

ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН

УДК 581.192+631.8:633.35

doi: 10.25128/2078-2357.25.4.9

¹С. В. ПИДА , ¹І. І. ОПАЦЬКИЙ , ¹А. Ю. ДЗЕНДЗЕЛЬ , ²О. В. ТРИГУБА 

¹Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027

²Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка
пров. Ліцейний, 1, Кременець, Тернопільська область, 47003

E-mail: pyda@chem-bio.com.ua, ivanopatskyii@gmail.com, andrijdzendzel@gmail.com, boratun1@ukr.net

ДИНАМІКА НАКОПИЧЕННЯ ПІГМЕНТІВ У ЛИСТКАХ БОБІВ (FABA BONA MEDIC.) ЗА ВПЛИВУ МІКРОБНИХ ПРЕПАРАТІВ

У роботі наведено результати досліджень динаміки накопичення фотосинтетичних пігментів у листках *Faba bona* Medic. залежно від фаз росту й розвитку та передпосівної обробки насіння мікробними препаратами. Встановлено, що вміст хлорофілів і каротиноїдів суттєво змінюється впродовж онтогенезу рослин. Найвищий уміст суми хлорофілів виявлено у фазі зеленого бобу, тоді як мінімальні значення відмічено під час бутонізації. Максимальний вміст каротиноїдів у мезофілі листків спостерігався у фазі цвітіння, дещо менший – у фазі зеленого бобу, а найнижчий – під час бутонізації.

Передпосівна інокуляція насіння мікробними препаратами Ризобофіт і Ризогумін істотно впливала на накопичення фотосинтетичних пігментів у листках упродовж усього періоду вегетації. За дії Ризобофіту у фазі бутонізації вміст хлорофілу *a* статистично вірогідно зростав порівнюючи з контролем, на 12,2 %, тоді як застосування Ризогуміну забезпечувало ще вищі показники (на 17,9 %), зумовлені комплексним складом препарату. Під час цвітіння Ризобофіт і Ризогумін статистично вірогідно підвищували вміст хлорофілів *a*, *b* і каротиноїдів.

У фазі зеленого бобу та на початку досягання бобів обидва препарати достовірно підвищували вміст хлорофілу *a* та каротиноїдів, однак максимальні значення спостерігали за використання Ризогуміну. Збільшення частки хлорофілу *a* є важливим показником підвищення стійкості рослин до дії стресових чинників, зокрема в умовах кліматичних змін. Обробка насіння перед сівбою Ризогуміном суттєво знижувала параметр співвідношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b*, що вказує про інтенсивніший вплив Ризогуміну на накопичення хлорофілу *b* у мезофілі листків *Faba bona*, порівнюючи з Ризобофітом.

Інокуляція насіння мікробними препаратами сприяла поліпшенню азотного живлення рослин унаслідок активізації симбіотичної фіксації молекулярного нітрогену, що безпосередньо позначалося на інтенсивності біосинтезу фотосинтетичних пігментів. Отримані результати свідчать про доцільність використання мікробних препаратів у технології вирощування *Faba bona* для оптимізації фотосинтетичної діяльності рослин.

Ключові слова: *Faba bona* Medic., мікробні препарати, хлорофіли, каротиноїди, співвідношення пігментів.



©2025 С. В. Пида та співавт. Стаття відкрита для доступу та розповсюджується на умовах ліцензії [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), яка дозволяє необмежене використання, розповсюдження та відтворення на будь-якому носії за умови належного цитування оригінальної роботи.

Актуальною проблемою сьогодення є розробка технологій вирощування сільськогосподарських культур, які спрямовані на біологічну оптимізацію їх продукційного процесу. Особливу увагу привертають бактеріальні препарати, що здатні корегувати мікробні процеси у ризосфері рослин та позитивно впливати на їх урожайність [9].

В Україні представлено широкий асортимент мікробіологічних препаратів, призначених для різних груп рослин. За кількісним складом компонентів їх поділяють на моно та комплексні препарати. Їх основу становить біологічний агент – жива культура мікроорганізмів разом із продуктами їхнього метаболізму. Комплексні біопрепарати містять низку біологічних агентів, які синтезують власні метаболіти, а також до їх складу додатково введені біологічно активні речовини та мікроелементи [8]. Біоінокулянти використовують для обробки насіння, проростків, коренів та ґрунту, через свою пряму та опосередковану дію вони суттєво впливають на якість ґрунту та сталий розвиток агрофітоценозів [21, 22, 23].

Для формування активних азотфіксувальних симбіозів з бобовими культурами в Інституті сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН розроблено препарати Ризобофит та Ризогумін, які у своєму складі містять специфічні для кожного виду бобової культури селекціоновані штами бульбочкових бактерій. Застосування зазначених вище препаратів для інокуляції насіння інтенсифікує засвоєння азоту з атмосфери, поліпшує азотний метаболізм у бобових рослинах, і відтак підвищує їх продуктивність та якість урожаю [11].

Завдяки біологічній фіксації азоту симбіотичними системами та якісному складу зерна бобові культури є цінними у сільському господарстві [1, 15, 20]. Вони широко використовуються у харчуванні людини, тваринництві та виконують важливу роль в екологічній безпеці: основне джерело рослинних білків; сівозміни на основі бобових виділяють менше парникових газів, оскільки знижується використання неорганічних добрив; покращують здоров'я ґрунту (органічна речовина від післяжнивних решток, доступність азоту та фосфору завдяки видільній діяльності коренів та викидання водню від час біологічної фіксації нітрогену) [18]. Важливим представником серед палітри бобових є боби (*Faba bona* Medic.).

Біологічна фіксація азоту симбіотичними системами бобових культур тісно пов'язана з процесом фотосинтезу [15]. Рослинні пігменти наземних екосистем мають вирішальне значення для існування життя на Землі, оскільки забезпечують перебіг фотосинтезу. Окрім цього, вони виконують захисні функції та слугують індикаторами фізіологічного стану рослин і рівня їхнього мінерального живлення [19]. Досліджено вміст пігментів у листках рослин сочевиці [5, 7], нуту [2, 16], гороху [4], сої [6], люпину [12, 15] та ін. Показано ефективність застосування бактеріальних препаратів Ризобофиту та Ризогуміну за параметрами водообміну та ростових процесів бобів [3, 14]. Формування пігментного складу листків рослин за застосування в технології вирощування бобів зазначених вище препаратів залишається недостатньо вивченим, що зумовлює актуальність і перспективність пропонованого дослідження.

Метою роботи було встановити вплив мікробних препаратів Ризобофит та Ризогумін на динаміку вмісту пластидних пігментів у листках бобів (*Faba bona*) сорту Хоростківські за вирощування в ґрунтово-кліматичних умовах Західного Лісостепу України.

Матеріали та методи досліджень

Польові дослід з бобами (*Faba bona*) сорту Хоростківські закладали у трьох варіантах (Контроль, Ризобофит, Ризогумін) та трьох повтореннях на чорноземі типовому важкосуглинистому ділянок агробіолабораторії Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Насіння бобів контрольного варіанту за одну годину перед сівбою зволожували водою з розрахунку 2 % від його маси, а дослідні – мікробіологічними препаратами Ризобофитом (торф'яна форма) та Ризогуміном (рідка форма) під боби згідно з нормами виробника. Технологія вирощування бобів була типовою для Лісостепу України: норма висіву – 0,4 млн шт/га, ширина міжрядь – 45 см, глибина сівби – 3–4 см, строк сівби – третя декада квітня [13]. Мікробіологічні препарати отримали в Інституті сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН України (м. Чернівці), насіння – із Подільської дослідної станції Тернопільського інституту агропромислового виробництва НААН України (м. Хоростків).

Упродовж вегетації визначали вміст хлорофілів *a*, *b* і каротиноїдів у свіжозібраних листках середнього ярусу *Faba bona* методом їх екстрагування диметилсульфооксидом за Вельбурном [24]. Коефіцієнти екстинкції отриманих розчинів вимірювали на спектрофотометрі UIT SFU-0172 за довжини хвиль: $\lambda = 649, 665, 480$. Обробка статистичних даних здійснювалась за допомогою комп'ютерної програми *Microsoft Excel*.

Результати досліджень та їх обговорення

У результаті досліджень встановлено, що найбільшим умістом хлорофілів характеризувалися листки *Faba bona* у фазі зеленого бобу, найменшим – під час бутонізації рослин (табл. 1). За вмістом суми хлорофілів у листках упродовж онтогенезу фази росту і розвитку бобів можна розмістити у такій послідовності: зелений біб > цвітіння > початок досягання бобів > бутонізація. Пік накопичення каротиноїдів у мезофілі листків визначено під час цвітіння рослин, дещо менше – у фазі зеленого бобу. Під час бутонізації бобів листки характеризувалися найнижчим умістом каротиноїдів. Показано, що формування фотосинтетичної системи рослин *Cicer arietinum* L. залежить також від його індивідуального розвитку. Листки нуту звичайного у фазі зеленого бобу характеризувалися максимальним умістом хлорофілів, а під час цвітіння – основних каротиноїдів [16]. Передпосівна обробка насіння мікробними препаратами суттєво впливала на накопичення фотосинтетичних пігментів у листках упродовж онтогенезу бобів. Зокрема, за впливу Ризобофіту вміст хлорофілу *a* у листках рослин у фазі бутонізації статистично вірогідно підвищився на 12,2 %, порівнюючи з контролем.

Таблиця 1

Вплив обробки насіння перед сівбою мікробними препаратами на накопичення фотосинтетичних пігментів (мг/г сирової маси) у мезофілі листків *Faba bona*, $M \pm m$, $n=4$

Варіант	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіли (<i>a</i> + <i>b</i>)	Каротиноїди
Фаза бутонізації				
К	1,23±0,021	0,27±0,014	1,50	0,40±0,011
Ризобофіт	1,38±0,013*	0,29±0,013	1,67	0,43±0,016
Ризогумін	1,45±0,026*	0,36±0,012*	1,81	0,48±0,013*
Фаза цвітіння				
К	1,53±0,023	0,34±0,011	1,87	0,62±0,015
Ризобофіт	1,68±0,019*	0,40±0,014*	2,08	0,69±0,011*
Ризогумін	1,72±0,022*	0,43±0,017*	2,15	0,71±0,013*
Фаза зеленого бобу				
Контроль	1,81±0,024	0,39±0,011	2,20	0,53±0,014
Ризобофіт	1,92±0,021*	0,43±0,021	2,35	0,59±0,013*
Ризогумін	1,98±0,023*	0,48±0,011*	2,46	0,64±0,015*
Фаза початок досягання бобів				
К	1,51±0,021	0,35±0,012	1,86	0,41±0,013
Ризобофіт	1,63±0,011*	0,39±0,024	2,02	0,49±0,015*
Ризогумін	1,69±0,021*	0,42±0,012*	2,11	0,54±0,012*

Примітка. *Відмінності порівняно з контролем достовірні при $P \leq 0,05$.

Варто зазначити, що у ґрунті дослідних ділянок наявні місцеві раси бульбочкових бактерій, які спонтанно інокулювали корені рослин контрольного варіанту. За впливу комплексного мікробного препарату Ризогумін кількість хлорофілу *a* в листках рослин у зазначеній вище фазі була вищою на 17,9 %, порівнюючи з контролем, та на 5,1 % – порівнюючи з варіантом Ризобофіт. Обробка насіння перед сівбою Ризогуміном статистично вірогідно підвищувала на 33,3 % вміст хлорофілу *b* та на 20,0 % основних каротиноїдів. Аналогічну закономірність виявлено і під час цвітіння бобів. Але за інокуляції насіння Ризобофітом у фазі цвітіння статистично вірогідно підвищувався вміст всіх фотосинтетичних пігментів: хлорофілу *a* на 9,8 %, хлорофілу *b* – 17,6 %, каротиноїдів – 11,3 %. За впливу Ризогуміну також суттєво зростав вміст хлорофілу *a* на 12,4 %, хлорофілу *b* – 26,5 %, каротиноїдів – 14,5 %. Застосування Ризогуміну в технології вирощування бобів суттєвіше

впливало на біосинтез фотосинтетичних пігментів у генеративних фазах росту і розвитку *Faba bona*, порівнюючи з Ризобофітом. Це пояснюється тим, що у його складі, крім бульбочкових бактерій бобів, наявні біологічно активні речовини, мікроелементи у хелатованій формі та стартові концентрації макроелементів [10].

У фазі зеленого бобу та на початку досягання бобів обидва мікробіологічні препарати статистично вірогідно підвищували вміст хлорофілу *a* відповідно на 6,1 % та 7,9 % (Ризобофіт), 9,4 % та 11,9 % (Ризогумін) і основних каротиноїдів – на 11,3 % та 19,5 % (Ризобофіт), 20,7 % та 31,7 % (Ризогумін). Відомо, що кількість хлорофілу *a* в хлоропластах мезофілу значно більша порівнюючи з хлорофілом *b*, а за дії стресових чинників різної природи знижується вміст саме хлорофілу *a* [17], тому збільшення його кількості за обробки насіння перед сівбою Ризобофітом і Ризогуміном сприяє підвищенню стійкості рослин бобів до несприятливих умов навколишнього середовища за зміни клімату. Інокуляція насіння мікробними препаратами поліпшила азотне живлення рослин *Faba bona* у результаті фіксації молекулярного нітрогену симбіотичними системами, утвореними інтродукованими штамми бульбочкових бактерій препаратів, що відповідно вплинуло на біосинтез фотосинтетичних пігментів. У зазначених вище фазах на накопичення хлорофілу *b* суттєво впливала лише передпосівна обробка насіння комплексним мікробним препаратом Ризогумін.

Показники співвідношення хлорофілів в онтогенезі бобів за використання у технології їх вирощування мікробних препаратів знижувалися, що пов'язано зі збільшенням кількості хлорофілу *b* (табл. 2). За інокуляції насіння Ризобофітом спостерігалася тенденція до зменшення параметрів співвідношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b* порівнюючи з контролем. Обробка насіння перед сівбою Ризогуміном статистично вірогідно знижувала вищезазначений параметр, що вказує про інтенсивніший вплив Ризогуміну на накопичення хлорофілу *b* у мезофілі листків *Faba bona* порівнюючи з Ризобофітом.

Таблиця 2

Вплив обробки насіння перед сівбою мікробними препаратами на співвідношення фотосинтетичних пігментів у листках *Faba bona*, $M \pm m$, $n=4$

Варіант	Хл. <i>a</i> / Хл. <i>b</i>	Хл. (<i>a+b</i>) / каротиноїди
Фаза бутонізації		
К	4,55±0,11	3,75±0,10
Ризобофіт	4,76±0,14	3,88±0,11*
Ризогумін	4,03±0,15*	3,77±0,13
Фаза цвітіння		
К	4,50±0,11	3,02±0,14
Ризобофіт	4,20±0,16	3,01±0,16
Ризогумін	4,00±0,12*	3,03±0,09
Фаза зеленого бобу		
К	4,64±0,12	4,15±0,13
Ризобофіт	4,46±0,08	3,98±0,15
Ризогумін	4,12±0,16*	3,84±0,14
Фаза початок досягання бобів		
К	4,31±0,11	4,54±0,09
Ризобофіт	4,18±0,16	4,12±0,12*
Ризогумін	4,02±0,11*	3,91±0,11*

Примітка. *Відмінності достовірні при $P \leq 0,05$.

За показниками співвідношення суми хлорофілів (*a* + *b*) до каротиноїдів статистично вірогідної різниці між контрольним та дослідними варіантами майже не виявлено. Спостерігається тенденція до зниження вищезазначених показників, що пов'язано і суттєвим збільшенням каротиноїдів за впливу мікробних препаратів. Лише на початку досягання бобів мікробні препарати статистично вірогідно зменшували параметри співвідношення суми хлорофілів до каротиноїдів.

Висновки

Результати досліджень показують, що передпосівна обробка насіння бобів сорту Хоростківські мікробними препаратами Ризобофіт та Ризогумін статистично вірогідно впливає на накопичення фотосинтетичних пігментів у мезофілі листків упродовж генеративних фаз росту і розвитку рослин. Комплексний мікробіологічний препарат Ризогумін, порівнюючи з Ризобофітом, суттєвіше підвищував вміст пігментів хлоропластів у мезофілі листків *Faba bona*, що зумовлено наявністю у його складі, крім бульбочкових бактерій бобів, біологічно активних речовин, мікроелементів у хелатованій формі та стартових концентрацій макроелементів.

Вміст фотосинтетичних пігментів у листках бобів сорту Хоростківські залежить також від фази онтогенезу рослин. Найвищим умістом хлорофілів характеризувалися листки у фазі зеленого бобу, основних каротиноїдів – під час цвітіння рослин. За використання у технології вирощування Ризогуміну виявлено статистично вірогідну різницю, порівнюючи з контролем, за параметрами співвідношення хлорофілу *a* / хлорофілу *b* упродовж генеративних фаз росту і розвитку рослин. Визначено суттєву різницю за показником співвідношення хлорофілів (*a* + *b*) до каротиноїдів за використання Ризогуміну на початку досягання бобів.

Оскільки застосування Ризобофіту та Ризогуміну для передпосівної обробки насіння суттєво впливає на формування фотосинтетичної системи *Faba bona* сорту Хоростківські, то зазначені препарати є перспективними елементами в технології вирощування культури в умовах Західного Лісостепу України.

1. Врожайність сої за впливу мікробних препаратів / О. О. Ходаніцька та ін. *Корми і кормовиробництво*. 2024. № 97. С. 77–84. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202497-08>.
2. Гангур В. В., Єремко Л. С., Сокирко Д. П. Формування продуктивності нуту залежно від технологічних факторів в умовах лівобережного Лісостепу України. *Зернові культури*. 2017. Т. 1, № 2. С. 285–292.
3. Ефективність використання мікробіологічних препаратів у посівах бобів (*Faba bona* Medic.) / С. В. Пида та ін. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. 2022. № 2 (41). С. 38–42. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.6>.
4. Карпенко В. П., Бойко Я. О. Вплив гербіциду Максі Мокс за сумісного використання з біологічними препаратами на вміст хлорофілу в рослинах гороху озимого. *Новини науки та прикладні наукові розробки*: мат. міжнар. наук.-практ. конф. (м. Львів, 28 жовтня 2018 р.). Львів, 2018. Т. 5. С. 76–78.
5. Карпенко В. П., Новікова Т. П., Притуляк Р. М., Гнатюк М. Г. Вміст пігментів у листках сочевиці за дії біологічних препаратів. *Наукові горизонти*. 2019. Т. 22. № 7. С. 41–47. <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2019-80-7-41-47>.
6. Карпенко В. П., Притуляк Р. М., Івасюк Ю. І., Чорнега А. О. Формування листової поверхні рослин сої та кількості хлорофілів за інтегрованої дії гербіциду та біологічних препаратів. *Агробіологія*. 2018. № 1. С. 43–50.
7. Козак В. О., Чернік І. В., Пида С. В., Крижановська М. А. Фотосинтетичні пігменти листків сочевиці харчової (*Lens culinaris* Medik.) за впливу мікробних препаратів і протруйника Максим. *Український журнал природничих наук*. 2025. № 13. С. 77–86. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.6>.
8. Коць С. Я., Кукол К. П. Вплив пестицидів на бульбочкові бактерії у чистій культурі та реалізацію їх симбіотичного потенціалу. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. 53, № 3. С. 240–261. <https://doi.org/10.15407/frg2021.03.240>.
9. Курдиш І. К., Церковняк Л. С., Цвей Я. П., Черната Д. М. Перспективи і проблеми інтродукції мікроорганізмів у агроценози. *Наук. вісник Чернівецького ун-ту. Біологія*. 2005. Вип. 252. С. 126–131.
10. Методологія і практика використання мікробних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур / В. В. Волкогон та ін.; за наук. ред. В. В. Волкогона. Київ : Аграр. наука, 2011. 156 с.
11. Мікроорганізми в стабілізації агроєкосистем / за ред. В. П. Патики і В. В. Волкогона. Ніжин : Видавець ПП Лисенко М. М., 2024. 352 с.
12. Панцирева Г. В. Функціонування асиміляційного апарату та продуктивність рослин люпину білого. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2019. № 5 (81). 23 с.
13. Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В. Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур / 5-е вид., виправ., доповн. Львів : НВФ Українські технології, 2020. 806 с.
14. Пида С. В., Конончук О. Б., Тригуба О. В., Гурська О. В. Ефективність застосування мікробіологічних препаратів Ризобофіт та Ризогумін за біометричними показниками бобів (*Faba*

- bona Medic*). *Агробіологія*. 2021. № 1. С. 114–120. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2021-163-1-115-121>.
15. Піда С. В., Тригуба О. В. Функціонування симбіотичної системи люпин – *Bradyrhizobium* sp. (*Lupinus*) за сумісного застосування ризобіофіту та регуляторів росту рослин: монографія. Тернопіль : ТНПУ ім. Володимира Гнатюка, 2019. 172 с.
16. Піда С. В., Чернік І. В., Тригуба О. В. Динаміка вмісту фотосинтетичних пігментів у листках *Cicer arietinum* L. за впливу бактеріальних препаратів. *Український журнал природничих наук*. 2024. № 9. С. 46–55. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.5>.
17. Agathokleous E., Zhong Feng Z., Peñuelas J. Chlorophyll hormesis: Are chlorophylls major components of stress biology in higher plants?. *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 726. 138637. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138637>.
18. Akbar H., Sagar M., Sharif A. et al. Chapter 6 – Legumes for nutrient management in the cropping system. *Advances in Legumes for Sustainable Intensification*. 2022. P. 93–112. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85797-0.00014-8>.
19. Croft H., Chen M. J., Zhang Y. The applicability of empirical vegetation indices for determining leaf chlorophyll content over different leaf and canopy structures. *Ecological Complexity*. 2014. Vol. 17. P. 119–130. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2013.11.005>.
20. Jabborova D., Kannepalli A., Davranov K. et al. Co-inoculation of rhizobacteria promotes growth, yield, and nutrient contents in soybean and improves soil enzymes and nutrients under drought conditions. *Scientific Reports*. 2021. № 11 (1). P. 22081. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01337-9>.
21. Lalitha S. Plant growth-promoting microbes: a boon for sustainable agriculture. *Sustainable agriculture towards food security*. 2017. P. 125–128. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6647-4_8.
22. Pal S., Singh H. B., Farooqui A., Rakshit A. Fungal biofertilizers in Indian agriculture: perception, demand and promotion. *J. Eco-friend. Agric*. 2015. 10. P. 101–113.
23. Sandeep S., Nihar G., Sukhjinder K. et al. Soil microbial resources: Unlocking sustainable strategies for crop productivity and soil health. *Current Research in Microbial Sciences*. 2025. Vol. 9. 100468. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2025.100468>.
24. Wellburn A. P. The spectral determination of chlorophyll a and b, as well as carotenoids using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *J. Plant. Physiol*. 1994. Vol. 144 (3). P. 307–313.

References

1. Vrozhainist soi za vplyvu mikrobnykh preparativ / O. O. Khodanitska ta in. *Kormy i kormovyrobnytstvo*. 2024. No 97. S. 77–84. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202497-08>. [in Ukrainian]
2. Hanhur V. V., Ieremko L. S., Sokyko D. P. Formuvannia produktyvnosti nutu zalezno vid tekhnolohichnykh faktoriv v umovakh livoberezhnoho Lisostepu Ukrainy. *Zernovi kultury*. 2017. T. 1, No 2. S. 285–292. [in Ukrainian]
3. Efektyvnist vykorystannia mikrobiolohichnykh preparativ u posivakh bobiv (*Faba bona Medic*.) / S. V. Pyda ta in. *Ekolohichni nauky : naukovo-praktychnyy zhurnal*. 2022. No 2 (41). S. 38–42. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.6>. [in Ukrainian]
4. Karpenko V. P., Boyko Ya. O. Vplyv herbetsydu Maksi Moks za sumisnoho vykorystannia z biolohichnymi preparatamy na vmist khlorofilu v roslynakh horokhu ozymoho. *Novyny nauky ta prykladni naukovy rozrobky: mat. mizhnar. nauk.-prakt. konf. (m. Lviv, 28 zhovtnia 2018 r.)*. Lviv, 2018. T. 5. S. 76–78. [in Ukrainian]
5. Karpenko V. P., Novikova T. P., Prytuliak R. M., Hnatiuk M. H. Vmist pihmentiv u lystkakh sochevytsi za dii biolohichnykh preparativ. *Naukovi horyzonty*. 2019. T. 22. No 7. S. 41–47. <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2019-80-7-41-47>. [in Ukrainian]
6. Karpenko V. P., Prytuliak R. M., Ivasiuk Yu. I., Chorneha A. O. Formuvannia lystkovoї poverkhni roslын soi ta kilkosti khlorofiliv za intehrovanoi dii herbetsydu ta biolohichnykh preparativ. *Ahrobiolohiia*. 2018. No 1. S. 43–50. [in Ukrainian]
7. Kozak V. O., Chernik I. V., Pyda S. V., Kryzhanovska M. A. Fotosyntetychni pihmenty lystkiv sochevytsi kharchovoi (*Lens culinaris* Medik.) za vplyvu mikrobnykh preparativ i protruynyka Maksym. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychkh nauk*. 2025. No 13. S. 77–86. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.6>. [in Ukrainian]
8. Kots S. Ya., Kukol K. P. Vplyv pestytsydiv na bulbochkovi bakterii u chystii kulturi ta realizatsiiu ikh symbiotychnoho potentsialu. *Fiziolohiia roslын i henetyka*. 2021. 53, No 3. S. 240–261. <https://doi.org/10.15407/frg2021.03.240>. [in Ukrainian]

9. Kurdysh I. K., Tserkovniak L. S., Tsvei Ya. P., Chernata D. M. Perspektyvy i problemy introduktsii mikroorhanizmiv u ahrotsenozy. *Nauk. visnyk Chernivetskoho un-tu. Biologhiia*. 2005. Vyp. 252. S. 126–131. [in Ukrainian]
10. Metodolohiia i praktyka vykorystannia mikrobykh preparativ u tekhnolohiiakh vyroshchuvannia silskohospodarskykh kultur / V. V. Volkohon ta in.; za nauk. red. V. V. Volkohona. Kyiv : Ahrar. nauka, 2011. 156 s. [in Ukrainian]
11. Mikroorhanizmy v stabilizatsii ahroekosystem / za red. V. P. Patyky i V. V. Volkohona. Nizhyn : Vydavets PP Lysenko M. M. 2024. 352 s. [in Ukrainian]
12. Pantsyreva H. V. Funktsionuvannia asimiliatsiynoho aparatu ta produktyvnist roslyn liupynu biloho. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy*. 2019. No 5 (81). 23 s. [in Ukrainian]
13. Petrychenko V. F., Lykhochvor V. V. Roslynnytstvo. Novi tekhnolohii vyroshchuvannia polovykh kultur. 5-e vyd., vyprav., dopovn. Lviv : NVF Ukrainski tekhnolohii, 2020. 806 s. [in Ukrainian]
14. Pyda S. V., Kononchuk O. B., Tryhuba O. V., Hurska O. V. Efektyvnist zastosuvannia mikrobiolohichnykh preparativ Ryzobofit ta Ryzohumin za biometrychnymi pokaznykamy bobiv (*Faba bona Medic*). *Ahrobiolohiia*. 2021. No 1. S. 114–120. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2021-163-1-115-121>. [in Ukrainian]
15. Pyda S. V., Tryhuba O. V. Funktsionuvannia symbiotychnoi systemy liupyn – *Bradyrhizobium* sp. (*Lupinus*) za sumisnoho zastosuvannia ryzobofitu ta rehulatoriv rostu roslyn: monohrafiia. Ternopil : TNPU im. Volodymyra Hnatiuka, 2019. 172 s. [in Ukrainian]
16. Pyda S. V., Chernik I. V., Tryhuba O. V. Dynamika vmistu fotosyntetychnykh pihmentiv u lystkakh *Cicer arietinum* L. za vplyvu bakterialnykh preparativ. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychykh nauk*. 2024. No 9. S. 46–55. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.5>. [in Ukrainian]
17. Agathokleous E., Zhong Feng Z., Peñuelas J. Chlorophyll hormesis: Are chlorophylls major components of stress biology in higher plants?. *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 726. 138637. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138637>.
18. Akbar H., Sagar M., Sharif A. et al. Chapter 6 – Legumes for nutrient management in the cropping system. *Advances in Legumes for Sustainable Intensification*. 2022. P. 93–112. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85797-0.00014-8>.
19. Croft H., Chen M. J., Zhang Y. The applicability of empirical vegetation indices for determining leaf chlorophyll content over different leaf and canopy structures. *Ecological Complexity*. 2014. Vol. 17. P. 119–130. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2013.11.005>.
20. Jabborova D., Kannepalli A., Davranov K. et al. Co-inoculation of rhizobacteria promotes growth, yield, and nutrient contents in soybean and improves soil enzymes and nutrients under drought conditions. *Scientific Reports*. 2021. № 11 (1). P. 22081. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01337-9>.
21. Lalitha S. Plant growth-promoting microbes: a boon for sustainable agriculture. *Sustainable agriculture towards food security*. 2017. P. 125–128. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6647-4_8.
22. Pal S., Singh H. B., Farooqui A., Rakshit A. Fungal biofertilizers in Indian agriculture: perception, demand and promotion. *J. Eco-friend. Agric*. 2015. 10. P. 101–113.
23. Sandeep S., Nihar G., Sukhjinder K. et al. Soil microbial resources: Unlocking sustainable strategies for crop productivity and soil health. *Current Research in Microbial Sciences*. 2025. Vol. 9. 100468. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2025.100468>.
24. Wellburn A. P. The spectral determination of chlorophyll a and b, as well as carotenoids using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *J. Plant. Physiol*. 1994. Vol. 144 (3). P. 307–313.

¹S. V. Pyda, ¹I. I. Opatskyi, ¹A. Yu. Dzendzel, ²O. V. Tryhuba

¹Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

²Kremenets Taras Shevchenko Regional Academy of Humanities and Pedagogy, Ukraine

DYNAMICS OF PIGMENT ACCUMULATION IN THE LEAVES OF FABA BEANS (*FABA BONA MEDIC.*) UNDER THE INFLUENCE OF MICROBIAL PREPARATIONS

This article examines the results of studies on the dynamics of accumulation of photosynthetic pigments in the leaves of *Faba bona* depending on the growth and development stages and pre-sowing seed treatment with microbial preparations. It was found that the contents of chlorophylls and carotenoids change significantly during plant ontogenesis. The highest total chlorophyll content was recorded at the green pod stage, while the lowest values were observed during the budding stage. The maximum carotenoid content in the leaf mesophyll was noted at the flowering stage, slightly lower at the green pod stage, and lowest during budding.

Pre-sowing inoculation of seeds with the microbial preparations Rhizobofit and Rhizohumin had a significant effect on the accumulation of photosynthetic pigments in the leaves throughout the entire growing period. Under the action of Rhizobofit at the budding stage, the chlorophyll *a* content increased statistically significantly by 12.2 % compared to the control, whereas the use of Rhizohumin ensured even higher values (by 17.9 %), which was due to the complex composition of the preparation. During flowering, both Rhizobofit and Rhizohumin statistically significantly increased the contents of chlorophylls *a*, *b*, and carotenoids.

At the green pod stage and at the beginning of pod maturation, both preparations significantly increased the contents of chlorophyll *a* and carotenoids; however, the maximum values were observed with the use of Rhizohumin. An increase in the proportion of chlorophyll *a* is an important indicator of enhanced plant resistance to stress factors, particularly under conditions of climate change.

Pre-sowing seed treatment with Rhizohumin significantly reduced the chlorophyll *a* to chlorophyll *b* ratio, indicating a more intensive effect of Rhizohumin on the accumulation of chlorophyll *b* in the leaf mesophyll of *Faba bona* compared to Rhizobofit.

Seed inoculation with microbial preparations contributed to improved nitrogen nutrition of plants as a result of activation of symbiotic fixation of molecular nitrogen, which directly affected the intensity of photosynthetic pigment biosynthesis. The obtained results indicate the expediency of using microbial preparations in the cultivation technology of *Faba bona* to optimize the photosynthetic activity of plants.

Keywords: *Faba bona* Medic., microbial preparations, chlorophylls, carotenoids, pigment ratio.

Надійшла до редакції: 14.11.2025

Прийнята до друку: 11.12.2025

Опублікована: 30.12.2025