цвітіння. У свою чергу, збільшується продуктивність фотосинтетичного апарату, а отже, й забезпечення бульбочок асимілятами, що також посилює зв'язок між ними.

У загальних рисах, фотосинтез є головним джерелом асимілятів у донорно-акцепторній системі рослин сої, а їх споживачами – процеси дихання, симбіотичної азотфіксації, росту і запасання. З підвищенням забезпеченості рослин пластичними речовинами збільшується їх частка, що спрямовується на структурний ріст, тобто накопичення сухої речовини різних органів, тоді як частка витрат на енергетичні потреби зменшується. Кількісно це відображається в підвищенні коефіцієнта кореляції між інтенсивністю фотосинтезу і масою сухої речовини цілої рослини в період від фази трьох справжніх листків до цвітіння (рис. 2, а). Цікаво, що при цьому кут нахилу прямих, які апроксимують експериментальні точки для кожної дослідженої фази, практично не змінюється, вони лише зміщуються в бік більших значень обох досліджуваних параметрів. Це свідчить про стабільність ефективності перетво-



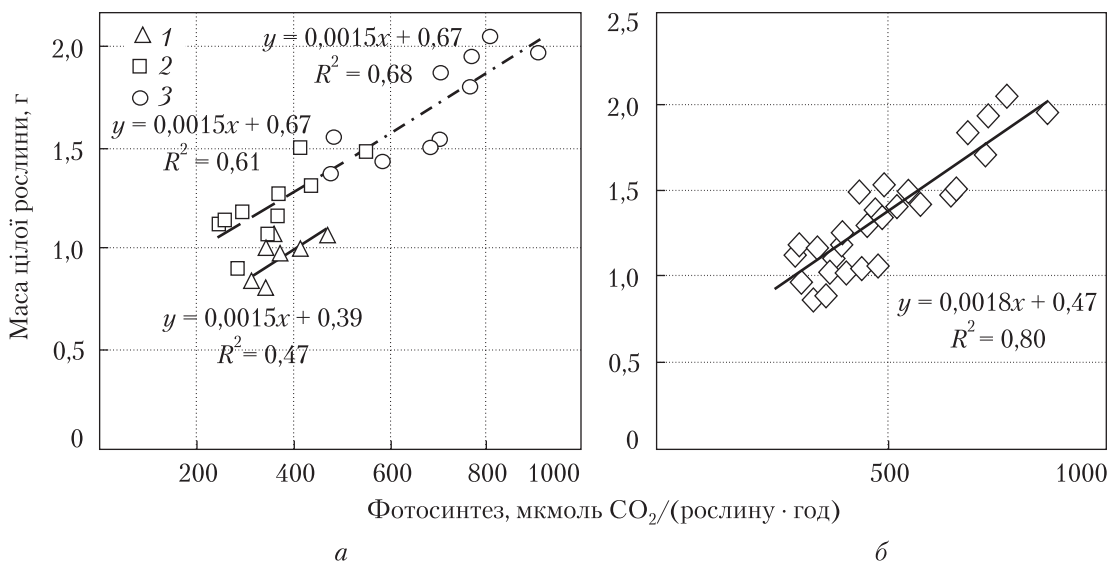


Рис. 2. Залежності між інтенсивністю фотосинтезу і масою сухої речовини цілих рослин сої, оброблених різними препаратами фунгіцидної дії в комбінації з лектином: *a* — для кожної фази окремо; *б* — за весь досліджений період вегетації

рення асимільованого вуглецю в суху речовину рослини, а змінюється, очевидно, лише його розподіл між головними акцепторами. Визначальна роль фотосинтезу для продуктивності рослини добре ілюструється загальною апроксимацією всього масиву експериментальних даних за цими параметрами із високим коефіцієнтом кореляції (див. рис. 2, б).

Якщо між АФА і фотосинтезом існують певні кількісні зв'язки (як це демонструє рис. 1), логічно припустити можливість кількісного відображення зв'язку між АФА і масою сухої речовини рослин сої. І дійсно, нам вдалося побудувати такі залежності для кожної фази окремо, але на відміну від фотосинтезу такий зв'язок для всього масиву даних був відсутній (рис. 3). Цілком очевидно, що це зумовлено зміною співвідношення між процесами асиміляції вуглецю і молекулярного азоту в період росту і розвитку рослин сої. Так, якщо для фотосинтезу коефіцієнт кореляції з масою рослини збільшується протягом дослідженого періоду вегетації, то для АФА він зменшується (див. рис. 1 і 3). Водночас кут нахилу лінійних трендів апроксимації збільшується, хоча для фотосинтезу він був постійний. Це пояснюється обговорюваним вище збільшенням асиміляційного співвідношення С/Н через підвищення потужності фотосинтетичного апарату, що у разі сталої ефективності перетворення асимільованого вуглецю на суху речовину зумовлює збільшення утвореної сухої речовини на одиницю фіксованого молекулярного азоту.

Також можна припустити, що на початку вегетації переважна частка азоту, асимільованого симбіотичним апаратом, використовується на потреби формування і функціонування фотосинтетичного апарату, до того ж рослини в цей період ще в змозі використовувати стартову дозу мінерального азоту із субстрату. Остання обставина частково пояснює невисокий ступінь зв'язку між АФА та інтенсивністю фотосинтезу у фазу трьох справжніх листків. Згодом запаси мінерального азоту виснажуються і рослина забезпечує свої потреби в азоті лише завдяки функціонуванню симбіотичного апарату. Тому зв'язок між АФА і фотосин-

Рис. 3. Залежності між азотфіксувальною активністю і масою сухої речовини цілих рослин сої, оброблених різними препаратами фунгіцидної дії в комбінації з лектином

тезом посилюється (збільшується коефіцієнт кореляції). У фазу цвітіння фотосинтетичний апарат сої вже практично сформований, і частина фіксованого азоту може депонуватися в листках та стеблі для подальшої реутилізації в зерно з початком утворення і наливу бобів. Цей азот у фізіологічному аспекті є доволі інертним, що й виявляється у зменшенні ступеня зв'язку між АФА і накопиченням сухої речовини рослиною (див. рис. 3).

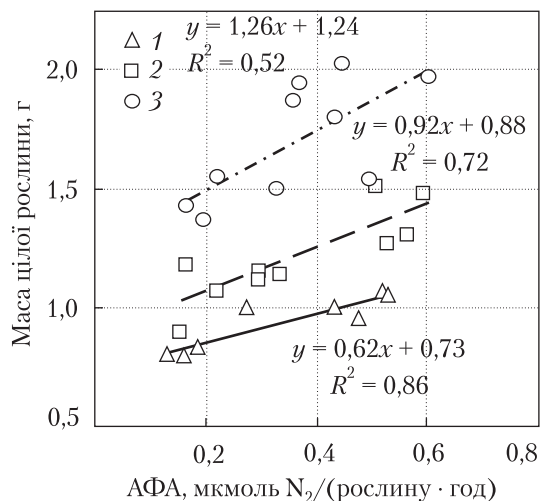
Таким чином, оброблення насіння сої і рослин по вегетації препаратами з фунгіцидною активністю на фоні інокуляції ризобіями, інкубованими з лектином, сприяло модифікації активності процесів симбіотичної азотфіксації та фотосинтезу, завдяки чому отримано широкий спектр цих двох найважливіших параметрів функціонального стану бобово-ризобіального симбіозу. В результаті дослідження динаміки кількісних характеристик взаємозв'язків між ними протягом вегетації від фази трьох справжніх листків до масового цвітіння виявлено, що ефективність взаємодії симбіотичного та фотосинтетичного апаратів рослин сої в період їх активного росту підвищується. Збільшується асиміляційне співвідношення С/АФА, що зумовлено підвищенням потужності фотосинтетичного апарату з появою нових листків.

Між інтенсивністю фотосинтезу і накопиченням сухої речовини цілою рослиною виявлено істотний кореляційний зв'язок, який посилюється протягом дослідженого періоду вегетації, при цьому ефективність перетворення асимільованого вуглецю в суху речовину залишається сталою. Водночас зв'язок між АФА і накопиченням сухої речовини слабшає.

Отже, нами вперше кількісно доведено, що співвідношення процесів симбіотичної азотфіксації і асиміляції вуглецю протягом росту і розвитку рослин сої змінюється. Забезпечення рослин азотом має важливе значення на початку вегетації — у фази трьох справжніх листків і бутонізації для формування фотосинтетичного апарату. Останній акумулює переважну частку асимільованого азоту, що підвищує його потужність і збільшує інтенсивність фотосинтезу цілої рослини, тому роль азотфіксації в продукційному процесі рослин сої поступово зменшується, а фотосинтезу — зростає.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Коць С.Я., Моргун В.В., Патька В.Ф. и др. Биологическая фиксация азота. В 4-х т. Т 2. Бобово-ризобіальний симбіоз. Киев: Логос, 2011. 523с.
2. Бабич А.О., Бабич-Побережна А.А. Світові та вітчизняні тенденції розміщення виробництва і використання сої для розв'язання проблеми білка. *Корми і кормовиробництво*. 2012. Вип. 71. С. 12—26.
3. Коць С.Я., Воробей Н.А., Киризий Д.А., Караушу Е.В. Продукционный процесс люцерны при инокуляции бинарной композицией *Sinorhizobium meliloti*—*nostoc*. *Физиология растений и генетика*. 2016. 48, № 2. С. 120—129.



4. Kaschuk G., Hungria M., Leffelaar P.A., Giller K.E., Kuyper T.W. Differences in photosynthetic behaviour and leaf senescence of soybean (*Glycine max* [L.] Merrill) dependent on N₂ fixation or nitrate supply. *Plant Biol.* 2010. № 12. P. 60–69.
5. Bourgault M., Brand J., Tausz M., Fitzgerald G. J. Yield, growth and grain nitrogen response to elevated CO₂ of five field pea (*Pisum sativum* L.) cultivars in a low rainfall environment. *Field Crops Res.* 2016. **196**. P. 1–9.
6. Кононов А.С. Физиология процесса азотфиксации и фотосинтез в гетерогенном посеве. *Бюл. Брянск. отд-ния РБО.* 2013. № 1. С. 42–50.
7. Романов В.И. Взаимосвязь процессов азотфиксации и фотосинтеза в бобовом растении. Биологическая фиксация молекулярного азота. Киев: Наук. думка, 1985. 154 с.
8. Коць С.Я., Кірізій Д.А., Веселовська Л.І. Інтенсивність фотосинтезу симбіотичних систем соя – *Bradyrhizobium japonicum* за дії екзогенного лектину. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2013. № 1. С. 157–162.
9. Кириченко О.В. Роль лектинів бобових рослин в активізації симбіотичних властивостей специфічних ризобій при утворенні та функціонуванні симбіозу. *Сільськогосп. мікробіологія.* 2009. Вип. 9. С. 43–58.
10. Вознюк С.В., Титова Л.В., Ляска С.І., Іутинська Г.О. Вплив фунгіцидів та комплексного інокулянту Ековітал на ризосферний мікробіоценоз, стійкість до захворювань та продуктивність сої. *Мікробіол. журн.* 2015. **77**, № 4. С. 8–14.
11. Павлице А.В., Кірізій Д.А., Коць С.Я. Реакція симбіотичних систем сої на дію фунгіцидів за різних способів обробки. *Физиология растений и генетика.* 2017. **49**, № 3. С. 237–247.
12. Hardy R.W.F., Holsten R.D., Jackson E.K., Burns R.C. The acetylene-ethylene assay for N₂ fixation: laboratory and field evaluation. *Plant Physiol.* 1968. **43**. P. 1185–1207.
13. Фотосинтез и биопродуктивность. Методы определения. Мокроносова А.Т., Ковалева А.Г. (ред.). Москва: Агропромиздат, 1989. 460 с.
14. Киризий Д.А., Стасик О.О., Прядкина Г.А., Шадчина Т.М. Фотосинтез. Т. 2. Ассимиляция CO₂ и механизмы ее регуляции. Киев: Логос, 2014. 480 с.
15. Киризий Д.А., Воробей Н.А., Коць С.Я. Взаимосвязь азотфиксации и фотосинтеза как основных составляющих продукционного процесса у люцерны. *Физиология растений.* 2007. **54**, № 5. С. 666–671.

Надійшло до редакції 28.03.2018

REFERENCES

1. Kots, S. Ya., Morgun, V. V. & Patyka, V. F. et al. (2011). Biological fixation of nitrogen. In 4 vol. Vol. 2: Legume-rhizobium symbiosis. Kiev: Lohos (in Russian).
2. Babych, A. O. & Babych-Poberezhna, A. A. (2012). The world and domestic tendencies of the distribution of soybean production and use to solve the problem of protein. *Kormy i kormovyrobnytstvo*, Iss. 71, pp. 12-26 (in Ukrainian).
3. Kots, S. Ya., Vorobey, N. A., Kiriziy, D. A. & Karaushu, O. V. (2016). Productivity of alfalfa under inoculation with binary composition sinorhizobium meliloti–nostoc. *Fyzyolohyya rastenyi i henytyka*, 48, No. 2, pp. 120-129 (in Russian).
4. Kaschuk, G., Hungria, M., Leffelaar, P. A., Giller, K. E. & Kuyper, T. W. (2010). Differences in photosynthetic behaviour and leaf senescence of soybean (*Glycine max* [L.] Merrill) dependent on N₂ fixation or nitrate supply. *Plant Biol.*, No. 12, pp. 60-69.
5. Bourgault, M., Brand, J., Tausz, M. & Fitzgerald, G. J. (2016). Yield, growth and grain nitrogen response to elevated CO₂ of five field pea (*Pisum sativum* L.) cultivars in a low rainfall environment. *Field Crops Res.*, 196, pp. 1-9.
6. Kononov, A. S. (2013). Physiology of the process of nitrogen fixation and photosynthesis in heterogeneous sowing. *Bull. Bryansk. otd. RBO*, No. 1, pp. 42-50 (in Russian).
7. Romanov, V. I. (1985). Interrelation of the processes of nitrogen fixation and photosynthesis in a bean plant. *Biological fixation of molecular nitrogen*. Kiev: Naukova Dumka (in Russian).
8. Kots, S. Ya., Kiriziy, D. A. & Veselovska, L. I. (2013). The intensity of photosynthesis of the soybean – *Bradyrhizobium japonicum* symbiotic systems under exogenous lectin influence. *Dopov. Nac. akad. nauk Ukr.*, No. 1, pp. 157-162 (in Ukrainian).
9. Kyrychenko, O. V. (2009). Legume lectins activate symbiotic properties of specific rhizobia under symbiosis formation and functioning. *Sil's'kohosp. mikrobiolohiya*, Iss. 9, pp. 43-58 (in Ukrainian).

10. Vozniuk, S. V., Tytova, L. V., Lyaska, S. I. & Iutynska, G. O. (2015). Influence of fungicides complex inoculum Ekovital on rhizosphere microbiocenosis, diseases resistance and soybeen productivity. Mikrobiol. zhurn., 77, No. 4, pp. 8-14 (in Ukrainian).
11. Pavlyshche, A. V., Kiriziy, D. A. & Kots, S. Ya. (2017). The reaction of symbiotic soybean systems to the action of fungicides under various treatment. Fyzyolohyya rastenyi i henetyka, 49, No. 3, pp. 237-247 (in Ukrainian).
12. Hardy, R. W. F., Holsten, R. D., Jackson, E. K. & Burns, R. C. (1968). The acetylene-ethylene assay for N₂ fixation: laboratory and field evaluation. Plant Physiol., 43, pp. 1185-1207.
13. Mokronosova, A. T. & Kovalev, A. G. (Eds.). (1989). Photosynthesis and bioproductivity. Methods of determination. Moscow: Ahropromizdat (in Russian).
14. Kiriziy, D. A., Stasik, O. O., Pryadkina, G. A. & Shadchina, T. M. (2014). Photosynthesis. Vol. 2: Assimilation of CO₂ and the mechanisms of its regulation. Kiev: Lohos (in Russian).
15. Kiriziy, D. A., Vorobei, N. A. & Kots, S. Ya. (2007). Relationships between nitrogen fixation and photosynthesis as the main components of the productivity in alfalfa. Fyzyolohyya rastenyi, 54, No. 5, pp. 666-671 (in Russian).

Received 28.03.2018

С.Я. Коць, Д.А. Киризий, А.В. Павлице

Институт физиологии растений и генетики НАН Украины, Киев

E-mail: zapadenka2015@gmail.com

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОЦЕССОВ АССИМИЛЯЦИИ АЗОТА И УГЛЕРОДА У РАСТЕНИЙ СОИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ВЕЩЕСТВАМИ С ФУНГИЦИДНОЙ АКТИВНОСТЬЮ И КЛУБЕНЬКОВЫМИ БАКТЕРИЯМИ, ИНКУБИРОВАННЫМИ С ЛЕКТИНОМ

Исследована связь между азотфиксирующей активностью и интенсивностью фотосинтеза растений сои в онтогенезе при обработке веществами с фунгицидной активностью и инокуляции клубеньковыми бактериями, инкубированными с лектином. Показано, что эффективность взаимодействия симбиотического и фотосинтетического аппаратов растений сои постепенно увеличивается от фазы трех настоящих листьев до цветения. Выявлена существенная корреляционная связь между интенсивностью фотосинтеза и накоплением сухого вещества в растениях сои, которая усиливается на протяжении вегетационного периода, при этом эффективность преобразования ассимилированного углерода в сухое вещество остается постоянной. В то же время связь между азотфиксирующей активностью и накоплением сухого вещества ослабевает.

Ключевые слова: соя, *Bradyrhizobium japonicum*, симбиоз, азотфиксирующая активность, интенсивность фотосинтеза, лектин, фунгициды.

S.Ya. Kots, D.A. Kiriziy, A.V. Pavlyshche

Institute of Plant Physiology and Genetics of the NAS of Ukraine, Kiev

E-mail: zapadenka2015@gmail.com

INTERACTION OF THE PROCESSES OF NITROGEN AND CARBON ASSIMILATION IN SOYBEAN PLANTS UNDER THE TREATMENT WITH FUNGICIDAL ACTIVITY SUBSTANCES AND THE INOCULATION WITH NODULE BACTERIA INCUBATED WITH LECTIN

The relationship between the activity of nitrogen fixation and the photosynthetic rate in soybean plants, which were treated with substances with the fungicidal activity and inoculated with nodule bacteria incubated with lectin is investigated in dynamics. It is shown that the interaction of symbiotic and photosynthetic apparatus of soybean plants gradually increases from the phase of three true leaves to the flowering. It is revealed that the correlation between the photosynthetic rate and the accumulation of dry matter in soybean plants is significant and increases during the vegetation, while the efficiency of the assimilated carbon transformation into a dry substance remains stable. At the same time, the relationship between the nitrogen fixation activity and the accumulation of dry matter weakens.

Keywords: soybean, *Bradyrhizobium japonicum*, symbiosis, nitrogen fixation activity, net assimilation rate, lectin, fungicides.