



УДК [581.138.1:582.736.3]:661.161.65

**ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИМБІОТИЧНОГО АПАРАТУ ТА
СПОЖИВАННЯ АЗОТОВМІСНИХ СПОЛУК РОСЛИНАМИ СОЇ ЗА ДІЇ
ІНОКУЛЯЦІЇ ТА ХЛОРМЕКВАТХЛОРИДУ**

Голунова Л.А., к.б.н., доцент

Orcid: 0000-0002-5146-9824

E-mail: monarda196@gmail.com

Кур'ята В. Г., д.б.н., професор

Orcid: 0000-0002-7801-933X

e-mail: vgk2006@ukr.net

Вивчався вплив штаму та дії інгібітора росту рослин групи четвертинних амонієвих сполук хлормекватхлориду на азотний обмін рослин сої. Встановлено, що як передпосівна обробка насіння штамом повільнорослих бульбочкових бактерій так і комплексне застосування штаму *Bradyrhizobium japonicum* та ретарданту посилює функціонування бобово-ризобіального симбіозу проти спонтанної інокуляції. Застосування препаратів призводить до підвищення активності нітрогенази у фазу цвітіння, нітратредуктази у фазу формування бобів, та зміни накопичення азоту у вегетативних органах дослідних рослин сої. Бактеризація насіння штамом *Bradyrhizobium japonicum* M8 з наступною обробкою рослин ретардантом максимально підвищувала продуктивність рослин сої.

Ключові слова: соя, штами бактерій, хлормекватхлорид, нітратредуктаза, нітрогеназа, азот, врожайність.

The effects of strain as well as plant growth inhibitor of the quaternary group of ammonium compounds on nitrogen metabolism of soybean plants have been studied. It was established that both pre-sowing treatment of seeds with the slow-growing nodule bacteria strain of and complex application of *Bradyrhizobium japonicum* strain with the retardant enhanced the functioning of bean-rhizobial symbiosis in comparison with that of spontaneous inoculation only. Application of the preparations caused increase in nitrogen activity within the flowering phase, and nitrate reduction in the phase of bean formation, as well as changes in the accumulation of nitrogen in the vegetative organs of experimental soybean plants. Bacterization of seeds with *Bradyrhizobium japonicum* M8 strain followed by treatment with retardant maximized the crop capacity of soybean plants.

Key words: soybean, nodule bacteria strain, chlormequatchloride, nitrate reduction, nitrogenase, nitrogen, crop capacity.

Вступ. Суттєве зростання вартості продукції тваринництва вимагає пошуку достойної її альтернативи серед продукції рослинництва. Соя є однією з головних білкових культур у світі, її білок багатий важливими амінокислотами та характеризується доброю засвоюваністю й відіграє важливу роль у харчуванні населення [1]. Попит на цю культуру невідомо зростає, однак потенціал врожаю і його складових за останніми даними статистики вимагає коректив [16].

Так, обґрунтованою є увага до біологічної фіксації молекулярного азоту при вирощуванні бобових культур, оскільки це позитивно позначається на урожайності і підтримці азотного балансу ґрунтів [2, 3]. Відомо, що інтенсивність засвоєння бобовими рослинами атмосферного азоту визначається, перш за все, характером становлення й розвитку взаємовідносин рослин із бульбочковими бактеріями. Доведено, що ціла низка складових, котрі продукуються обома партнерами



симбіозу, діють як специфічні ефектори, зумовлюючи тим самим, особливості формування й функціонування азотфіксувального апарату [2, 18]. Відомо, що ключовими ферментами асиміляції азоту бобовими рослинами слугують нітрогеназа й нітратредуктаза, активність яких залежить від багатьох чинників, котрі регулюються низкою фізіолого-біохімічних процесів та зміною метаболізму рослин, що пов'язано з регуляцією відновлення нітратів [9].

Нині, одним з найбільш застосовуваних серед регуляторів росту рослин саме для активізації інокуляційних процесів й збільшення рівня накопичення азоту в органах бобових рослин є використання бактеріальних препаратів [2, 11, 36]. Дію ростових речовин бактеріального інокулюма пов'язують із змінами метаболізму інокульованої рослини а також кількісним і якісним вмістом ендогенних фітогормонів у рослинному організмі, що веде до підвищення продуктивності культур [18].

В сільськогосподарській практиці застосовується також регуляція розвитку певних етапів онтогенезу рослин. З цією метою використовуються синтетичні рістрегулюючі речовин, котрі є одним із важливих елементів нинішньої технології рослинництва. Зміни росту й розвитку рослин за дії рістрегулюючих препаратів перш за все пов'язані з їх дією на метаболізм клітин та впливом на інтенсивність фотосинтетичних процесів, фітогормональний баланс [12], вуглеводний [19, 32-35] та білковий обмін [6, 14, 25]. В літературі представлено ряд робіт по впливу на азотний обмін рістрегулюючих препаратів у плодово-ягідних [19], овочевих [17, 28, 33], олійних [7, 29, 30], технічних [33-34], злакових [15, 32] культурах. Не зважаючи на ґрунтовне вивчення дії регуляторів росту на ці культури, дані щодо вивчення їх на бобових, зокрема сої [22, 26, 36], є ще недостатніми.

Тому метою роботи було встановити вплив інокуляції та комплексне застосування штаму з антигібереліновим препаратом на функціональну активність симбіотичного апарату, споживання та накопичення азотовмісних сполук рослинами *Glycine max* в зв'язку з продуктивністю культури.

Матеріали та методика досліджень. Об'єктом польового дослідження слугували рослини сої (*Glycine max* (L.) Merr.) сорту Подільська 416. Сорт має зерновий напрямок використання, відноситься до середньопізньостиглого типу, напівдетермінантний. Досліди закладали у польових умовах на сірих лісових середньосуглинкових ґрунтах дослідного господарства „Бохоницьке” Інституту кормів УААН (м. Вінниця). Попередником у сівозміні була озима пшениця. Висівали насіння культури сої в першій декаді травня. У день посіву проводили бактеризацію насіння штамом повільнорослих бактерій М 8 (змив із чистої культури). Розташування дослідних ділянок - послідовне, площа облікових ділянок – 5 м², повторність - трикратна. Рослини сої (у фазу початку бутонізації) обробляли розчином ретарданту хлормекватхлориду (в ранкові години) до повного змочування листків, обробка контролю проводилася водопровідною водою. Інгібітор росту



хлормекватхлорид відноситься до класу четвертинних амонієвих сполук, препарат малотоксичний, без канцерогенних й бластомогенних властивостей, не акумулюється та не розкладається в організмі і вже через дві доби виводиться з нього [13]. У досліді застосовували 0,5 % концентрацію препарату.

За фазами розвитку культури визначали азотфіксацію за ацетиленвідновлювальною активністю корневих бульбочок ацетиленовим методом [23]. Для цього газову суміш, що містила етилен, утворений у результаті функціонування нітрогенази, аналізували на газовому хроматографі з полум'яно-іонізаційним детектором. Нітратредуктазну активність у коренях та листках визначали спектрофотометрично при додаванні реактиву Грісса, вміст азоту в органах визначали за методикою К'ельдаля [20]. Облік урожайності об'єкта дослідження здійснювали на кінець вегетації. Статистична обробка експериментально отриманих даних здійснено за Б.А. Доспеховим [8] при використанні програми Microsoft Excel 2010. В таблицях і на рисунках представлено середньоарифметичні значення та стандартні їх похибки.

Результати та обговорення. Відомо, що вміст зв'язаного азоту в середовищі є одним із факторів впливу на активність азотного обміну. Нітратна форма є домінуючою серед форм азоту, який рослини споживають із субстрату. На шляху його перетворень першу реакцію нітрату до нітриту здійснює фермент нітратредуктаза [9]. Цю реакцію вважають етапом, що регулює й лімітує процес накопичення окисненого азоту. Відомо, що асиміляція нітратів може відбуватися як у фотосинтезуючих, так і в нефотосинтезуючих органах рослин, тому засвоєння їх полягає у взаємодії двох основних джерел асиміляції: надземної і підземної частин рослин. Доведено, що поглинені коренями нітрати розподіляються в рослинному організмі по просторово розділених компартментах: вакуолярному й метаболічному. Перехід нітратів із запасного до метаболічного фонду може бути одним із способів регуляції азотного обміну [2, 9].

В науковій літературі представлені поодинокі та суперечливі дані про вплив регуляторів росту, а саме ретардантів на активність нітратредуктази. Зокрема, в сім'ядолях латуку, вирощеного на поживному середовищі з додаванням ССС і при постійному освітленні, активність нітратредуктази не змінювалася, а при додаванні гідразидпохідного препарату – знижувалася [22]. У рослин сої, оброблених ретардантом, у фазу третього справжнього листка, активність цього ферменту зростала [36].

Нами встановлено, що активність нітратредуктази змінювалася протягом періоду дослідження (рисунок 1). Вищі показники активності ферменту спостерігали у коренях, у фазу цвітіння, у варіантах із застосуванням рістрегулюючих речовин проти необробленого контролю. Пік активності нітратредуктази у листках при дії штаму *Bradyrhizobium japonicum* M8 приходився на фазу формування бобів, тоді як за сумісного використання штаму й антигіберелінового препарату – на фазу цвітіння.



В подальшому активність ферменту зменшувалася. Це, очевидно, пов'язано із активізацією нітрогенази протягом вказаної фази, адже підвищення продуктивності симбіотичних систем сої може бути досягнуте як шляхом підтримки високої азотфіксувальної активності, так і інтенсивності фотосинтетичних процесів у генеративну фазу розвитку рослин [2, 10, 11].

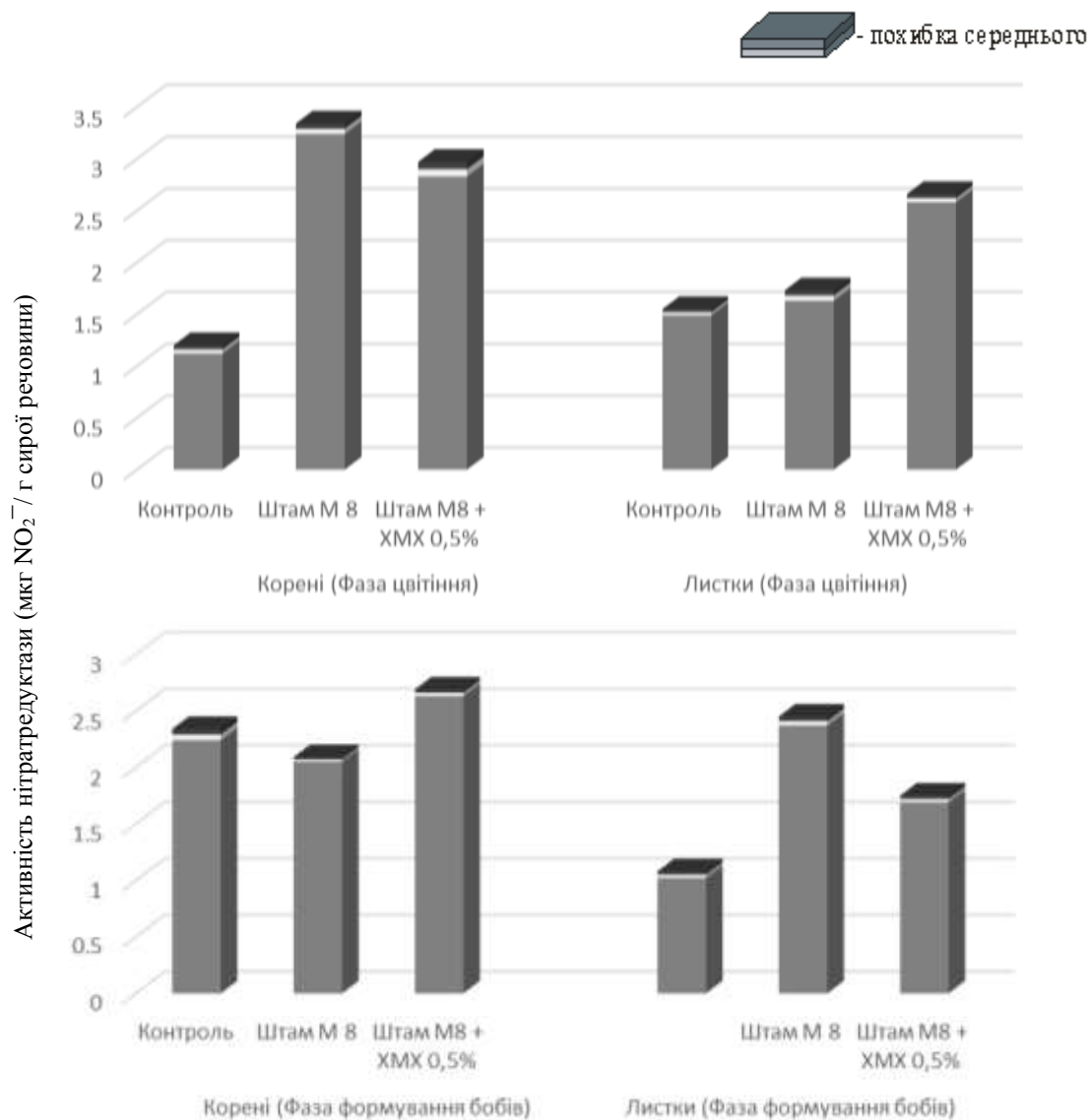


Рисунок 1. Вплив передпосівної інокуляції та обробки ретардантом рослин сої сорту Подільська 416 на активність нітратредуктази.

У коренях активність нітратредуктази при комплексному використанні препаратів також була вищою, у фазу цвітіння, та зменшувалася, у фазу зеленого бобу, по всіх варіантах досліду проти контролю, де показники були більшими, ніж у попередню фазу.

Таким чином, бактеризація насіння штамом та сумісне їх використання з ретардантом призводить до суттєвого зростання нітратредуктазної активності як у листку, так і в коренях, у фазу цвітіння, та за дії інокуляції – у фазу формування бобів.



Відомо, що рослини сої засвоюють до 50% азоту внаслідок діяльності симбіотичних азотфіксувальних бактерій в амонійній формі, тобто не через нітратредуктазну систему [9]. Разом з тим, вважають, що посилене залучення нітратів в азотний метаболізм рослин може спричинити зниження вмісту азоту в коренях і прикореневому ґрунті, а це, в свою чергу, приведе до синтезу нітрогенази в клітинах азотфіксуючих мікроорганізмів, яка активізується за нестачі азоту в субстраті і забезпечення бактеріальної клітини вуглецем [2, 9]. Залежність нітратного метаболізму від симбіотичної азотфіксації є характерною властивістю бобових рослин, причому, зміни в активності нітрогенази та нітратредуктази пояснюються існуванням між ними тісного зв'язку, характер якого може бути різним [3].

Оскільки азотфіксація це сукупність процесів, в яких бобова рослина має вплив на експресію генів бульбочкових бактерій, а бактерія, в свою чергу на активність генів рослини. Відомо, що одним із механізмів активації формування бульбочок та посилення процесу азотфіксації є зміна балансу фітогормонів [18].

Відомою є також позитивна дія фітогормонів ауксинового й цитокінінового типів на формування корневих бульбочок та нітрогеназну активність [2]. Виявлено, що за дії гіберелінів у бобових рослин спостерігається пригнічення утворення бульбочок та зменшення їх нітрогеназної активності [36]. Інші автори відмічали збільшення кількості бульбочок та їх маси за дії гібереліну, при відсутності впливу на активність нітрогенази або низький її рівень при цьому [2, 18].

Актуальним модифікатором дії гіберелінів у фізіології рослин є ретарданти [12, 13]. Вони дозволяють блокувати синтез й активність гіберелінів рослин, і при цьому впливати на атрагувальний потенціал вегетативних та репродуктивних органів та покращувати їх продуктивність [4, 5, 11, 27].

В літературі наявні поодинокі й суперечливі дані про вплив ретардантів на процеси азотфіксації зернобобових культур [22, 36]. А саме, відомо, що характер дії рістрегулюючих речовин на азотфіксацію в значній мірі визначається способом внесення препаратів, фазою розвитку рослин, їх концентрацією й особливостями певних рослин. Разом з тим, основне та домінуюче значення в процесі формування ефективного симбіозу належить азотфіксувальній активності сформованих бульбочок. Доведеною є кореляція між фотосинтетичною активністю рослин і розвитком бульбочок [2]. Для азотфіксуючої активності корневих бульбочок рослин сої встановлено два піки азотфіксації: у початковий період вегетативного росту, а також у період початку формування плодів [9].

Нами встановлено, що за обробки штамом *Bradyrhizobium japonicum* M8 нітрогеназна активність суттєво збільшувалася у досліджувані фази розвитку у порівнянні зі спонтанною інокуляцією аборигенними штамми (рис. 2).

Відомо, що у бобових рослин акцепторами асимілятів є бульбочкові бактерії та репродуктивні органи. З фази бобоутворення у рослин сої потік асимілятів максимально направляється до генеративних органів і, як наслідок, припиняється



активний ріст вегетативної маси рослин, що суттєво знижує ацетиленвідновлювальну активність корневих бульбочок [2].

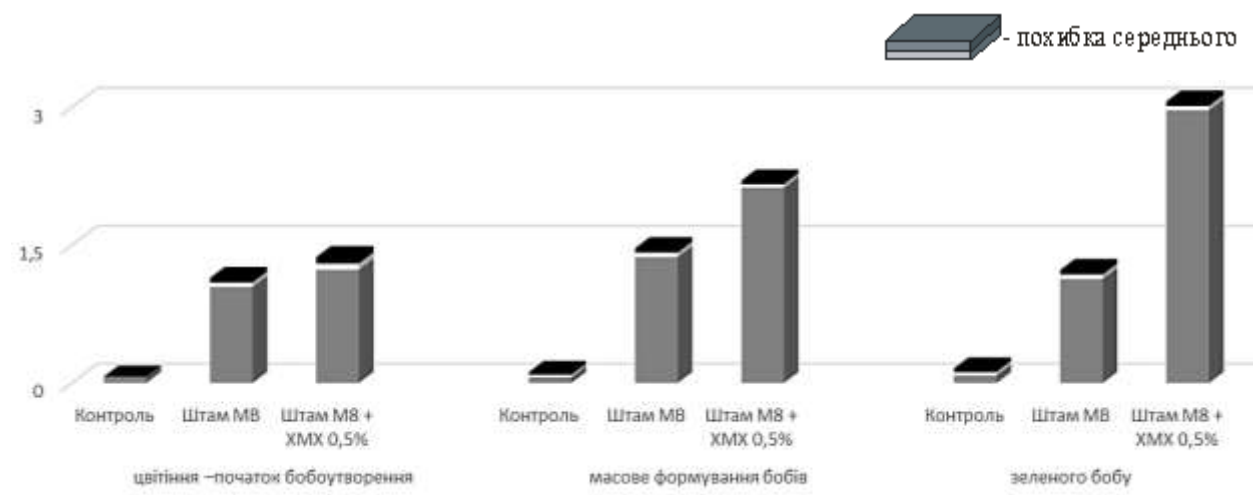


Рисунок. 2. Загальна нітрогеназна активність сої за дії штаму й ретарданту (мкмоль C_2H_4 /(рослину·год.))

У нашому дослідженні встановлено, що за обробки штамом *Bradyrhizobium japonicum* М 8, нітрогеназна активність істотно збільшувалася у дві перші досліджувані фази (табл. 1), тоді як у фазу зеленого бобу показники активності ферменту дещо знижувалися.

Відомо, що покращення продуктивності симбіотичних систем бобових рослин може бути досягнуте шляхом підтримки високої азотфіксувальної активності та інтенсивності фотосинтетичних процесів у генеративну фазу розвитку культур. Попередніми нашими дослідженнями встановлено посилення активності фотосинтетичного апарату за дії ретардантів у фазу зеленого бобу [10, 11, 26]. У досліді застосування інгібітора росту рослин – хлормекватхлориду суттєво підвищувало нітрогеназну активність симбіотичного комплексу *Bradyrhizobium japonicum* – соя. Найвищу активність ферменту відмічали у варіанті поєданого використання штаму *Bradyrhizobium japonicum* М 8 та ретарданту хлормекватхлориду у фазу зелених бобів. Тобто, підтверджено раніше представлену тенденцію, що комплексне застосування препаратів в онтогенезі рослин призводило до перенесення піку активності нітрогенази на наступний етап онтогенезу.

Формування врожайності обумовлено характером розподілу асимілятів між певними органами рослин разом з тимчасовим депонуванням й реутилізацією. Перерозподіл білка між органами рослин відбувається в основному за рахунок двох джерел азоту: 1) розпаду білкових речовин, що сформувалися у вегетативних органах попередніми онтогенетичними етапами із наступним їх відтоком до репродуктивних органів; 2) надходженням азоту, поглинутого кореневою системою [2, 3].

Питання сумісного застосування штамів та сучасних ретардантів на вміст азоту у вегетативних органах для культури сої практично не вивчалось. При аналізі вмісту азоту у листках *Glycine max* за дії штаму *Bradyrhizobium japonicum* нами



встановлено збільшення його вмісту у першій досліджуваній фазі та незначне зменшення у фазу зеленого бобу проти спонтанної інокуляції (рисунок 3).

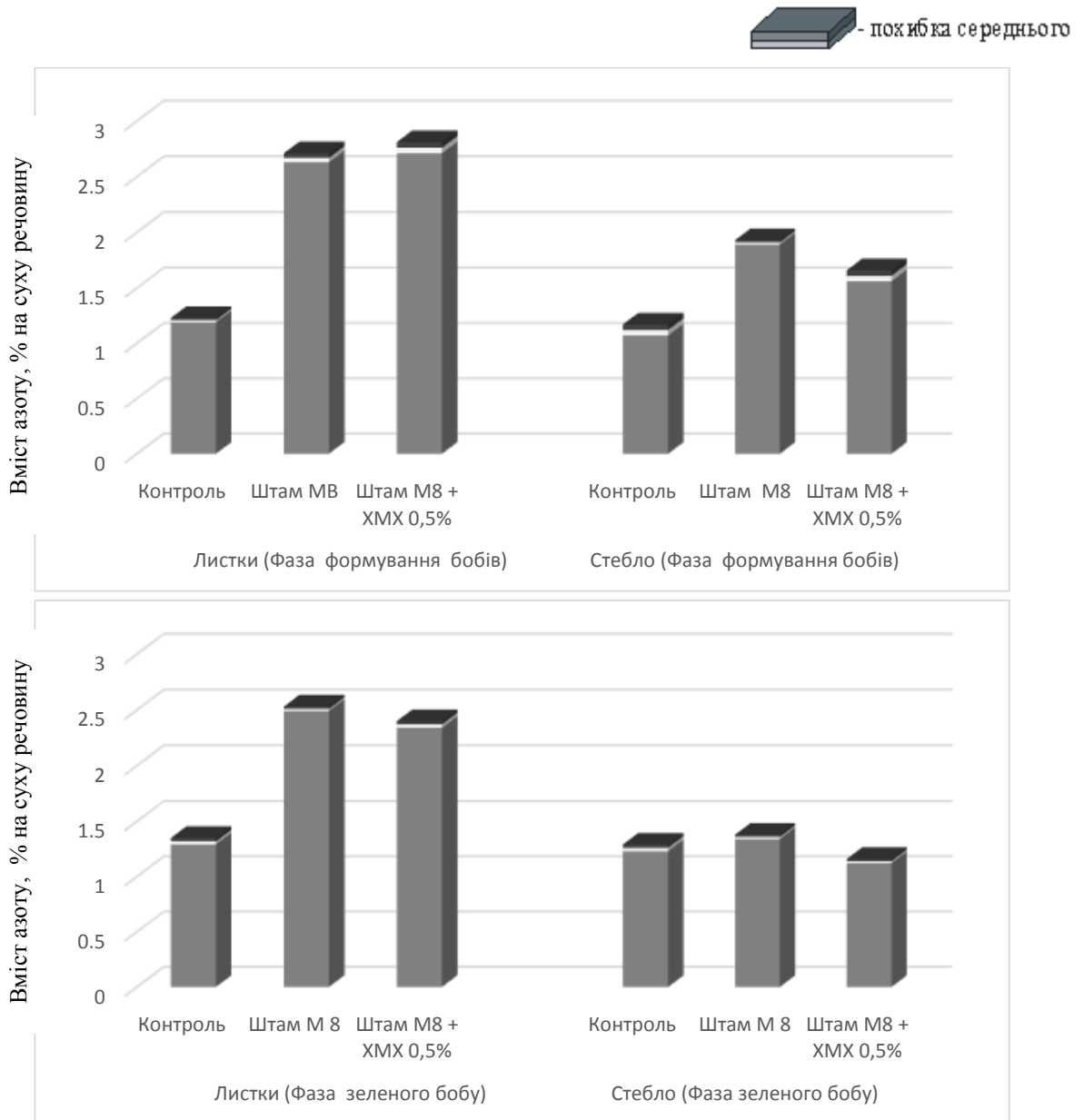


Рисунок 3. Вплив інокуляції та ретарданту на вміст азоту у вегетативних органах сої.

Комплексне використання штаму *Bradyrhizobium japonicum* та ретарданту призводило до збільшення вмісту азоту в листках у фазу формування бобів та, менш суттєво, у фазу зеленого бобу, де цей показник зменшувався, особливо за дії хлормекватхлориду на фоні штаму *Bradyrhizobium japonicum* М 8, що, очевидно, пов'язано з перерозподілом асимілятів до нових потужних атрагуючих центрів якими є боби.

До початку наливу бобів проміжним акцептором та депо асимілятів у сої виступає стебло. Показники вмісту азоту у ньому збільшувалися як від застосування інокуляції, так і від дії ретарданту на фоні інокуляції у фазу цвітіння (рис. 3.).



Вміст азоту у стеблі за дії ретарданту дещо зменшувався на противагу від варіанту з лише інокульованими рослинами, у першу досліджувану фазу, та суттєво зменшувався у фазу зеленого бобу у порівнянні з попередньою фазою розвитку.

Продуктивність бобових культур залежить від певних елементів, а саме: кількості бобів на рослині та насінин у бобі, їх маси та маси тисячі насінин [16]. Результати польових досліджень виявили вагому різницю у продуктивності між варіантами. Встановлено, що передпосівна інокуляція насіння рослин була ефективною. Компоненти продуктивності сої при застосуванні штаму *Bradyrhizobium japonicum* М 8 зросли проти необробленого контролю, а сумісне використання бактеризації та ретарданту максимально збільшувало урожай культури (рис. 4).

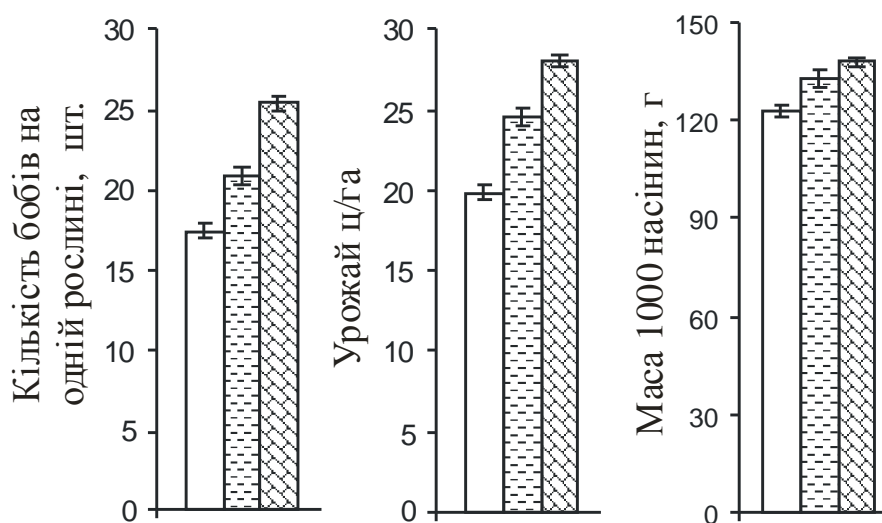


Рис. 4. Продуктивність сої сорту Подільська 416 за дії інокуляції штамом та ретарданту

□ - контроль, ▨ - Штам М 8, ▩ - Штам М 8 + хлормекватлорид 0,5%-й

Висновок. Таким чином виявлено, що як застосування бактеризації насіння повільнорослим штамом бульбочкових бактерій М8, так і комплексна дія хлормекватхлориду на фоні бактеризації оптимізувало активність азотфіксувальних процесів, викликало зміни в накопиченні та перерозподілі вмісту азоту у листках та стеблі і позитивно позначилося на продуктивності дослідних рослин.

Література:

1. Бабич А.О., Бабич-Побережна А. А. Селекція, виробництво, торгівля і використання сої у світі. Київ : Аграрна наука; 2011. 548 с.
2. Биологическая фиксация азота: бобово-ризобиальный симбиоз : монография : в 4-х т. / С. Я. Коць и др. Київ : Логос, 2011. Т. 2. 523 с.
3. Булгакова Н.Н. О поглощении и накоплении нитрата растениями // Агрехимия.– 1999. – 11. – С. 80 – 88.
4. Голунова Л.А. Дія хлормекватхлориду на продуктивність та якість насіння *Glycine max*. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. 2015. № 1. С. 68–72.
5. Голунова Л.А. Особливості продуктивності рослин сої за дії декстрелу та штаму *Bradyrhizobium japonicum*. Біологія та екологія рослин. 2020. Т 6. №1-2. С. 26–29.
6. Гуляев Б.І., Карлова А.Б., Кірізий Д.А. Вплив хлормекватхлориду та естерону на засвоєння цукровим буряком елементів мінерального живлення // Физиология и биохимия культ. растений.



2007. – 39, № 5. С. 401–408.
7. Долгих А. Н. Влияние ретардантов на урожайность соломки и семян льна-долгунца / А.Н. Долгих, В.С. Петренко, В.И. Шутенко // Физиологически активные вещества. – 1991. – Вып. 23. – С. 94–96.
 8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва : Альянс, 2011. 352 с.
 9. Колісник А.В., Мусієнко М.М. Особливості нітратредуктазної активності у вищих рослинах // Физиология и биохимия культурных растений. – 2009. – Т. 41, № 1. С. 16-27.
 10. Кур'ята В.Г., Голунова Л.А. Вплив хлормекватхлориду на формування симбіотичної системи соя – *Bradyrhizobium japonicum* // Наук. зап. Тернопіл. пед. ун-ту. Сер. Біологія. – 2011. – № 3 (48). – С. 79–83.
 11. Кур'ята В.Г., Голунова Л.А., Береговенко С.К. Ефективність симбіотичної системи соя – *Bradyrhizobium japonicum* за дії паклобутразолу // Физиология и биохимия культ. растений. 2010.- 42, № 3. С. 218-224.
 12. Кур'ята В.Г., Негрецький В.А., Рогач В.В. та ін. Дія паклобутразолу на активність гіберелінів і вміст абсцизової кислоти в листках деяких сільськогосподарських рослин // Физиология и биохимия культ. растений. 2005. 37, № 5. – С. 452–458.
 13. Кур'ята В. Г. Фізіологічні основи застосування ретардантів на олійних культурах/ В.Г. Кур'ята, І.В. Попроцька // Физиология растений и генетика. – 2016. Т. 48, № 6. – С. 475–487.
 14. Кур'ята В.Г., Кушнір О.В., Попроцька І.В., Кравець О.О. Дія тебуконазолу на формування листового апарату, накопичення та перерозподіл елементів живлення у зв'язку з продуктивністю культури перцю солодкокого (*Capsicum annuum* L.). – Фізіологія рослин і генетика. – 2020. – Том 52, № 4. – С. 353-364, doi: <https://doi.org/10.15407/frg2020.04.353>
 15. Куц Б.О., Кур'ята В.Г. Вплив гібереліну і тебуконазолу на інтенсивність проростання насіння бобів за умов ското- і фотоморфогенезу / Актуальні проблеми біології та методики її викладання у закладах вищої освіти.- 2019. – С. 209 – 217.
 16. Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В., Іванюк С. В. та ін. Соя : монографія. Вінниця : Діло, 2016. 400 с.
 17. Рогач В. В. Морфогенез, фотосинтез і продуктивність баклажанів за впливу регуляторів росту з різними механізмами дії / Рогач В. В., Кірізій Д. А., Стасик О. О., Рогач Т. І. // Фізіологія рослин і генетика. – 2020, Т. 52(2). С. 152-168. doi: <https://doi.org/10.15407/frg2020.02.152>
 18. Федорова Е.Э., Жизневская Г.Я., Альжаппарова Ж.К., Измайлов С.Ф. Фитогормоны в азотфиксирующих клубеньках бобовых растений // Физиология и биохим. культ. растений. 1991. – 23, № 5. – С. 426–438.
 19. Шаталюк Г.С. Дія ретарданту фолікуру на морфогенез, накопичення вуглеводів та елементів живлення органами рослин агрусу у зв'язку з урожайністю культури / Г.С. Шаталюк, В. Г. Кур'ята // Науковий вісник Східноєвропейського національного унів. ім. Л. Українки. Серія: Біологічні науки. – 2019. 3(387). – С. 5-10.
 20. AOAC. Official Methods of Analysis of Association of Analytical Chemist International. Asso. of Analytical Chemist. Gaithersburg, Maryland, USA. 2010. Vol.18, №3. P. 450.
 21. Baozhong Y., Yongsheng, Z., Yuechen, Z., (2011). Effects of plant growth regulators on growth and yields characteristics in adzuki beans (*Phaseolus angularis*). Front. Agric. China 5(4), 519–523.
 22. Davis Tim D. Soybean photosynthesis and growth as influenced by flurprimidol // Compar. Phisiol. and Ecol. 1986.– 11, №4.– P. 166–169.
 23. 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, N 8. P. 1185 – 1207.
 24. Koutroubas S.D., Damalas C.A. (2016). Morpho-physiological responses of sunflower to foliar applications of chlormequat chloride (CCC). Bioscience Journal, 2016. Vol. 32, № 6. P. 1493-1501.
 25. Kuryata V.G., Kravets O.O. (2018). Features of morphogenesis, accumulation and redistribution of assimilate and nitrogen containing compounds in tomatoes under retardants treatment. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. 8 (1). P. 356–362. https://doi.org/doi: 10.15421/2018_222.
 26. Kuryata V.G. (2019). Regulation of the production process and symbiotic nitrogen fixation of *Glycine max* (L.) merril under the influence of paclobutrazol/ V.G. Kuryata, L.A. Holynova// The Potential of Modern Science, volume 1. – London.: Sciencce Publishing. 2019. – 100–113
 27. Kuryata, V.G., Golunova, L.A., Poprotska, I. V., & Khodanitska, O.O. (2019). Symbiotic nitrogen



- fixation of soybean-rhizobium complexes and productivity of soybean culture as affected by the retardant chlormequat chloride. Ukrainian Journal of Ecology, 9(2), 5–13.
28. Kuryata, V.G., Kushnir, O.V., Kravets, O.O. (2018). Features of morphogenesis, accumulation and redistribution of assimilate and nitrogen containing compounds in tomatoes under retardants. Ukrainian Journal of Ecology. 8(1). 356-362. doi: 10.15421/2018_222
 29. Kuryata, V.G., Polyvaniy, S.V. (2018). Features of morphogenesis, donor-acceptor system formation and efficiency of crop production under chlormequat chloride treatment on poppy oil. Ukrainian Journal of Ecology, 8(4), 165-174.
 30. Matysiak K., Kaczmarek S. (2013). Effect of chlorocholine chloride and triazoles – tebuconazole and flusilazole on winter oilseed rape (*Brassica napus var. oleifera* L.) in response to the application term and sowing density. J. Plant Prot. Res. 53(1), 79 – 88.
 31. Polyvaniy SV, Golunova LA, Baiurko NV, Khodanitska OO, Shevchuk VV, Rogach TI, Tkachuk OO, Zavalnyuk OL, Shevchuk OA (2020). Morphogenesis of mustard white under the action of the antigibberellis preparation chlormequat chloride. Modern Phytomorphology. 14, 101-103.
 32. Poprotska I. (2019). Effect of gibberellin and retardants on the germination of seeds with different types of reserve substances under the conditions of skoto-and photomorphogenesis / I. Poprotska, V. Kuryata, O. Khodanitska, S. Polyvaniy, L. Golunova, Y. Prysedsky // Biologija. 65(4). – P. 296–307. DOI: <https://doi.org/10.6001/biologija.v65i4.4123>
 33. Rogach V.V. (2016). Effect of gibberellin and retardants on morphogenesis, photosynthetic apparatus and productivity of the potato / V.V. Rogach, I.V. Poprotska, V.G. Kuryata // Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія. – 2016.- 24(2).- С. 416-419. DOI: <https://doi.org/10.15421/011656>
 34. Shevchuk O.A., Kravets O.O., Shevchuk V.V., Khodanitska O.O., Tkachuk O.O., Golunova L.A., Polyvaniy S.V., Knyazyuk O.V., Zavalnyuk O.L (2020) Features of leaf mesostructure organization under plant growth regulators treatment on broad bean plants / ISSN 2226-3063 e-ISSN 2227-9555 Modern Phytomorphology 14: 104–106.
 35. Spitzer T., Misa P., Bilovsky J., Kazda J. (2015). Management of maize stand height using growth regulators. Supported by the Ministry of Agriculture of the Czech Republic. Plant Protect Sci. 2015. Vol. 51, 4. P. 223-230
 36. Yan, W., Yanhong, Y., Wenyu, Y., Taiwen, Y., Weiguo, L., Wang, X. (2013). Responses of root growth and nitrogen transfer metabolism to uniconazole, a growth retardant, during the seedling stage of soybean under relay strip. Communications in Soil Science and Plant Analysis Intercropping System. 2013, Vol. 44, 22, P. 3267-3280.