



УДК 581.1+631.8:633.3

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.5>

ДИНАМІКА ВМІСТУ ФОТОСИНТЕТИЧНИХ ПІГМЕНТІВ У ЛИСТКАХ *CICER ARIETINUM* L. ЗА ВПЛИВУ БАКТЕРІАЛЬНИХ ПРЕПАРАТІВ

С. В. Пида¹, І. В. Чернік², О. В. Тригуба³

Фотосинтез є основою продуктивності сільськогосподарських культур, тому дослідження структури фотосинтетичного апарату, факторів впливу на його формування та функціонування є важливими для вирішення проблеми підвищення їх продукційного процесу. Метою роботи було визначити вплив *Mesorhizobium ciceri* штаму ND-64 та комплексного мікробного препарату Ризогумін на динаміку вмісту фотосинтетичних пігментів у листках *Cicer arietinum* L. сортів Скарб та Ярина у ґрунтово-кліматичних умовах Західного Лісостепу України.

Дослідження проводили на важко-суглинстому чорноземі типовому агробіологічної лабораторії Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка у трьох варіантах та чотирьох повтореннях. Насіння нуту звичайного контрольного варіанту перед сівбою зволожували водою з водогону з розрахунку 2% від маси, а дослідних – рідкими формами бактеріальної суспензії селекціонованого штаму *Mesorhizobium ciceri* ND-64 (БС) та Ризогуміну згідно норм виробника. Вміст хлорофілів *a*, *b* і каротиноїдів у свіжозібраних листках рослин визначали методом екстрагування диметилсульфооксидом за Вельбурном. Коефіцієнти екстинкції отриманих розчинів вимірювали на спектрофотометрі UIT SFU-0172 за довжини хвиль: $\lambda = 649, 665, 480$.

Встановлено, що застосування мікробних препаратів у технології вирощування нуту звичайного впливало на накопичення фотосинтетичних пігментів у листках. Інокуляція насіння *M. ciceri* ND-64 статистично вірогідно збільшувала упродовж генеративних фаз росту і розвитку рослин у листках вміст хлорофілу *a*. Застосування Ризогуміну суттєво підвищувало кількість хлорофілу *a* в листках сорту Скарб. Накопичення пластидних пігментів у листках також залежало від фази онтогенезу та сортових особливостей рослин. Найвищий вміст хлорофілів визначено

¹ доктор сільськогосподарських наук, професор,
завідувач кафедри ботаніки та зоології
(Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, м. Тернопіль)
e-mail: spyda@ukr.net

ORCID: 0000-0002-7858-104X

² аспірант

(Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, м. Тернопіль)
e-mail: igor77cheri@gmail.com

ORCID: 0009-0002-4966-0475

³ кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри біології, екології та методик їх навчання

(Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка, м. Кременець)
e-mail: boratun1@ukr.net

ORCID: 0000-0002-7264-7714

в листках рослин у фазі зеленого бобу у всіх варіантах досліджу. Мікробні препарати суттєво не впливали на накопичення основних каротиноїдів у листках нуту звичайного обох сортів, статистично вірогідно збільшували показники співвідношення між кількістю хлорофілів *a* і *b*, суми хлорофілів *a* і *b* до кількості основних каротиноїдів.

Застосування мікробних препаратів на основі *M. ciceri* є перспективним елементом технології нуту звичайного, що підвищує уміст фотосинтетичних пігментів у листках і опосередковано впливає на його продуктивність.

Ключові слова: *Cicer arietinum* L., хлорофіли, каротиноїди, бактеріальна суспензія, Ризогумін.

DYNAMICS OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS CONTENT IN LEAVES OF *CICER ARIETINUM* L. UNDER THE INFLUENCE OF BACTERIAL PREPARATIONS

S. V. Pyda, I. V. Chernik, O. V. Tryhuba

Photosynthesis is the basis of crop productivity, so the study of the structure of the photosynthetic apparatus and of factors influencing its formation and functioning are important for solving the problem of increasing their productive process. The aim of the study was to determine the effect of Mesorhizobium ciceri strain ND-64 and the complex microbial preparation Rhyzogumin on the dynamics of photosynthetic pigments content in leaves of *Cicer arietinum* L. varieties Skarb and Yaryna under soil and climatic conditions of the Western Forest-Steppe of Ukraine.

The study has been conducted on a heavy loamy chernozem of the typical agrobiological laboratory of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University in three variants and four replications. Chickpea seeds of the regular control variant have been moistened with water from the tap at a rate of 2 % by weight before sowing, and the experimental seeds have been moistened with liquid forms of bacterial suspension of the selected strain of Mesorhizobium ciceri ND-64 (BS) and Rhyzogumin according to the manufacturer's standards. The content of chlorophylls *a*, *b* and carotenoids in freshly harvested plant leaves has been determined by the Welbourne method of dimethyl sulfoxide extraction. The extinction coefficients of the obtained solutions have been measured on a UIT SFU-0172 spectrophotometer at wavelengths: $\lambda = 649, 665, 480$.

It has been found that the use of microbial preparations in the technology of growing chickpea has affected the accumulation of photosynthetic pigments in the leaves. Inoculation of seeds with *M. ciceri* ND-64 statistically have significantly increased the content of chlorophyll *a* in the leaves during the generative phases of plant growth and development. The use of Rhyzogumin have significantly increased the amount of chlorophyll *a* in the leaves of Skarb variety. The accumulation of plastid pigments in the leaves also have depended on the phase of ontogenesis and varietal characteristics of plants. The highest content of chlorophylls has been determined in the leaves of plants in the green bean phase in all experimental variants. The microbial preparations have not significantly affected the accumulation of basic carotenoids in the leaves of chickpea of both varieties, have statistically significantly increased the ratio between the amount of chlorophylls *a* and *b*, the sum of chlorophylls *a* and *b* to the amount of basic carotenoids.

The use of microbial preparations based on *M. ciceri* is a promising element of chickpea technology, which increases the content of photosynthetic pigments in the leaves and indirectly affects its productivity.

Key words: *Cicer arietinum* L., chlorophylls, carotenoids, bacterial suspension, Rhyzogumin.

Вступ

Фотосинтез є основним процесом формування продуктивності сільськогосподарських культур, зокрема і нуту звичайного (*Cicer arietinum* L.). На його ефективність впливають технологічні заходи вирощування, біотичні та абіотичні фактори впродовж періоду розвитку рослин.

Усі зелені органи рослин поглинають енергію сонячних променів, але найбільше листові пластинки (Сухова, 2012). Сумарний фотосинтез через листки сягає 60–95%. У *Cicer arietinum* L. частиною

листіків є вусики, які також приймають участь в фотосинтезі, утримують рослину в вертикальному положенні, що у свою чергу покращує фотосинтетичний процес (Щигорцова, 2009; Побережна та ін., 2024).

Зміна клімату має багатогранний вплив на ріст і фізіологію бобових, зокрема водний режим. *Cicer arietinum* L. є однією із перспективних жаро- та посухостійких культур, переносить спеку та повітряну посуху (Січкара та ін., 2000; Січкара, 2019; Мельник та ін., 2020). Посівні площі під нутом в Україні з кожним роком зростають

і становлять близько 100 тис. га, культура представлена сортами вітчизняної та зарубіжної селекції (Воропай та ін., 2024). На зовнішньому ринку спостерігається висока вартість зерна, що допоможе нуту стати перспективним щодо реалізації продукції (Степасюк, 2023; Воропай та ін., 2024).

Потенціал продуктивності культури суттєво залежить від підбору елементів технології вирощування, зокрема мікробіологічних препаратів, що сприяють поліпшенню живлення культури (Rozhkov et al., 2022) та як наслідок підвищення урожайності екологічно чистої продукції. Очікується, що ринок біодобрив розширюватиметься із сукупним річним темпом зростання 12,1 % до 2027 року (Mordor Exploration, 2022). Застосування мікробіологічних препаратів у технології вирощування вважається перспективним заходом для підвищення продуктивності бобових культур екологічно чистим способом (Gorai et al., 2021; Parihar et al., 2022). Завдяки досягненням біотехнології людство стає свідком широкомасштабного застосування мікроорганізмів у сільськогосподарському секторі (Pandey et al., 2023).

Нут звичайний потребує детально розроблених та апробованих у різних ґрунтово-кліматичних зонах технологій вирощування (Воропай, 2024). Сьогодні вплив мікробних препаратів на продуктивність *Cicer arietinum* L., зокрема фотосинтетичну активність в умовах Західного Лісостепу України вивчений недостатньо, тому це питання заслуговує уваги. Метою роботи було визначити вплив *Mesorhizobium ciceri* штаму ND-64 та комплексного мікробного препарату Ризогумін на динаміку вмісту фотосинтетичних пігментів у листках нуту звичайного у ґрунтово-кліматичних умовах Західного Лісостепу України.

Матеріал і методи

Матеріалом дослідження слугували нут звичайний сортів Скарб та Ярина. Скарб – посухостійкий, крупнонасінний, високоврожайний, середньостиглий (тривалість вегетаційного періоду 88–93 діб) сорт. Рекомендований для Степу та Лісостепу, відноситься до середземноморського підвиду (subsp. mediterraneum. G. Pop.), тип Kabuli, різновидність іспанко-флавесценс, субрізновидність пірокарпум (hispanico-flavescens subvar. pirocarpum G. Pop.) (Каталог ..., 2023). Ярина – перший у світі сорт нуту, який за своїми характеристиками знаходиться між Desi і Kabuli типами. Сорт харак-

теризується крупним насінням коричневого кольору, високою посухостійкістю, високоврожайний, середньо-ранньостиглий, тривалість вегетаційного періоду – 82–85 діб (Мазур та ін., 2022). Насіння нуту звичайного отримали із Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насінництва та сортовивчення (м. Одеса).

Дослідження проводили упродовж 2021–2023 років на важко-суглинистому чорноземі типовому агробіологічної лабораторії Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка (ТНПУ) у трьох варіантах та чотирьох повтореннях. Насіння нуту звичайного контрольного варіанту (К) перед сівбою зволожували водою з водогону з розрахунку 2% від маси, а дослідних – рідкими формами бактеріальної суспензії селекціонованого штаму *Mesorhizobium ciceri* ND-64 (БС) та Ризогуміну згідно норм виробника. Мікробні препарати отримали з Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН України (м. Чернігів).

Технологія вирощування культури нуту звичайного була типовою для Лісостепу України (норма висіву – 400 тис. насінин на 1 га, ширина міжрядь 45 см, глибина сівби – 3–4 см, строк сівби – друга половина квітня).

Упродовж вегетації визначали вміст хлорофілів *a*, *b* і каротиноїдів у свіжозібраних листках нуту звичайного безмацераційним методом їх екстагування диметилсульфоксидом за Вельбурном і обчислювали в міліграмах на 1 г (мг/г) сирової речовини (Wellburn, 1994). Коефіцієнти екстинкції отриманих розчинів вимірювали на спектрофотометрі UIT SFU-0172 за довжини хвиль: $\lambda = 649, 665, 480$. Концентрацію хлорофілів *a* і *b* та основних каротиноїдів обраховували за наступними формулами:

$$\text{Chl } a = 12.19 \times D_{665} - 3.45 \times D_{649}, [\text{мг/мл}]$$

$$\text{Chl } b = 21.99 \times D_{649} - 5.32 \times D_{665}, [\text{мг/мл}]$$

$$\text{Car} = (1000D_{480} - 2.14 \times \text{Chl } a - 70.16 \times \text{Chl } b) / 220, [\text{мг/мл}]$$

Обробка статистичних даних здійснювалась за допомогою комп'ютерної програми Microsoft Excel.

Результати

Встановлено, що застосування мікробних препаратів у технології вирощування нуту звичайного впливало на накопичення фотосинтетичних пігментів у листках упродовж генеративних фаз розвитку рослин. У фазу цвітіння нуту звичайного сорту Скарб за

впливу мікробних препаратів уміст хлорофілу *a* та сума хлорофілів *a* і *b* у листках статистично вірогідно підвищились на 18,6% та 15,9% (БС), 15,2 (Ризогумін) % (табл. 1).

Спостерігається тенденція до підвищення (на 2,5%) умісту основних каротиноїдів за передпосівної інокуляції насіння мікробними препаратами. Під кінець цвітіння на початку утворення бобів виявлено аналогічну закономірність стосовно накопичення хлорофілу *a* й основних каротиноїдів у мезофілі листків. Їх уміст за впливу БС та Ризогуміну збільшився на 6,1% та 6,9% й 16,7% та 3,3% відповідно. У цій фазі у листках нуту звичайного за впливу бактеріальних препаратів уміст хлорофілу *b* підвищився на 7,1% (БС) та 10,7% (Ризогумін). У фазі зеленого бобу визначено статистично вірогідне зростання у листках умісту хлорофілу *a* на 8,9% за інокуляції *M. ciceri* ND-64. Варто зазначити, що у ґрунті дослідних полів агробіолабораторії ТНПУ наявні місцеві популяції бульбочкових бактерій нуту, які спонтанно інокулювали корені рослин контрольного варіанту, а відтак поліпшували азотне живлення рослин контрольного варіанту і сприяли накопиченню пігментів у їх листках. На початку досягання бобів статистично вірогідно у листках рослин сорту Скарб дослідних варіантів підвищується уміст хлорофілу *a* на 10,6% (БС) і 11,3% (Ризогумін) та знижується уміст каротиноїдів на 11,4%. Найвищий уміст зелених піг-

ментів упродовж генеративних фаз росту і розвитку визначено у фазі зеленого бобу у всіх варіантах досліду.

Інокуляція насіння сорту Ярина *M. ciceri* ND-64 статистично вірогідно збільшувала упродовж генеративних фаз росту і розвитку рослин вміст хлорофілу *a* на 7,8% (цвітіння), 8,6% (кінець цвітіння-початок утворення бобів), 15,2% (зелений біб) та 9,8% (початок досягання бобів) (табл. 2). За передпосівної обробки насіння нуту звичайного сорту Ярина комплексним мікробіологічним препаратом Ризогумін спостерігається тенденція щодо підвищення вмісту хлорофілів *a* і *b*, відповідно їх суми та зменшення кількості основних каротиноїдів.

Уміст пластидних пігментів у мезофілі листків також залежить від сортових особливостей рослин. Листки нуту звичайного сорту Скарб характеризуються вищою кількістю суми хлорофілів порівняно з аналогічними показниками сорту Ярина (див. табл. 1, 2). Під час цвітіння нуту звичайного сорту Ярина листки накопичували в 1,62 (К), 1,58 (БС) та 1,46 (Ризогумін) рази більше основних каротиноїдів порівняно з листками сорту Скарб в аналогічній фазі росту і розвитку рослин.

Розрахунки показали, що за передпосівної обробки насіння нуту звичайного мікробними препаратами у більшості фаз росту і розвитку рослин статистично вірогідно зростає співвідношення між кількі-

Таблиця 1

Вміст пігментів (мг/г сирої маси) у листках нуту звичайного сорту Скарб за впливу мікробних препаратів, $M \pm m$

Варіант	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіли (<i>a</i> + <i>b</i>)	Каротиноїди
Фаза цвітіння				
К	1,13±0,011	0,25±0,013	1,38	0,40±0,036
БС	1,34±0,044*	0,26±0,026	1,60	0,41±0,024
Ризогумін	1,34±0,037*	0,25±0,019	1,59	0,41±0,023
Фаза кінець цвітіння-початок утворення бобів				
К	1,15±0,021	0,28±0,004	1,43	0,30±0,017
БС	1,22±0,016*	0,30±0,006	1,52	0,35±0,018*
Ризогумін	1,23±0,017*	0,31±0,012	1,54	0,31±0,016
Фаза зеленого бобу				
Контроль	1,79±0,121	0,41±0,023	2,20	0,42±0,026
БС	1,95±0,128*	0,36±0,015	2,31	0,43±0,021
Ризогумін	1,79±0,131	0,42±0,041	2,21	0,41±0,024
Фаза початок досягання бобів				
К	1,41±0,062	0,32±0,021	1,73	0,35±0,021
БС	1,56±0,015*	0,35±0,017	1,91	0,31±0,017
Ризогумін	1,57±0,102*	0,36±0,004	1,93	0,31±0,019

Примітка. *відмінності порівняно з контролем достовірні при $P \leq 0,05$, $n = 4$

стю хлорофілів *a* і *b* за рахунок підвищення вмісту хлорофілу *a* (табл. 3).

За впливу БС та Ризогуміну у листках обох сортів нуту звичайного інтенсивніше синтезується хлорофіл *a*, порівняно з хлорофілом *b*. Упродовж досліджуваного періоду зростають показники співвідношення суми хлорофілів *a* і *b* до кількості основних каро-

тиноїдів. За впливу мікробних препаратів визначено статистично вірогідне зростання співвідношення суми хлорофілів *a* і *b* до кількості основних каротиноїдів у фазах цвітіння та початку достигання бобів у нуту звичайного сорту Скарб. Зазначені вище показники у сорту Ярина істотно відрізнялися порівняно з К за впливу Ризогуміну

Таблиця 2

Вміст пігментів (мг/г сирової маси) у листках нуту звичайного сорту Ярина за впливу мікробних препаратів, $M \pm m$

Варіант	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіли (<i>a</i> + <i>b</i>)	Каротиноїди
Фаза цвітіння				
К	1,41±0,045	0,31±0,005	1,72	0,65±0,022
БС	1,52±0,033*	0,34±0,020	1,86	0,65±0,024
Ризогумін	1,46±0,118	0,32±0,025	1,78	0,60±0,023
Фаза кінець цвітіння-початок утворення бобів				
К	1,28±0,044	0,27±0,023	1,55	0,35±0,021
БС	1,39±0,037*	0,27±0,017	1,66	0,38±0,022
Ризогумін	1,30±0,056	0,28±0,029	1,58	0,34±0,021
Фаза зеленого бобу				
К	1,58±0,053	0,33±0,023	1,91	0,41±0,010
БС	1,82±0,089*	0,40±0,035	2,22	0,42±0,021
Ризогумін	1,59±0,051	0,34±0,023	1,93	0,38±0,024
Фаза початок достигання бобів				
К	1,43±0,048	0,36 ± 0,049	1,80	0,33 ± 0,021
БС	1,57±0,047*	0,36±0,032	1,93	0,34 ± 0,020
Ризогумін	1,54±0,045	0,37±0,004	1,91	0,32±0,018

Примітка. *відмінності порівняно з контролем достовірні при $P \leq 0,05$, $n=4$

Таблиця 3

Вплив бактеріальних препаратів на співвідношення пігментів хлоропластів у листках нуту звичайного, $M \pm m$

Варіант	Хл. <i>a</i> / Хл. <i>b</i>	Хл. (<i>a</i> + <i>b</i>) / каротиноїди	Хл. <i>a</i> / Хл. <i>b</i>	Хл. (<i>a</i> + <i>b</i>) / каротиноїди
Сорт Скарб		Сорт Ярина		
Фаза цвітіння				
К	4,52±0,21	3,45±0,09	4,55±0,11	2,65±0,14
БС	5,15±0,12*	3,90±0,17*	4,47±0,18	2,86±0,16
Ризогумін	5,36±0,22*	3,88±0,14*	4,56±0,33	2,97±0,11*
Фаза кінець цвітіння-початок утворення бобів				
К	4,11±0,22	4,77±0,31	4,74±0,22	4,42±0,05
БС	4,07±0,07*	4,34±0,18	5,15±0,08*	4,37±0,17
Ризогумін	3,97±0,12	4,97±0,14	4,64±0,31	4,65±0,11*
Фаза зеленого бобу				
К	4,37±0,24	5,24±0,33	4,79±0,21	4,66±0,23
БС	5,42±0,09*	5,37±0,17	4,55±0,11	5,29±0,17*
Ризогумін	4,26±0,14	5,39±0,13	4,68±0,13	5,08±0,15
Фаза початок достигання бобів				
К	4,41±0,26	4,94±0,24	3,97±0,12	5,45±0,13
БС	4,46±0,11	6,16±0,18*	4,36±0,08*	5,85±0,15*
Ризогумін	4,36±0,16	6,23±0,15*	4,16±0,13	5,97±0,14*

Примітка. *відмінності порівняно з контролем достовірні при $P \leq 0,05$, $n = 4$

у фазах цвітіння, кінець цвітіння-початок утворення бобів та на початку досягання бобів. За інокуляції БС виявлено підвищення цих параметрів у фазах зеленого бобу та на початку досягання бобів.

Обговорення

Особливості морфології, анатомії та фізіології листка *Cicer arietinum* L. забезпечує здійснення основної функції – фотосинтезу. Щоб охарактеризувати ступінь розвитку фотосинтетичного апарату нуту звичайного необхідно врахувати вміст хлорофілів у листках, оскільки це впливає на побічну характеристику потенціальної фотосинтетичної активності. Їх уміст та співвідношення фотосинтетичних пігментів визначається періодами онтогенезу рослин та абіотичними факторами. Пігментний комплекс є основою для претворення сонячної енергії на енергію хімічних зв'язків органічних речовин (Lichtenthaler, 1987). Активність процесу фотосинтезу залежить від наявності та активності хлорофілу «зелена кров рослин», що надає їм зеленого забарвлення, поглинає сонячне світло яке перетворюється на крохмаль та цукор (Бурикіна та ін., 2022). Хлорофіли *a* і *b* містяться у хлоропластах клітин вищих рослин, виконують основну функцію в світловій фазі фотосинтезу. Основним пігментом для фотосинтезу в зелених рослин є хлорофіл *a* (Мусієнко та ін., 2021).

Результати досліджень показали, що вміст зелених пігментів у листках нуту звичайного сортів Скарб та Ярина за вирощування в умовах Західного Лісостепу України за передпосівної обробки насіння БС та Ризогуміном залежить від впливу мікробних препаратів, періоду індивідуального розвитку та сортових особливостей рослин. Бактеріальні препарати статистично вірогідно підвищують уміст хлорофілу *a* у мезофілі листків нуту звичайного. Збільшення вмісту фотосинтетичних пігментів у листках нуту звичайного за впливу БС та Ризогуміну можна пояснити поліпшенням азотного живлення рослин дослідних варіантів за рахунок біологічної фіксації молекулярного нітрогену симбіотичними системами, утвореними інтродукованими штамми *M. ciceri* бактеріальних препаратів.

Показано, що обробка насіння наночастинками MgO, збільшує вміст хлорофілу та вуглеводів у листках нуту (Sharma et al., 2022).

Каротиноїди – це природні пігменти, синтезовані з рослин. Людина і тварини

не здатні до біосинтезу каротиноїдів, тому залежать від харчових джерел каротиноїдів. Каротини рослинного походження метаболізуються з утворенням вітаміну А з α - і β -каротину і β -криптоксантину, а перетворення деяких каротинів на вітамін А відбувається у тварин. Каротиноїди можуть зменшувати перекисне окиснення ліпідів, ефективно поглинаючи вільні радикали, і захищати клітинні мембрани та ДНК від окисного пошкодження (Lichtenthaler, 1987). Ксантофіли – клас каротиноїдів, як і каротини приймають участь у поглинанні енергії світла в синьо-фіолетовій ділянці сонячного спектра та захищають фотосинтетичний апарат при підвищеній інсоляції (Biger, 1990).

Співвідношення каротиноїдів до хлорофілів вважають ознакою адаптації до стресів, менше його значення може свідчити про кращу адаптацію до несприятливих умов (Прядкіна та ін., 2021). Підвищення вмісту каротиноїдів пов'язують з впливом несприятливих чинників (Vuleta, 2015). Встановлено, що мікробні препарати суттєво не впливали на накопичення основних каротиноїдів у листках нуту звичайного обох сортів.

Висновки

Аналіз динаміки вмісту пігментів упродовж генеративних фаз розвитку показав, що фотосинтетичний апарат нуту звичайного сортів Скарб та Ярина динамічно реагує на передпосівну обробку насіння БС та Ризогуміном за вирощування в умовах Західного Лісостепу. У результаті застосування бактеріальних препаратів на основі *M. ciceri* у технології вирощування культури поліпшується азотне живлення шляхом біологічної фіксації молекулярного нітрогену симбіотичними системами, а відтак статистично вірогідно підвищується вміст хлорофілів у листках рослин. Вміст хлорофілу *a* у мезофілі листків рослин нуту звичайного сортів Скарб та Ярина за впливу *M. ciceri* ND-64 упродовж генеративних фаз росту і розвитку статистично вірогідно збільшується на 18,6% (цвітіння) – 10,6% (початок досягання бобів) та 7,8% (цвітіння) – 15,2% (зелений біб). БС ефективніше впливає на накопичення пігментів у листках рослинами нуту звичайного порівняно з Ризогуміном. Мікробні препарати суттєво не впливають на вміст основних каротиноїдів у листках. Накопичення пластидних пігментів у мезофілі листків залежить від сортових особли-

востей рослин та фази онтогенезу. Листки нуту звичайного сорту Скарб характеризуються вищою кількістю суми хлорофілів порівняно з аналогічними показниками сорту Ярина.

Застосування мікробних препаратів на основі *M. ciceri* є перспективним елементом технології нуту звичайного, що підвищує уміст фотосинтетичних пігментів у листках і опосередковано впливає на його продуктивність.

Список використаної літератури

- Бурикiна С.І., Парлікокошко М.С. Синтез хлорофілів в рослинах нуту за дії мінеральних добрив та інокулянтів. *Аграрні інновації. Меліорація, землеробство, рослинництво*. 2022. Вип. № 13. С. 13–23.
- Воропай Ю.В., Гепенко О.В. Вплив норм висіву та способів сівби на фотосинтетичний потенціал рослин нуту в Східному Лісостепу України. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. Сільськогосподарські науки*. 2024. Вип. 2 (43). С. 30–35. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-2.4>.
- Воропай Ю.В., Чигрин О.В., Деревянко І.О. Вплив елементів технології вирощування на вміст хлорофілу в рослинах нуту. *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 135. Частина 1. С. 40–45. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.135.1.6>.
- Каталог сортів та гібридів селекційно-генетичного інституту національного центру насіннезнавства та сортовивчення. Одеса, 2023. 128 с.
- Мусієнко М.М., Паршикова Т.В., Славний П.С. Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин. К. : Фітоцентр, 2001. 200 с.
- Побережна Л.В., Бахмат О.М. Фотосинтетична продуктивність посівів нуту звичайного залежно від обробки насіння та позакореневого підживлення рослин. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. Сільськогосподарські науки*. 2024. Вип. 1 (42). С. 39–46. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-1.6>.
- Прядкіна Г.О., Махаринська М.Н. Асиміляційний апарат листків окремих ярусів у сортів озимої пшениці за несприятливих умов навколишнього середовища. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. Т. 53. № 1. С. 74–86 <https://doi.org/10.15407/frg2021.01.74>.
- Ріст та розвиток нуту в умовах Північно-Східного Лісостепу України / Мельник А. В. та ін. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2020. Вип. 2 (40). С. 38–46.
- Січкач В.І. Відлуння нутового буму. *The Ukrainian Farmer*. 2019. № 3 (111). С. 118.
- Січкач В.І. Технологія для нуту. *The Ukrainian Farmer*. 2019. № 1 (109). С. 26.
- Січкач В.І., Бушуляк О.В. Перспективи селекції нуту в умовах північного Лісостепу України. *Вісник аграрної науки*. 2000. № 1. С. 38–40.
- Сортові ресурси зернобобових культур в Україні: сучасний стан і перспективи використання / Мазур В. А. та ін. Вінниця : ТВОРИ, 2022. 196 с.
- Степасюк Л.М. Перспективи вирощування нуту в Україні. *Формування ринкових відносин в Україні*. 2023. № 5 (264). С. 51–57.
- Сухова Г.І. Фотосинтетична діяльність сортів сочевиці в умовах Східного Лісостепу України. *Вісник ХНАУ. Серія: Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво*. 2012. № 2. С. 150–155.
- Щигорцова О.Л. Вирощування бобових культур – чини, сочевиці, гороху, нуту в Криму без застосування азотних добрив. «Проблеми та перспективи ведення землеробства в посушливій зоні Степу України» матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. М. Херсон 16–18 черв. 2009 р. Херсон : ІЗПР УААН, 2009. С. 161–163.
- Bacillus siamensis CNE6- a multifaceted plant growth promoting endophyte of *Cicer arietinum* L. having broad spectrum antifungal activities and host colonizing potential / Gorai S. P. et al. *Microbiological Research*. 2021. 252. P. 126859. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126859>.
- Biger W., Björkman O. Role of the xanthophylls cycle in photoprotection elucidated by measurements of lightinduced absorbance change, fluorescence and photosynthesis in leaves of *Hedera canariensis*. *Photosynthesis Research*. 1990. 25 (3). P. 173–185. <https://doi.org/10.1007/BF00033159>.
- Chapter 1 – Plant growth-promoting microbiomes: History and their role in agricultural crop improvement / Pandey V. V. et al. *Plant-Microbe Interaction – Recent Advances in Molecular and Biochemical Approaches*. 2023. Vol. 1. P. 1–44. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91875-6.00012-8>.

Chapter 13 – Biostimulants for improving nutritional quality in legumes / Parihar P. et al. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*. 2022. P. 261–275. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85579-2.00011-3>.

Lichtenthaler H.K. Chlorophyll and carotenoids: Pigments of photosynthetic membranes. *Methods in enzymology*. 1987. 148. P. 350–382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1).

MgO nanoparticles priming promoted the growth of black chickpea / Sharma P. et al. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2022. Vol. 10. 100435. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100435>.

Mordor Exploration. Global biofertilizers market growth, trends and forecast. 2022–2027 (2022).

Vuleta A., Maniasevic Jovanovic S., Tucic B. How do plants cope with oxidative stress in nature? A study on the dwarf bearded iris (*Iris pumila*). *Acta Physiol. Plant*. 2015. Vol. 37. P. 1711. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1711->.

Warkentin Genetic diversity of nutritionally important carotenoids in 94 pea and 121 chickpea accessions / Ashokkumar K. et al. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2015. Vol. 43. P. 49–60. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.04.014>.

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.

Chickpea Varieties Productivity Depending on Combination of Different Sowing Methods and Sowing Rate in the Eastern Forests Steppe of Ukraine / Rozhkov A. O. et al. *Ecological engineering & Environmental technology*. 2022. Vol. 23. Is. 1. P. 88–101.

References

Burykina, S.I., & Parlikokoshko, M.S. (2022). Syntez khlorofiliv v roslynakh nutu za dii mineralnykh dobryv ta inokuliantiv [Synthesis of chlorophylls in chickpea plants under the action of mineral fertilizers and inoculants]. *Ahrarni innovatsii. Melioratsiia, zemlerobstvo, roslynnystvo [Agricultural innovations. Land reclamation, agriculture, crop production]*, 3, 13–23 [in Ukrainian].

Voropai, Yu.V., & Hepenko, O.V. (2024). Vplyv norm vysivu ta sposobiv sivby na fotosyntetychnyi potentsial roslyn nutu v Skhidnomu Lisostepu Ukrainy [Influence of seeding rates and sowing methods on the photosynthetic potential of chickpea plants in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika. Silskohospodarski nauky [Podolsk Herald: Agriculture, Technology, Economics. Agricultural Sciences]*, 2 (43), 30–35 [in Ukrainian].

Voropai, Yu.V., Chyhryn, O.V., & Derevianko, I.O. (2024). Vplyv elementiv tekhnolohii vyroshchuvannya na vmist khlorofilu v roslynakh nutu [Influence of elements of cultivation technology on the chlorophyll content in chickpea plants]. *Tavriyskyi naukovyi visnyk [Tavria Scientific Bulletin]*, 135, 1, 40–45. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.135.1.6> [in Ukrainian].

Kataloh sortiv ta hibrydiv selektsiino-henetychnoho instytutu natsionalnoho tsentru nasinnieznavstva ta sortovyvchennia (2023). [Catalog of varieties and hybrids of the breeding and genetic institute of the national center of seed science and variety study]. Odesa, 128 p. [in Ukrainian].

Musiienko, M.M., Parshykova, T.V., & Slavnyi, P.S. (2021). Spektrofotometrychni metody v praktytsi fiziolohii, biokhimii ta ekolohii roslyn [Spectrophotometric methods in the practice of plant physiology, biochemistry and ecology]. K. : Fitotsentr. 200 [in Ukrainian].

Poberezhna, L.V., & Bakhmat, O.M. (2024). Fotosyntetychna produktyvnist posiviv nutu zvychainoho zalezno vid obrobky nasinnia ta pozakorenevoho pidzhyvlennia roslyn [Photosynthetic productivity of chickpea crops depending on seed treatment and foliar fertilization of plants]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika. Silskohospodarski nauk [Podolsk herald: agriculture, technology, economics]*, 1 (42), 39–46. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-1.6> [in Ukrainian].

Priadkina, H.O., & Makharynska, M.N. (2021). Asymiliatsiinyi aparat lystkiv okremykh yarusiv u sortiv ozymoi pshenytsi za nespryiatlyvykh umov navkolyshnoho seredovyscha [Assimilation apparatus of leaves of separate tiers in winter wheat varieties under unfavorable environmental conditions]. *Fiziolohiia roslyn i henetyka [Plant physiology and genetics]*, 53, 1, 74–86. <https://doi.org/10.15407/frg2021.01.74> [in Ukrainian].

- Melnyk, A.V. (Ed.) (2020). Rist ta rozvytok nutu v umovakh Pivnichno-Skhidnoho Lisostepu Ukrainy [Growth and development of chickpeas in the North-Eastern Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarynoho universytetu [Bulletin of Sumy National Agrarian University]*, 2 (40), 38–46 [in Ukrainian].
- Sichkar, V.I. (2019). Vidlunnia nutovoho bumy [Echoes of the chickpea boom]. *The Ukrainian Farmer*, 3 (111), 118 [in Ukrainian].
- Sichkar, V.I. (2019) Tekhnolohiia dlia nutu [Technology for chickpeas]. *The Ukrainian Farmer*, 1 (109), 26 [in Ukrainian].
- Sichkar, V.I., & Bushulian, O.V. (2000). Perspektyvy selektsii nutu v umovakh pivnichnoho Lisostepu Ukrainy [Prospects for chickpea breeding in the conditions of the northern Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk ahrarynoi nauky [Bulletin of Agrarian Science]*, 1, 38–40 [in Ukrainian].
- Mazur, V.A. (Ed.) (2022) Sortovi resursy zernobovykh kultur v Ukraini: suchasnyi stan i perspektyvy vykorystannia [Varietal resources of leguminous crops in Ukraine: current state and prospects of use]. Vinnytsia : TVORY, 196 p. [in Ukrainian].
- Stepasiuk, L.M. (2023). Perspektyvy vyroshchuvannia nutu v Ukraini [Prospects for growing chickpeas in Ukraine]. *Formuvannia rynkovykh vidnosyn v Ukraini [Formation of market relations in Ukraine]*, 5 (264), 51–57 [in Ukrainian].
- Sukhova, H.I. (2012). Fotosyntetychna diialnist sortiv sochevysi v umovakh Skhidnoho Lisostepu Ukrainy [Photosynthetic activity of lentil varieties in the conditions of the Eastern Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk KhNAU. Seriya: Roslynnnytstvo, selektsiia i nasynnytstvo, plodoovochivnytstvo [Visnyk KhNAU. Series: Crop production, breeding and seed production, horticulture]*, 2, 150–155 [in Ukrainian].
- Shchyhortsova, O.L. (2009). Vyroshchuvannia bobovykh kultur – chyny, sochevysi, horokhu, nutu v Krymu bez zastosuvannia azotnykh dobryv [Cultivation of leguminous crops – peas, lentils, peas, chickpeas in the Crimea without the use of nitrogen fertilizers]. «*Problemy ta perspektyvy vedennia zemlerobstva v posushlyvii zoni Stepu Ukrainy [Problems and prospects of farming in the arid zone of the Steppe of Ukraine]*» materialy Vseukr. nauk.-prakt. konf. Kherson: IZPR UAAN, pp. 161–163 [in Ukrainian].
- Gorai, S.P. (Ed.) (2021). *Bacillus siamensis* CNE6- a multifaceted plant growth promoting endophyte of *Cicer arietinum* L. having broad spectrum antifungal activities and host colonizing potential. *Microbiological Research*, 252, 126859. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126859> [in English].
- Biger, W., & Björkman, O. (1990). Role of the xanthophylls cycle in photoprotection elucidated by measurements of lightinduced absorbance change, fluorescence and photosynthesis in leaves of *Hedera canariensis*. *Photosynthesis Research*, 25 (3), 173–185. <https://doi.org/10.1007/BF00033159> [in English].
- Pandey, V.V. (Ed.) (2023). Chapter 1 – Plant growth-promoting microbiomes: History and their role in agricultural crop improvement. *Plant-Microbe Interaction – Recent Advances in Molecular and Biochemical Approaches*, 1, 1–44. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91875-6.00012-8> [in English].
- Parihar, P. (Ed.) (2022). Chapter 13 – Biostimulants for improving nutritional quality in legumes. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*, 261–275. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85579-2.00011-3> [in English].
- Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophyll and carotenoids: Pigments of photosynthetic membranes. *Methods in enzymology*, 148, 350–382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1) [in English].
- Sharma, P. (Ed.) (2022). MgO nanoparticles priming promoted the growth of black chickpea. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, 100435. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100435> [in English].
- Mordor Exploration. Global biofertilizers market growth, trends and forecast. 2022–2027 (2022) [in English].
- Vuleta, A., Manitasevic, Jovanovic, S., & Tucic, B. (2015). How do plants cope with oxidative stress in nature? A study on the dwarf bearded iris (*Iris pumila*). *Acta Physiol. Plant.*, 37, 1711. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1711-> [in English].

Ashokkumar, K. (Ed.) (2015). Warkentin Genetic diversity of nutritionally important carotenoids in 94 pea and 121 chickpea accessions. *Journal of Food Composition and Analysis*, 43, 49–60. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.04.014> [in English].

Wellburn, A.P. (1994). The spectral determination of chlorophyll a and b, as well as carotenoids using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *J. Plant. Physiol.*, 144 (3), 307–313 [in English].

Rozhkov, A.O. (2022). Chickpea Varieties Productiviti Depending on Combination of Different Sowing Methods and Sowing Rate in the Eastern Forests Steppe of Ukraine. *Ecological engineering & Environmental technology*, 23 (1), 88–101 [in English].

Отримано: 26.07.2024
Прийнято: 14.08.2024