

ВПЛИВ БАКТЕРІАЛЬНИХ ПРЕПАРАТІВ НА НАКОПИЧЕННЯ ФОТОСИНТЕТИЧНИХ ПІГМЕНТІВ У ЛИСТКАХ *CICER ARIETINUM* L.

Чернік Ігор Валерійович,
аспірант

Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка
ORCID ID: 0009-0002-4966-0475

Пида Світлана Василівна,

доктор сільськогосподарських наук, професор,
завідувач кафедри ботаніки та зоології

Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка
ORCID ID: 0000-0002-7858-104X

Scopus Author ID: 57893178000

Web of Science Researcher ID: I-7275-2018

Тригуба Олена Василівна,

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

Кременецької обласної гуманітарно-педагогічної академії імені Тараса Шевченка
ORCID ID: 0000-0002-7264-7714

Мацюк Оксана Богданівна,

кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри ботаніки та зоології

Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка
ORCID ID: 0000-0002-0117-1325

У статті представлено результати дослідження впливу передпосівної обробки насіння бактеріальною суспензією селекціонованого штаму *Mesorhizobium ciceri* ND-64 (БС) та Ризогуміном на накопичення у листках *Cicer arietinum* L. сорту Пам'ять хлорофілів *a* і *b*, каротиноїдів, їх співвідношення в онтогенезі за вирощування рослин в умовах Західного Лісостепу України. Нут звичайний є високотехнологічною зернобобовою культурою, тому першочерговим завданням для сільськогосподарських виробників є науково-обґрунтоване удосконалення технології його вирощування.

Встановлено, що використання у технології вирощування нуту звичайного мікробних препаратів на основі *Mesorhizobium ciceri* суттєво впливало на накопичення у листках хлорофілу *a* упродовж генеративних фаз розвитку рослин. Їх уміст за впливу БС зростає на 5,9–10,9% та Ризогуміну – 3,3–10,1%. Виявлено тенденцію до підвищення вмісту хлорофілу *b* у мезофілі листків за впливу бактеріальних препаратів. Накопичення фотосинтетичних пігментів у листах залежало від фази росту і розвитку рослин. Найвищим умістом хлорофілів (*a+b*) характеризувалися листки у фазі зеленого бобу, каротиноїдів – цвітіння. Показники співвідношення суми хлорофілів (*a+b*) до каротиноїдів за впливу бактеріальних препаратів упродовж генеративних фаз росту та розвитку рослин статистично вірогідно не відрізнялися від контролю.

Впровадження у практику нуту звичайного сорту Пам'ять, у технології вирощування якого використовуватимуться бактеріальні препарати на основі *Mesorhizobium ciceri*, дозволить інтенсифікувати фотосинтетичні процеси, що відповідно позитивно вплине на урожайність, дозволить знизити дефіцит рослинних білків, покращити фітосанітарний і фізико-хімічний стани ґрунту.

Ключові слова: *Cicer arietinum* L., хлорофіл *a*, хлорофіл *b*, каротиноїди, бактеріальні препарати.

Chernik Igor, Pyda Svitlana, Tryhuba Olena, Matsiuk Oksana. The effect of bacterial preparations on the accumulation of photosynthetic pigments in the leaves of *Cicer arietinum* L.

The article presents the results of the study of the effect of pre-sowing seed processing with a bacterial suspension of the selected strain of *Mesorhizobium ciceri* ND-64 (BS) and Rhyzogumin on the accumulation of chlorophylls *a* and *b*, carotenoids, and their ratio in ontogeny in the leaves of *Cicer arietinum* L. variety Pamyat in the Western Forest-Steppe of Ukraine. Common chickpea is a high-tech legume crop, so the primary task for agricultural producers is to scientifically improve the technology of its cultivation.

It has been established that the use of microbial preparations based on *Mesorhizobium ciceri* in the technology of chickpea cultivation significantly affected the accumulation of chlorophyll *a* in the leaves during the generative phases of plant development. Their content under the influence of BS increased by 5,9–10,9% and Rhyzogumin – by 3,3–10,1%. The tendency to increase the content of chlorophyll *b* in the mesophyll of leaves under the influence of bacterial preparations has been revealed. The accumulation of photosynthetic pigments in the leaves depended on the phase of plant growth and development. The highest content of chlorophylls (*a+b*) has been observed in the leaves in the green bean phase, and carotenoids in the flowering phase. Indicators of the ratio of the sum of chlorophylls

(a+b) to carotenoids under the influence of bacterial preparations during the generative phases of plant growth and development did not differ statistically from the control.

The introduction of common chickpea variety Pamyat, in the technology of which bacterial preparations based on *Mesorhizobium ciceri* will be used, will intensify photosynthetic processes, which will have a positive effect on the yield, will reduce the deficiency of plant proteins, improve the phytosanitary and physicochemical conditions of the soil.

Key words: *Cicer arietinum* L., chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids, bacterial preparations.

Вступ. Фотосинтез – життєвоважливий процес у природі, що створює сприятливі умови для живих організмів, оскільки забезпечує їх киснем, яким вони дихають, і є основним процесом утворення органічних речовин, а відтак – формування урожаю сільськогосподарських культур, що використовується у харчуванні людини та на корм тваринам. Дослідження особливостей функціонування фотосинтетичного апарату культурних рослин розширить можливості людини в управлінні їх фотосинтетичною діяльністю і, відповідно, продуктивністю [1, с. 255].

Сьогодні інтенсивна зміна кліматичних умов ставить виклик перед аграріями, тому вони змушені застосовувати нові підходи в удосконаленні технологій та виборі культур, зокрема вирощувати такі, що зможуть витримати стрес, пов'язаний з абіотичними факторами (високі температури та мала кількість опадів). Велика увага приділяється бобовим рослинам, оскільки вони другі за значимістю у раціоні харчування людини після зернових [2, с. 3], слугують дешевим джерелом харчових волокон, білків, крохмалю, вітамінів та інших поживних речовин [3, с. 538; 4, с. 22].

Однією із перспективних культур, яка вирощується приблизно у 57 країнах, культивується у помірних, посушливих та напівпосушливих регіонах є нут звичайний (*Cicer arietinum* L.) [5], зерно якого використовується у харчуванні людини та на корм тваринам, характеризується високим вмістом білків (24–32%), має збалансований амінокислотний склад. За вмістом триптофану та метіоніну білки *C. arietinum* наближені до яєчного. Триптофан необхідний в організмі людини для синтезу гемоглобіну та вітаміну PP, а метіонін регулює обмін жирів та фосфатидів, запобігаючи ожирінню печінки [6, с. 212].

Нут звичайний має потужну кореневу систему, економно витрачає воду, збагачує ґрунт азотом, є хорошим попередником для усіх зернових і його по праву можна вважати рослиною «культурного землеробства» [6, с. 213]. Традиційні методи обробітку ґрунту та технології вирощування, які використовують фермери, призводять до фізичного деградування ґрунту та посилення його ерозії [7, с. 50].

Дослідженням технології вирощування нуту в Україні займаються: В. І. Січкара, О. В. Бушулян – перспективи селекції та агротехніка нуту в умовах північного Лісостепу України [8, с. 39], В. П. Карпенко – вплив біологічно активних речовин на ростові процеси рослин нуту в умовах Правобережного Лісостепу України [9, с. 20]; Ю. М. Шкатула – контролювання бур'янів в агроценозах нуту [10, с. 135]; Л. В. Побережна, О. М. Бахмат – фотосинтетична продуктивність посівів нуту звичайного залежно від обробки насіння та позакореневого підживлення рослин [11, с. 41] та ін.

Використання екологічно безпечних мікробіологічних препаратів у технології вирощування бобових культур набуває широкомасштабного застосування у сільському господарстві [12; 13, с. 270; 14, с. 3]. В Україні активно створюються біопрепарати в тому числі і мікробіологічні під сільськогосподарські культури. Найбільшими виробниками мікробіологічних препаратів є: Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН (м. Чернігів); Інститут фізіології рослин і генетики НАН України (м. Київ); Інститут мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України (м. Київ); Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ). Вони не лише підвищують урожайність культурних рослин, але і поліпшують родючість ґрунту.

Сьогодні недостатньо вивчений вплив мікробіологічних препаратів на фотосинтетичну активність *Cicer arietinum* L. в умовах Західного Лісостепу України, тому дане питання заслуговує уваги.

Матеріал та методи. Нут звичайний сорту Пам'ять, який слугував матеріалом польових досліджень, занесений до Реєстру сортів рослин України з 2002 року, рекомендований для вирощування в зоні Степу. Значений сорт належить до південно-європейської екологічної групи, типу kabuli, різновиду bogemico-allutaceum, є високопродуктивним, має жовто-рожеве забарвлення насіння, яке характеризується великим вмістом білків. За тривалістю вегетаційного періоду (90–95 днів) віднесено до групи середньостиглих, рослина характеризується компактною формою з густим, сизо-зеленого забарвлення опушенням, стійкий до хвороб і вилягання [15, с. 30]. Насіння нуту звичайного сорту Пам'ять отримали із Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннєзнавства та сортівивчення (м. Одеса).

Дослідження проводили упродовж 2021-2023 років на чорноземі типовому важкосуглинистому 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 із 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 середнього ярусу нуту звичайного методом їх екстагування диметилсульфоксидом за Вельбурном [16, с. 310]. 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. Фотосинтетичний апарат рослин найбільш чутливий до дії чинників навколишнього середовища [17, с. 170; 18, с. 103; 19]. На вміст хлорофілів у листках впливають абіотичні та біотичні фактори. Світло є основним чинником, який індукує синтез хлорофілів [20]. Окрім світла, на накопичення пластидних пігментів значно впливають температурні показники повітря, водозабезпеченість посівів, наявність азоту в ґрунті [21, с. 725] та технологія вирощування [22, с. 325]. Сьогодні технологію вирощування культури необхідно адаптовувати до кліматичних змін, які з кожним роком усе більше і більше нагадують про себе.

Пігментна система листків культурних рослин є одним із важливих показників фотосинтетичної діяльності рослин. Накопичення основних компонентів – хлорофілів *a* та *b* у листках, впливає на синтез біомаси та формування урожаю [23, с. 117; 24, с. 25]. Зниження вмісту пігментів, призводить до послаблення росту пагонів.

Встановлено, що використання у технології вирощування нуту звичайного сорту Пам'ять мікробних препаратів суттєво впливало на накопичення хлорофілу *a* у листках упродовж генеративних фаз розвитку рослин. У фазу цвітіння рослин за впливу бактеріальної суспензії штаму *Mesorhizobium ciceri* ND-64 і Ризогуміну вміст хлорофілу *a* та сума хлорофілів *a* і *b* у листках статистично вірогідно підвищились на 6,8% та 6,7% (БС), 10,1% та 8,9% (Ризогумін) (табл. 1). Під кінець цвітіння на початку утворення бобів виявлено статистично вірогідну різницю порівняно з контролем за зазначеними

вище показниками у варіанті з інокуляцією насіння БС. Приріст показників становив 6,6% та 7,2%. Обробка насіння нуту звичайного перед сівбою мікробними препаратами сприяла накопиченню у мезофілі листків хлорофілу *b*. Його кількість зросла в середньому на 6,2 (БС) та 6,1% (Ризогумін) (фаза цвітіння) та 10,0% (БС) і 3,3% (Ризогумін) (кінець цвітіння-початок утворення бобів) порівняно з контролем.

Варто зазначити, що у фазі зеленого бобу сума хлорофілів (*a+b*) у листках збільшилася порівняно з попередніми фазами росту і розвитку рослин на 35,0 і 34,3% (К), 35,4 і 34,0% (БС), 32,6 і 38,0% (Ризогумін). У вищезазначеній фазі визначено статистично вірогідне зростання хлорофілу *a* у листках рослин дослідних варіантів на 5,9 та 6,9%. Кількість хлорофілу *b* за інокуляції насіння БС суттєво підвищилась (на 12,2%). На початку досягання бобів спостерігається аналогічна закономірність стосовно накопичення у листках зелених пігментів. Уміст хлорофілів *a* і *b*, а відтак їх сума за обробки насіння мікробними препаратами збільшились на 10,9, 13,5 та 11,4% (БС), 7,9, 2,7 та 9,9% (Ризогумін). Підвищення вмісту зелених пігментів у листках рослин дослідних варіантів пов'язане з поліпшенням їх азотного живлення за рахунок біологічної фіксації молекулярного нітрогену нутово-ризобіальними системами, утвореними інтродукованими штамми бульбочкових бактерій мікробних препаратів. Необхідно зазначити, що у ґрунті дослідних ділянок агробіолабораторії наявні місцеві популяції *Mesorhizobium ciceri*, які спонтанно інокулювали корені рослин контрольного варіанту.

Крім хлорофілів важливу роль у процесі фотосинтезу виконують каротиноїди. Вони є обов'язковими компонентами фотосинтетичного апарату, похідними ізопрену, складаються із 40 атомів карбону. Вони поглинають кванти світла і енергію збудження передають на молекули хлорофілу *a*, також захищають хлорофіли від фоторуйнування [25, с. 7].

Таблиця 1

Вплив бактеріальних препаратів на накопичення пігментів (мг/г сирової маси) у листках нуту звичайного сорту Пам'ять, $M \pm m$

Варіант	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіли (<i>a</i> + <i>b</i>)	Каротиноїди
Фаза цвітіння				
К	1,48±0,024	0,32±0,010	1,80	0,63±0,026
БС	1,58±0,019*	0,34±0,014	1,92	0,66±0,023
Ризогумін	1,63±0,027*	0,33±0,029	1,96	0,65±0,024
Фаза кінець цвітіння-початок утворення бобів				
К	1,51±0,023	0,30±0,012	1,81	0,41±0,023
БС	1,61±0,028*	0,33±0,016	1,94	0,44±0,017
Ризогумін	1,56±0,086	0,31±0,021	1,87	0,42±0,014
Фаза зеленого бобу				
Контроль	2,02±0,047	0,41±0,013	2,43	0,49±0,011
БС	2,14±0,021*	0,46±0,021*	2,60	0,50±0,014
Ризогумін	2,16±0,063*	0,42±0,015	2,58	0,52±0,013
Фаза початок досягання бобів				
К	1,65±0,022	0,37±0,032	2,02	0,38±0,017
БС	1,83±0,035*	0,42±0,020	2,25	0,42±0,018
Ризогумін	1,78±0,052*	0,38±0,031	2,16	0,39±0,014

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

Вплив бактеріальних препаратів на співвідношення пігментів хлоропластів у листках нуту звичайного сорту Пам'ять, М±m

Варіант	Хл. а / Хл. b	Хл. (a+b) / каротиноїди
Фаза цвітіння		
К	4,63±0,11	2,86±0,11
БС	4,65±0,14	2,91±0,17
Ризогумін	4,94±0,12*	3,02±0,09
Фаза кінець цвітіння-початок утворення бобів		
К	5,03±0,12	4,42±0,23
БС	4,88±0,07	4,41±0,17
Ризогумін	5,03±0,14	4,45±0,15
Фаза зеленого бобу		
К	4,93±0,11	4,96±0,21
БС	4,65±0,09*	5,20±0,14
Ризогумін	5,14±0,15	4,96±0,16
Фаза початок досягання бобів		
К	4,46±0,16	5,32±0,08
БС	4,36±0,13	5,36±0,13
Ризогумін	4,68±0,12	5,14±0,08*

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

Встановлено тенденцію до збільшення вмісту основних каротиноїдів у листках нуту звичайного за впливу бактеріальних препаратів упродовж генеративних фаз розвитку на 4,7 та 3,2% (цвітіння), 7,3 та 2,4% (кінець цвітіння-початок утворення бобів), 2,0 та 6,1% (зелений біб), 10,5 та 2,6% (початок досягання бобів). Пік накопичення каротиноїдів у листках нуту звичайного сорту Пам'ять припав на фазу цвітіння рослин.

За використання мікробних препаратів для передпосівної обробки насіння нуту звичайного сорту Пам'ять впродовж досліджуваного періоду спостерігається тенденція до збільшення показників співвідношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b* за рахунок збільшення вмісту хлорофілу *a* (табл. 2). Статистично вірогідні показники співвідношення кількості хлорофілів порівняно з контролем визначено у фазах цвітіння за впливу Ризогуміну та зеленого бобу – БС.

Важливим показником що характеризує фотосинтетичний апарат рослин є співвідношення суми хлорофілів (*a+b*) до каротиноїдів. Оскільки пігменти хлоропластів тісно пов'язані з білками і ліпідами, зазначений параметр описує ступінь адаптації рослин до умов навколишнього середовища, характеризує їх реакцію на вплив екстремальних факторів. При несприятливих умовах для ростових процесів рослин цей показник зростає [26, с. 250]. Встановлено, що показники співвідношення суми хлорофілів (*a+b*) до каротиноїдів за впливу бактеріальних препаратів упродовж генеративних фаз росту та розвитку рослин статистично вірогідно не відрізнялися від контролю. Найнижчі значення зазначених параметрів характерні для нуту звичайного сорту Пам'ять у фазі цвітіння, найвищі – на початку досягання бобів.

Висновки. Уміст фотосинтетичних пігментів у листках нуту звичайного сорту Пам'ять зазнає змін залежно від характеру застосування елементів технології, зокрема, використання бактеріальної суспензії селекціонованого штаму *Mesorhizobium ciceri* ND-64, Ризогуміну й індивідуального розвитку рослин. Бактеріальні препарати поліпшують азотне живлення куль-

тури шляхом біологічної фіксації молекулярного нітрогену симбіотичними нутово-ризобіальними системами, що сприяє накопиченню фотосинтетичних пігментів у листках нуту звичайного сорту Пам'ять. Уміст хлорофілів *a*, *b* і каротиноїдів за передпосівної обробки насіння БС зростав на 5,9–10,9%, 6,2–13,5% і 2,0–10,5%, Ризогуміном – 3,3–10,1%, 2,4–6,1% і 2,4–6,1% упродовж генеративних фаз росту і розвитку рослин. Параметри співвідношення пігментів хлоропластів за впливу бактеріальних препаратів суттєво не відрізнялися від аналогічних контрольного варіанту. В умовах зміни клімату, вирощування сортів *Cicer arietinum* L. за використання бактеріальних препаратів в їх технології є перспективним напрямком подальших польових досліджень в умовах Західного Лісостепу України.

Література:

1. Дубровський В. І., Швартау В. В., Михальська Л. М. Фотосинтез і врожай: проблеми, досягнення, перспективи досліджень. *Садівництво*. 2020. Вип. 75. С. 251–256. <https://doi.org/10.35205/0558-1125-2020-75-251-256>.
2. Introduction (Chapter 1). Pulse foods processing, quality and nutraceutical applications / Tiwari B. K. et al. *London: Academic Press Elsevier*. 2011. 1–7.
3. Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques / Boye J. I. et al. *Food Research International*. 2010. № 43. 537–546. <https://doi:10.1016/j.foodres.2009.07.021>.
4. Метеликові боби (*Vigna aconitifolia*): якісні характеристики та технологія білкового ізоляту / Головка Т. М. та ін. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів»*. Випуск 2 (52). 2023. С. 21–27. <https://doi.org/10.32782/msnau.2023.2.4>.
5. Angela L. Pattison, Mohammad Nazim Uddin, Richard M. Trethowan Use of in-situ field chambers to quantify the influence of heat stress in chickpea (*Cicer arietinum*). *Field Crops Research*. 2021. Vol. 270. 108215. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108215>.
6. Тітова А. Є., Пузік В. К. Перспективи вирощування та використання нуту під час глобальних змін клімату. *Вісник ХНАУ. Серія : Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво*. 2013. № 9. С. 210–214.
7. Soil physical characteristics and chickpea yield responses to tillage treatments / Barzegar A. R. et al. *Soil and Tillage Research*. 2003. Vol. 71. Issue 1. Pages 49–57. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00019-9](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00019-9).
8. Січкач В. І., Бушуляк О. В. Перспективи селекції нуту в умовах північного Лісостепу України. *Вісник аграрної науки*. 2000. № 1. С. 38–40.

9. Карпенко В. П., Коробко О. О. Вплив біологічно активних речовин на ростові процеси рослин нуту в умовах Правобережного Лісостепу України. *Сільськогосподарські науки*. 2018. Вип. 29. С. 17–24.
10. Шкагула Ю. М., Вотик В. О. Контролювання бур'янів в агроценозах нуту. *Сільське господарство та лісівництво*. 2020. № 19. С. 135–147.
11. 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>.
12. Vacillus 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. URL: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126859>.
13. 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>.
14. 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>.
15. Колесніков М. О., Кадиров Т. Р. Рекомендації по вирощуванню нуту в умовах півдня України. Мелітополь: ТДАТУ, 2022. 44 с.
16. 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.
17. Колісник Х. М., Грицак Л. Р., Дробик Н. М. Вплив кліматичних умов на вміст та співвідношення фотосинтетичних пігментів у рослин роду *Carlina* L. *Фізіологія рослин і генетика*. 2024. 56. № 2. С. 166–177. <https://doi.org/10.15407/frg2024.02.166>.
18. Манько М. В., Олексійченко Н. О., Китаєв О. І. Особливості індукції флуоресценції хлорофілу в листках рослин культиварів *Acer platanoides* L. в умовах міста Києва. *Наук. вісн. НЛТУ України*. 2016. № 26 (5). С. 102–109. <https://doi.org/10.1016/10.15421/40260515>.
19. Pospisil P. Production of reactive oxygen species by photosystem II as a response to light and temperature stress. *Front. Plant Sci*. 2016. № 7. 1950. URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01950>.
20. Hang Y., He N., Yu G. Opposing shifts in distributions of chlorophyll concentration and composition in grassland under warming. *Sci. Rep*. 2021. № 11. 15736. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95281-3>.
21. Mitchell R. M., Wright J. P., Ames G. M. Species' traits do not converge on optimum values in preferred habitats. *Oecologia*. 2018. № 3. P. 719–729.
22. Трояновська О. М. Вплив строків і схем висаджування розсади базилика звичайного (*Ocimum basilium*) на площу листової поверхні та чисту продуктивність фотосинтезу. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2013. Вип. 17(1). С. 324–327.
23. Meland M., Froynes O., Kaiser C. High tunnel production systems improve yields and fruit size of sweet cherry. *Acta Horticulturae*. 2017. Is. 1161. P. 117–124. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1161.20>.
24. Improving fruit coloration, quality attributes, and phenolics content in rainier and bing cherries by gibberellic acid combined with homobrassinolide / Li M. et al. *J. of plant growth regulation*. 2019. № 11. P. 25–28. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-10049-4>.
25. Пузік В. К., Рожков А. О. Динаміка формування пігментних речовин у листках рослин пшениці твердої ярої за дії різних варіантів ценотичної напруги між рослинами у посівах. *Вісник Полтав. держ. аграр. Академії*. 2013. № 3. С. 7–12.
26. Матвеева Н. А., Кваско О. Ю. Вміст фотосинтетичних пігментів в трансгенних рослинах цикорію з геном туберкульозного антигена Esat6. *Вісник Донецького національного університету*. 2010. № 2. С. 249–253.

References:

1. Dubrovskiy, V. I., Shvartau, V. V., Mykhalska, L. M. (2020) Fotosynteza i vrozhai: problemy, dosiahnennia, perspektyvy doslidzhen [Photosynthesis and harvest: problems, achievements, research prospects]. *Sadivnytstvo [Gardening]*, 75, 251–256. <https://doi.org/10.35205/0558-1125-2020-75-251-256> [in Ukrainian].
2. Tiwari, B. K. (ed.) (2011) Introduction (Chapter 1). Pulse foods processing, quality and nutraceutical applications. London: *Academic Press Elsevier*, 1–7.
3. Boye, J. I. (ed.) (2010) Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques. *Food Research International*, 43, 537–546. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.021>.
4. Holovko, T. M. (ed.) (2023) Metelykovi boby (*Vigna aconitifolia*): yakisni kharakterystyky ta tekhnolohiia bilkovoho izoliatu [Butterfly beans (*Vigna aconitifolia*): quality characteristics and protein isolate technology]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriiia «Mekhanizatsiia ta avtomatyzatsiia vyrobnychkykh protsesiv» [Bulletin of the Sumy National Agrarian University. «Mechanization and automation of production processes» series]*, 2 (52), 21–27. <https://doi.org/10.32782/msnau.2023.2.4> [in Ukrainian].
5. Angela, L. Pattison, Mohammad, Nazim Uddin, Richard, M. Trethowan (2021) Use of in-situ field chambers to quantify the influence of heat stress in chickpea (*Cicer arietinum*). *Field Crops Research*, 270, 108215. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108215>.

6. Titova, A. Ye., Puzik, V. K. (2013) Perspektyvy vyroshchuvannya ta vykorystannia nutu pid chas hlobalnykh zmin klimatu [Prospects for the cultivation and use of chickpeas during global climate change]. *Visnyk KhNAU. Seriya : Roslynnystvo, selektsiia i nasinnystvo, plodoovochivnystvo [KHNAU Bulletin. Series: Crop production, selection and seed production, fruit and vegetable production]*, 9, 210–214 [in Ukrainian].
7. Barzegar, A. R. (ed.) (2003) Soil physical characteristics and chickpea yield responses to tillage treatments. *Soil and Tillage Research*, 71, 1, 49–57. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00019-9](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00019-9).
8. 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 ahrarnoi nauky [Bulletin of Agrarian Science]*, 1, 38–40 [in Ukrainian].
9. Karpenko, V. P., Korobko, O. O. (2018) Vplyv biolohichno aktyvnykh rehovyn na rostovi protsesy roslyn nutu v umovakh Pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [The influence of biologically active substances on the growth processes of chickpea plants in the conditions of the Right Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Silskohospodarski nauky [Agricultural sciences]*, 29, 17–24 [in Ukrainian].
10. Shkatula, Yu. M., Votyky, V. O. (2020) Kontroliuvannya burianiv v ahrotsenozakh nutu [Weed control in chickpea agrocenoses]. *Silske hospodarstvo ta lisivnystvo [Agriculture and forestry]*, 19, 135–147.
11. 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].
12. 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>.
13. 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>.
14. 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>.
15. Kolesnikov, M. O., Kadyrov, T. R. (2022) Rekomendatsii po vyroshchuvanniu nutu v umovakh pivdnia Ukrainy [Recommendations for growing chickpeas in southern Ukraine]. Melitopol, 44 [in Ukrainian].
16. 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.
17. Kolisnyk, Kh. M., Hrytsak, L. R., Drobyk, N. M. (2024) Vplyv klimatychnykh umov na vmist ta spivvidnoshennia fotosyntetychnykh pihmentiv u roslyn rodu *Carlina* L. [The influence of climatic conditions on the content and ratio of photosynthetic pigments in plants of the genus *Carlina* L.] *Fiziolohiia roslyn i henetyka [Physiology of plants and genetics]*, 56, 2, 166–177. <https://doi.org/10.15407/frg2024.02.166> [in Ukrainian].
18. Manko, M. V., Oleksiichenko, N. O., Kytaiev, O. I. (2016) Osoblyvosti induktsii fluorestsentsii khlorofilu v lystkakh roslyn kultivariv *Acer platanoides* L. v umovakh mista Kyieva [Peculiarities of the induction of chlorophyll fluorescence in the leaves of *Acer platanoides* L. cultivars in the conditions of the city of Kyiv]. *Nauk. visn. NLTU Ukrainy [Science release NLTU of Ukraine]*, 26 (5), 102–109. <https://doi.org/10.1016/10.15421/40260515> [in Ukrainian].
19. Pospisil, P. (2016) Production of reactive oxygen species by photosystem II as a response to light and temperature stress. *Front. Plant Sci.*, 7, 1950. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01950>.
20. Hang, Y., He, N., Yu, G. (2021) Opposing shifts in distributions of chlorophyll concentration and composition in grassland under warming. *Sci. Rep.*, 11, 15736. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95281-3>.
21. Mitchell, R. M., Wright, J. P., Ames, G. M. (2018) Species' traits do not converge on optimum values in preferred habitats. *Oecologia*, 3, 719–729.
22. Troianovska, O. M. (2013) Vplyv strokiv i skhem vysadzhuvannya rozsady bazylika zvychainoho (*Osimum basilium*) na ploshchu lystkovoї poverkhni ta chystu produktyvnist fotosyntezy [Effect of dates and schemes of planting common basil (*Osimum basilium*) seedlings on leaf surface area and net photosynthetic productivity]. *Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovykh buriakiv [Scientific works of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet]*, 17(1), 324–327 [in Ukrainian].
23. Meland, M., Froynes, O., Kaiser, C. (2017) High tunnel production systems improve yields and fruit size of sweet cherry. *Acta Horticulturae*, 1161, 117–124. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1161.20>.
24. Li, M. (ed.) (2019) Improving fruit coloration, quality attributes, and phenolics content in rainier and bing cherries by gibberellic acid combined with homobrassinolide. *J. of plant growth regulation*, 11, 25–28. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-10049-4>.
25. Puzik, V. K., Rozhkov, A. O. (2013) Dynamika formuvannya pihmentnykh rehovyn u lystkakh roslyn pshenytsi tvrdoї yaroї za diї riznykh variantiv tsenotychnoi napruhy mizh roslynamy u posivakh [The dynamics of the formation of pigment substances in the leaves of durum spring wheat plants under the influence of different variants of cenotic tension between plants in crops]. *Visnyk Poltav. derzh. ahrar. Akademii [Visnyk Poltava. state agrarian Academies.]*, 3, 7–12 [in Ukrainian].
26. Matvieieva, N. A., Kvasko, O. Yu. (2010) Vmist fotosyntetychnykh pihmentiv v transhennykh roslynakh tsykoriui z henom tuberkuloznoho antygena Esat6 [he content of photosynthetic pigments in transgenic chicory plants with the Esat6 tuberculosis antigen gene]. *Visnyk Donetskoho natsionalnoho universytetu [Bulletin of the Donetsk National University]*, 2, 249–253 [in Ukrainian].