



УДК 582.736.3:632

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.6>

**ФОТОСИНТЕТИЧНІ ПІГМЕНТИ ЛИСТКІВ СОЧЕВИЦІ ХАРЧОВОЇ
(*LENS CULINARIS* MEDIK.) ЗА ВПЛИВУ МІКРОБНИХ ПРЕПАРАТІВ
І ПРОТРУЙНИКА МАКСИМ**

В. О. Козак¹, І. В. Чернік², С. В. Пида³, М. А. Крижановська⁴

Метою роботи було дослідити вплив монооброблення насіння перед сівбою мікробними препаратами (МБП) *Rizobofit*, *Rhizobium leguminosarum biovar viceae* (R. leg) штамів: C4-30, 724, Ф 11-2, Ф 16-1 та сумісної з протруйником фунгіцидного типу дії Максим на динаміку накопичення хлорофілів і основних каротиноїдів у листках сочевиці харчової сорту Red в умовах Західного Лісостепу України.

Lens culinaris є не лише цінним джерелом амінокислот та рослинних білків, а й незамінною ланкою у функціонуванні бобово-ризобіального симбіозу. Встановлено, що накопичення фотосинтетичних пігментів у листках сочевиці харчової залежить від інокуляції насіння мікробними препаратами, сумісного їх застосування з протруйником Максим та фенологічної фази росту й розвитку рослин.

За впливу R. leg C4-30 та R. leg 724 визначено статистично вірогідне підвищення вмісту хлорофілів у мезофілі листків упродовж генеративних фаз розвитку рослин. Моноінокуляція МБП та їх сумісне застосування з протруйником Максим у технології вирощування сочевиці харчової суттєво впливали на накопичення в листках хлорофілу а. Його вміст за впливу штамів R. leg зростає до 22,4%. За інокуляції насіння R. leg штаму 724 листки сочевиці харчової характеризувалися найвищим значенням показників суми хлорофілів (a+b) у фазі бутонізації – початок цвітіння (приріст

¹ аспірантка кафедри ботаніки та зоології

(Тернопільський національний педагогічний університет імені В. Гнатюка, м. Тернопіль)

e-mail: shelest.1995@ukr.net

ORCID: 0009-0003-5762-4682

² аспірант кафедри ботаніки та зоології

(Тернопільський національний педагогічний університет імені В. Гнатюка, м. Тернопіль)

e-mail: igor77cheri@gmail.com

ORCID: 0009-0002-4966-0475

³ доктор сільськогосподарських наук,

професор кафедри ботаніки та зоології

(Тернопільський національний педагогічний університет імені В. Гнатюка, м. Тернопіль)

e-mail: spyda@ukr.net

ORCID: 0000-0002-7858-104X

⁴ кандидат сільськогосподарських наук,

доцент кафедри ботаніки та зоології

(Тернопільський національний педагогічний університет імені В. Гнатюка, м. Тернопіль)

e-mail: kryganovska@chem-bio.com.ua

ORCID: 0000-0002-7802-5246

19,7%) та основних каротиноїдів у фазі цвітіння (приріст 27,2%). За моно впливу протруйника встановлено зростання показника суми зелених пігментів у мезофілі листків на 6%, лише у фазі бутонізації – початок цвітіння. За сумісного використання МБП з протруйником Максим виявлено підвищення вмісту хлорофілів у фазах бутонізації – початок цвітіння (варіанти Ризобіофіт та R. leg C4-30), цвітіння та стиглого бобу (варіанти R. leg 724, R. leg Ф 11-2, R. leg Ф 16-1). Найвищим умістом хлорофілів у листках характеризувалися рослини *Lens culinaris* у фазі бутонізації – початок цвітіння, децю нижчим під час цвітіння. У фазах зеленого і стиглого бобу кількість хлорофілів зменшувалася, що пов'язано зі старінням листків. Під накопичення каротиноїдів у листках рослин сочевиці виявлено у фазі цвітіння.

Комплексне застосування в технології вирощування сочевиці харчової сорту Red Ризобіофіту, активних штамів R. leg та протруйників дозволить інтенсифікувати фотосинтетичні процеси шляхом поліпшення азотного живлення рослин унаслідок біологічної фіксації нітрогену азотфіксуючими системами, реалізувати потенціал захисних властивостей від грибкових захворювань та, як наслідок, підвищити урожайність культури.

Ключові слова: *Lens culinaris*, хлорофіли, каротиноїди, бактеріальні препарати, протруйник, фунгіциди.

PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN FOOD LENTIL LEAVES UNDER THE INFLUENCE OF MICROBIAL PREPARATIONS AND THE MAXIM FUNGICIDE

V. O. Kozak, I. V. Chernik, S. V. Pyda, M. A. Kryzhanovsjka

The aim of the study was to investigate the effect of seed treatment with microbial preparations (MBP) Rizobiofit, *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae* (R. leg) strains: C4-30, 724, F 11-2, F 16-1 compatible with the fungicide Maxim on the dynamics of chlorophyll and main carotenoid accumulation in the leaves of Red lentils in the conditions of the Western Forest-Steppe of Ukraine.

Lens culinaris is not only a valuable source of aminoacids and plant proteins, but also an indispensable link in the functioning of the legume-rhizobial symbiosis. It has been established that the accumulation of photosynthetic pigments in the leaves of edible lentils depends on the inoculation of seeds with microbial preparations, their combined use with the Maxim fungicide, and the phenological phase of plant growth and development.

Under the influence of R. leg C4-30 and R. leg 724, a statistically significant increase in chlorophyll content in leaf mesophyll during the generative phases of plant development has been determined.

Monoinoculation of MBP and their combined use with the Maxim fungicide in the cultivation of edible lentils has significantly affected the accumulation of chlorophyll a in the leaves. Its content has increased to 22,4% under the influence of R. leg strains. When inoculated with R. leg strain 724 seeds, edible lentil leaves have been characterized by the highest values of total chlorophyll (a+b) in the budding phase – the beginning of flowering (increase of 19,7%) and the main carotenoids in the flowering phase (increase of 27,2%). The single effect of the seed treatment agent has resulted in a 6% increase in the sum of green pigments in the mesophyll of the leaves, only in the budding phase – the beginning of flowering. When

MBP has been used in combination with the Maxim fungicide, an increase in chlorophyll content has been observed in the budding phase – the beginning of flowering (Rizobiofit and R. leg C4-30 variants), flowering, and ripe bean phases (R. leg 724, R. leg F 11-2, R. leg F 16-1).

The highest chlorophyll content in leaves has been found in *Lens culinaris* plants in the budding-early flowering phase, slightly lower during flowering. In the green and ripe bean phases, the amount of chlorophyll has decreased, which is associated with leaf ageing. The peak accumulation of carotenoids in lentil leaves has been found during the flowering phase.

The comprehensive application of Rhizobiofit, active strains of R. leg strains, and seed dressings in the cultivation of edible lentils will intensify photosynthetic processes by improving nitrogen nutrition of plants due to biological nitrogen fixation by nitrogen-fixing systems, realize the potential of protective properties against fungal diseases and increase crop yields.

Key words: *Lens culinaris*, chlorophylls, carotenoids, bacterial preparations, seed dressings, fungicides.

Вступ

Сочевиця харчова (*Lens culinaris* Medik., 1787) – продовольча культура, що виділяється серед різноманітності Бобових (*Fabaceae*) завдяки інтенсивному світовому

виробництву, високому вмісту амінокислот, рослинних білків, крохмалю, харчових волокон і біоактивних фітохімічних речовин, є важливим компонентом раціону людей в усьому світі (Benmeziiane-Derradji et al.,

2020; F. Guo et al., 2023). Товарне насіння культури за вмістом білків (до 36%) поступається лише сої (Kaale et al., 2023).

Окрім харчової цінності, використання сочевиці як джерела поживних речовин є актуальним через її посухостійкість і здатність до біологічної фіксації азоту. Культура формує симбіотичні зв'язки із *Rhizobium leguminosarum biovar viciae* – швидкорослими бульбочковими бактеріями – мікросимбіонтами *L. culinaris*, засвоює до 80 кг/га атмосферного нітрогену, залишає в ґрунті 90–120 кг/га біологічного азоту (Shrestha et al., 2023; Квітко і Сауляк, 2015).

Фотосинтез – це важливий метаболічний процес рослин, який виконує ключову роль в їх рості та розвитку, а отже, має безпосередній вплив на продуктивність (Sehgal et al., 2017). Інтенсивність проходження фотосинтетичних реакцій у листках визначається вмістом і співвідношенням пластидних пігментів – хлорофілів і каротиноїдів та їх фотокаталізаторною дією (Гуляєв, 2001). Акумуляція хлорофілів *a* та *b* у листках регулює синтез біомаси, зменшення їх вмісту призводить до зниження ростових процесів у пагонах (Meland et al., 2017; Li et al. 2019; Чернік та ін., 2024).

Показано, що формування пігментного комплексу рослин залежить від низки абіотичних та біотичних факторів, у тому числі – від застосування мікробних препаратів (МБП) та засобів захисту рослин (Карпенко і Коробко, 2018). Використання бактеріальних суспензій інтенсифікує проходження обмінних процесів у рослинах, що супроводжується формуванням оптимального фотосинтетичного апарату зі збільшеним умістом у листках хлорофілів (Сиваш та ін., 2018). Установлено, що передпосівна інокуляція насіння нуту звичайного сорту Пам'ять МБП на основі *Mesorhizobium ciceri* суттєво впливала на накопичення в листках хлорофілу *a*. Їх уміст зростав на 5,9–10,9%. Виявлено також тенденцію до зростання вмісту хлорофілу *b* у мезофілі листків (Чернік та ін., 2024). Оброблення насіння гороху перед сівбою МБП Ризобофіт і Гумаксид сприяла зростанню продуктивності фотосинтезу на 12,7% і на 23,5%, порівнюючи з контролем (Калитка і Капінос, 2015).

Установлено, що такі фотосинтетичні параметри, як уміст та концентрація хлорофілів і каротиноїдів, активність RuBisCo, індекс стабільності хлорофілу є важливими показниками продуктивності фотосинтезу та можуть бути маркерами під час скринінгу

на посухо- та жаростійкість сочевиці (Sehgal et al., 2017; Ashraf, 2021; Dhull et al., 2022).

У літературі існують обмежені відомості стосовно фотосинтетичної діяльності *L. culinaris*. Відомо, що культура, як й інші бобові, розвиває листки в міру росту стебла та розвитку бічних пагонів. На початку вегетації маса листків та їх поверхня наростають менш інтенсивно, а до настання генеративних фаз розвитку – досягають максимуму (Сухова, 2012). Таким чином, існує потреба в розробленні відповідних методів інтенсифікації процесів фотосинтезу рослини.

Незважаючи на те, що *L. culinaris* є однією з культур, що сприяють глобальній продовольчій безпеці, її посіви є вразливими до захворювань, які спричиняються грибами, вірусами, нематодами, комахами-шкідниками тощо. З огляду на це інноваційна агрономічна практика вирощування бобових культур вимагає комплексних підходів, що включають передпосівну інокуляцію насіння біопрепаратами на основі селекціонованих штамів специфічних ризобіїв (Gorai et al., 2021; Parihar et al., 2022) та використання нових препаративних форм протруйників, що сприяють захисту рослин від збудників хвороб. Завдяки передпосівній інокуляції насіннєвого матеріалу на основі високоефективних конкурентоздатних штамів бульбочкових бактерій рослини *L. culinaris* здатні задовольнити свої потреби в азоті його фіксацією з атмосфери (Сухова, 2012).

Матеріал і методи

Матеріалом дослідження слугували рослини сочевиці харчової (*L. culinaris*) сорту Red, МПБ Ризобофіт (на основі торфу), штами бульбочкових бактерій *Rhizobium leguminosarum bv. viciae* (*R. leg.*), протруйник фунгіцидного типу дії Максим (дієва речовина – флудиоксоніл 25 г/л).

Експериментальна частина роботи виконувалась у польових і лабораторних умовах: в агробіолабораторії Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка й лабораторії фізіології рослин і мікробіології кафедри ботаніки та зоології. Упродовж вегетації визначали вміст хлорофілів *a* і *b*, каротиноїдів у листках рослин спектрофотометричним методом за Вельбурном (Wellburn, 1994). Пігменти екстрагували зі свіжозібраних листків середнього ярусу рослин сочевиці диметилсульфоксидом. Коефіцієнти екстинкції отриманих розчинів вимірювали на спектрофотометрі UIT SFU-0172 за довжини хвиль: $\lambda = 649, 665, 480$. Вміст пластидних

пігментів визначали у чотирьох фенологічних фазах росту і розвитку рослин: бутонізації – початку цвітіння, цвітіння, зеленого бобу, стиглого бобу в чотирьох повтореннях. Статистичне оброблення результатів дослідження здійснювали за допомогою програми Excel. Схема дослідів включала такі варіанти:

- | | |
|-------------------------|----------------------------------|
| 1. Контроль | 7. Максим |
| 2. Ризобофіт | 8. Максим+ Ризобофіт |
| 3. <i>R. leg</i> C4-30 | 9. Максим+ <i>R. leg</i> C4-30 |
| 4. <i>R. leg</i> 724 | 10. Максим+ <i>R. leg</i> 724 |
| 5. <i>R. leg</i> Ф 11-2 | 11. Максим+ <i>R. leg</i> Ф 11-2 |
| 6. <i>R. leg</i> Ф 16-1 | 12. Максим+ <i>R. leg</i> Ф 16-1 |

За тиждень до сівби насіння сочевиці харчової сорту Red варіантів 7–12 обробляли протруйником фунгіцидного типу дії Максим, згідно з нормами виробника. У день сівби насіння варіантів контроль (1) і Максим (7) змочували водою з розрахунку 1,5% від його маси, а дослідних (варіанти 2, 8) – рідкою формою Ризобофіту, (варіанти 3–6 і 9–12) культурами бульбочкових бактерій сочевиці (*R. leg*) зазначених вище штамів. Культури бульбочкових бактерій і МБП отримали з Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН України (Ризобофіт, *R. leg* C4-30) та Інституту фізіології рослин і генетики НАН України (*R. leg* 724, *R. leg* Ф 11-2, *R. leg* Ф 16-1).

Результати та їх обговорення

У процесі дослідження встановлено залежність вмісту фотосинтетичних пігментів у листках сочевиці харчової від моноінокуляції Ризобофітом та штамми *R. leg*, сумісного їх застосування з протруйником Максим та фази росту і розвитку рослин. Хлорофіли *a* та *b*, які містяться в хлоропластах клітин вищих рослин, забезпечують виконання основної функції у світловій фазі фотосинтезу. Хлорофіл *a* – ключовий пігмент, оскільки слугує реакційним центром фотосистем I і II (Сиваш та ін., 2018).

Установлено, що у фазі бутонізації – початку цвітіння найвище значення показника вмісту хлорофілу *a* в листках сочевиці виявлено за передпосівного оброблення насіння *R. leg* штам 724, приріст становив 18,6% порівняно з контролем (табл. 1). Варто зазначити, що інокуляція штамом *R. leg* 724 сприяла також статистично вірогідному накопиченню в мезофілі листків і хлорофілу *b* – на 23,7% більше показника неінокульованих рослин. Достовірне підвищення хлорофілів *a* і *b* у листках сочевиці виявлено в разі оброблення насіння перед сівбою

Ризобофітом, *R. leg* штамів C4-30, 724 та Ф 11-2 на 4,5 і 7,4%, 10,5 і 15,4%, 6,8 і 5,5% та 6,8 і 5,5% порівняно з контролем.

У дослідних варіантах із використанням фунгіциду Максим приріст показників вмісту хлорофілу *a* в листках сочевиці становив 5,3%, хлорофілу *b* – 6,0% порівняно з контролем. Інокуляція штамми *R. leg* сумісно з досліджуванним протруйником також суттєво впливала на накопичення зелених пігментів, порівнюючи з контролем. Виявлено вірогідне збільшення хлорофілу *b* у мезофілі листків на 10,8–21,4%.

Інокуляція насіння МБП та оброблення фунгіцидом перед сівбою сприяли накопиченню фотосинтетичних пігментів і у фазу цвітіння рослин сочевиці харчової. Суттєве підвищення показників вмісту хлорофілів *a* та *b* в листках *L. culinaris* виявлено за впливу *R. leg* штам 724 – на 15,8% і 17,8% відповідно (табл. 1) відносно контролю. Крім того, статистично вірогідні дані щодо вмісту зелених пігментів у листках рослин виявлено за використання штам *R. leg* C4-30: 8,2 і 11,9%, порівнюючи з контрольними значеннями параметрів.

Інокуляція насіння штамми *R. leg* 724, *R. leg* Ф 11-2 та *R. leg* Ф 16-1 сумісно із протруйником статистично вірогідно сприяла накопиченню хлорофілів та каротиноїдів у листках сочевиці порівняно з контролем (рис. 1). За сумісного застосування *R. leg* зазначених вище штамів і протруйника Максим вміст хлорофілів *a* та *b* підвищився на 14,9, 11,9 і 9,7% та 6,6, 12,9 і 7,9% відповідно, порівнюючи з аналогічними показниками варіанту Максим.

У наступних фазах онтогенезу виявлено аналогічну закономірність стосовно накопичення пластидних пігментів у листках сочевиці харчової за моноінокуляції МБП та сумісного застосування їх з протруйником Максим. Зокрема, у фазі зеленого бобу найвищий вміст хлорофілів *a* та *b* визначено за використання *R. leg* штам Ф 11-2, що на 42,0 і 15,0% більше (табл. 1), ніж у контролі. Ризобофіт та *R. leg* штамів C4-30 і 724 статистично вірогідно підвищували вміст хлорофілів *a*, *b* і каротиноїдів у листках сочевиці. За впливу МБП на фоні застосування протруйника Максим кількість хлорофілу *a* зросла на 24,9–33,1% відносно неінокульованих рослин. Інтродуковані бульбочкові бактерії сформували ефективний симбіоз із сочевицею харчовою (Козак та ін., 2025), що, відповідно, поліпшило азотне живлення рослин і сприяло інтенсифікації синтезу

Таблиця 1

Вплив МБП на накопичення пігментів (мг/г сирої маси) у листках сочевиці харчової сорту Red, M±m, n=4

Варіант	Хлорофіл а	Хлорофіл b	Хлорофіли (a+b)
Фаза бутонізації – початок цвітіння			
1. Контроль	1,59±0,016	0,43±0,002	2,03±0,017
2. Ризобіфіт	1,67±0,011*	0,47±0,003*	2,13±0,013*
3. R. leg C4-30	1,76±0,016*	0,50±0,006*	2,26±0,022*
4. R. leg 724	1,89±0,008*	0,54±0,008*	2,43±0,015*
5. R. leg Ф 11-2	1,70±0,023*	0,46±0,006*	2,16±0,029*
6. R. leg Ф 16-1	1,47±0,016	0,43±0,004	1,90±0,020
7. Максим	1,68±0,014*	0,46±0,004*	2,14±0,017*
8. Максим+ Ризобіфіт	1,82±0,007*	0,51±0,002*	2,33±0,009*
9. Максим+ R. leg C4-30	1,74±0,020*	0,49±0,009*	2,24±0,028*
10. Максим+ R. leg 724	1,34±0,004	0,48±0,006*	1,82±0,008
11. Максим+ R. leg Ф 11-2	1,54±0,003	0,49±0,005*	2,03±0,002
12. Максим+ R. leg Ф 16-1	1,58±0,008	0,53±0,004*	2,11±0,005*
Фаза цвітіння			
1. Контроль	1,40±0,002	0,43±0,001	1,83±0,001
2. Ризобіфіт	1,39±0,022	0,44±0,007	1,83±0,029
3. R. leg C4-30	1,52±0,013*	0,48±0,002*	1,99±0,011*
4. R. leg 724	1,63±0,027*	0,50±0,003*	2,12±0,002*
5. R. leg Ф 11-2	1,23±0,002	0,36±0,000	1,58±0,002
6. R. leg Ф 16-1	1,48±0,012*	0,44±0,006	1,91±0,017*
7. Максим	1,41±0,007	0,42±0,003	1,82±0,010
8. Максим+ Ризобіфіт	1,38±0,008	0,39±0,003	1,77±0,010
9. Максим+ R. leg C4-30	1,29±0,010	0,36±0,003	1,65±0,013
10. Максим+ R. leg 724	1,62±0,001*	0,44±0,006*	2,07±0,033*
11. Максим+ R. leg Ф 11-2	1,58±0,019*	0,47±0,009*	2,05±0,027*
12. Максим+ R. leg Ф 16-1	1,54±0,004*	0,45±0,003*	1,99±0,004*
Фаза зеленого бобу			
1. Контроль	1,08±0,007	0,36±0,004	1,44±0,010
2. Ризобіфіт	1,31±0,013*	0,400±0,002*	1,71±0,014*
3. R. leg C4-30	1,23±0,003*	0,37±0,004	1,60±0,006*
4. R. leg 724	1,26±0,010*	0,39±0,004*	1,64±0,013*
5. R. leg Ф 11-2	1,46±0,007*	0,42±0,001*	1,87±0,008*
6. R. leg Ф 16-1	1,13±0,019	0,33±0,002	1,46±0,020
7. Максим	1,13±0,020	0,31±0,006	1,44±0,026
8. Максим+ Ризобіфіт	1,35±0,019*	0,36±0,007	1,71±0,026*
9. Максим+ R. leg C4-30	1,44±0,020*	0,36±0,010	1,80±0,030*
10. Максим+ R. leg 724	1,37±0,014*	0,37±0,003	1,73±0,015*
11. Максим+ R. leg Ф 11-2	0,93±0,039	0,27±0,008	1,20±0,046
12. Максим+ R. leg Ф 16-1	1,37±0,005*	0,36±0,002	1,73±0,007*
Фаза стиглого бобу			
1. Контроль	0,60±0,012	0,21±0,012	0,81±0,019
2. Ризобіфіт	0,57±0,011	0,25±0,007*	0,81±0,018
3. R. leg C4-30	0,67±0,020*	0,23±0,010	0,90±0,028*
4. R. leg 724	0,71±0,010*	0,23±0,005	0,95±0,009*
5. R. leg Ф 11-2	0,74±0,005*	0,30±0,001*	1,04±0,005*
6. R. leg Ф 16-1	0,54±0,020	0,17±0,005	0,71±0,025
7. Максим	0,51±0,008	0,17±0,009	0,68±0,016
8. Максим+ Ризобіфіт	0,46±0,002	0,15±0,003	0,62±0,004
9. Максим+ R. leg C4-30	0,67±0,005*	0,29±0,002*	0,96±0,005*
10. Максим+ R. leg 724	0,74±0,011*	0,30±0,003*	1,05±0,011*
11. Максим+ R. leg Ф 11-2	0,69±0,008*	0,30±0,004*	0,99±0,009*
12. Максим+ R. leg Ф 16-1	0,60±0,005	0,25±0,004*	0,86±0,009*

Примітка *відмінності порівняно з контролем достовірні за $P \leq 0,05$

пластидних пігментів, які у своєму складі містять азот.

Аналізуючи показники, отримані у фазі стиглого бобу, простежуємо зниження вмісту зелених пігментів у листках сочевиці харчової, порівнюючи з попередніми фазами онтогенезу культури. Комплексне застосування Максим+МБП також сприяло зростанню кількості хлорофілів у мезофілі листків, порівнюючи з неінокульованими рослинами. Зокрема, в зазначеній вище фазі максимальне значення вмісту хлорофілів *a* і *b* виявлено за інокуляції насіннєвого матеріалу *R. leg* 724 на фоні використання протруйника Максим, приріст яких становив 24,0 і 42,1%, порівнюючи із контрольним значенням (табл. 1). Достовірні дані про накопичення хлорофілу *a* визначено за моноінокуляції насіння *R. leg* штамми C4-30, 724 та Ф 11-2, хлорофілу *b* – Ризобофітом.

Сума хлорофілів *a* і *b*, яка, за даними науковців, коливається в межах від 0,3 до 5 мг/г, є важливим показником роботи пігментних систем. Крім того, в літературі зазначено, що найінтенсивніше процес фотосинтезу відбувається в тому випадку, коли співвідношення пігментів у листках становить: хлорофілів *a* – 50%, *b* – 30%, каротиноїдів – 20% (Матвєєва і Кваско, 2010). Встановлено, що в онтогенезі листки рослин сочевиці харчової сорту Red характеризувалися найвищими параметрами вмісту хлорофілу *a* і суми хлорофілів *a* і *b* у фазі бутонізації – початок цвітіння, дещо нижчим під час цвітіння рослин. У фазах формування та досягання бобів їх уміст знижувався, що пояснюється поступовим старінням листків рослин. За інокуляції насіння *R. leg* штаму 724 визначено найбільшу суму хлорофілів *a* і *b* у фазах бутонізації – початок цвітіння та цвітіння. Приріст показників порівняно з контролем становив 19,7% і 15,8%. Встановлено високу ефективність комбінації Максим+Ризобофіт на накопичення зелених пігментів у листках у фазу бутонізації – початку цвітіння, приріст показника – 14,9%. Збільшення вмісту зелених пігментів у листках сочевиці за дії мікробних препаратів, очевидно, зумовлювалось поліпшенням азотного живлення рослин унаслідок біологічної фіксації нітрогену симбіотичними азотфіксувальними системами. Комбіноване застосування МБП із протруйником Максим сприяло ще поліпшенню здоров'я рослин, а отже, інтенсифікувало процеси біосинтезу хлорофілів у листках.

Поява в рослин індукованого окиснювального стресу підтверджується й зростанням рівня каротиноїдів, що беруть активну участь в адаптивно-захисних реакціях організму (Веселовська і Коць, 2014). Підвищення вмісту β -каротину сприяє нейтралізації руйнівної дії високоактивного синглетного кисню, який неконтрольовано зростає під впливом хімічних факторів, захищаючи хлорофіл від фотоокислення (Foyer & Shigeoka, 2010). Встановлено зростання показника вмісту каротиноїдів у листках сочевиці харчової за впливу МБП упродовж генеративних фаз розвитку (рис. 1) на 5,1–19,5% (бутонізація – початок цвітіння), 10,1–27,2% (цвітіння), 3,3–26,1% (зелений біб), 14,9–23,7% (стиглий біб). У фазу цвітіння виявлено пік накопичення каротиноїдів у листках рослин сочевиці. Найвище значення вмісту жовтих пігментів у листках рослин у вищезгаданій фазі було відмічено за моновикористання *R. leg* 724 (приріст 27,2%), порівнюючи з контрольним варіантом.

У фазу зеленого бобу виявлено статистично вірогідне підвищення вмісту каротиноїдів у листках рослин на 19,8% (Ризобофіт), 8,9% (*R. leg* C4-30), 22,6% (*R. leg* 724), 3,3% (*R. leg* Ф 16-1), порівнюючи з неінокульованими рослинами.

У літературі наявні дані, що показник співвідношення хлорофілів *a* та *b* може корелювати з ростовими процесами рослин на ранніх фазах їх росту та розвитку, впливаючи на потенціал урожайності. В оптимально працюючому фотосинтетичному апараті співвідношення хлорофілів *a/b* становить 2,5–3,0 (Матвєєва і Кваско, 2010), зміни можуть свідчити про порушення стехіометрії між комплексами реакційних центрів фотосистем та світлозбиральних комплексів (Біологічні ..., 2012). Достовірні дані щодо показника співвідношення пігментів *a/b*, який збільшується за сприятливих умов зростання, в листках рослин у фазі цвітіння виявлено за використання штамів *R. leg* Ф 11-2 та *R. leg* Ф 16-1 – 5,5 і 3,9%, порівнюючи з контролем. Найвище значення показника співвідношення хлорофілів *a/b* виявлено у фазу зеленого бобу (рис. 2) за сумісного застосування МПБ *R. leg* C4-30 та протруйника Максим – на 35,7% більше, порівнюючи зі значенням контрольного варіанту. Моноінокуляція насіння Ризобофітом та *R. leg* статистично вірогідно підвищувала значення показників цієї фази на 8,9–17,2% відносно контрольного варіанту, на фоні застосування протруйника – на 14,0–35,7%.

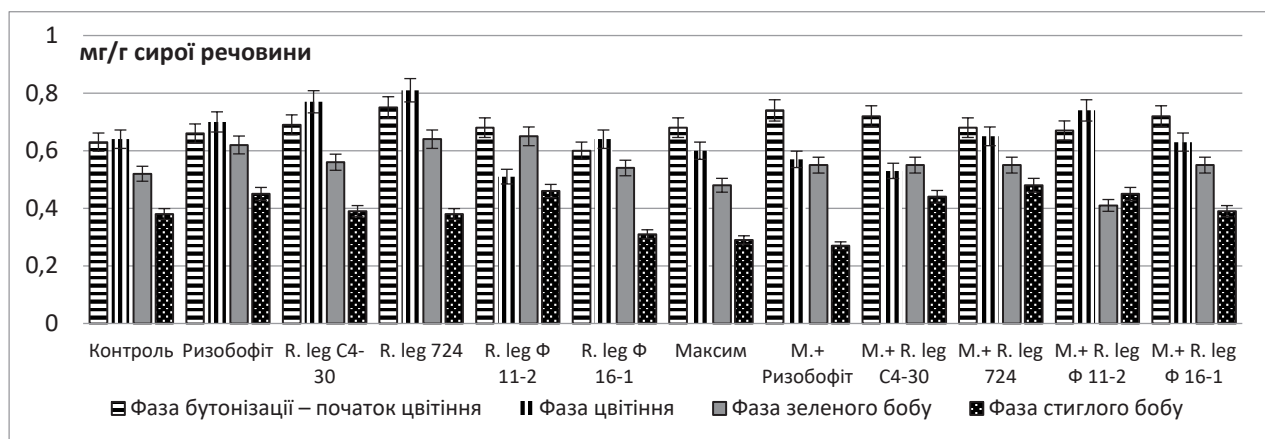


Рис. 1. Вплив МБП та протруйника Максим на накопичення каротиноїдів у листках сочевиці харчової сорту Red, $M \pm m$

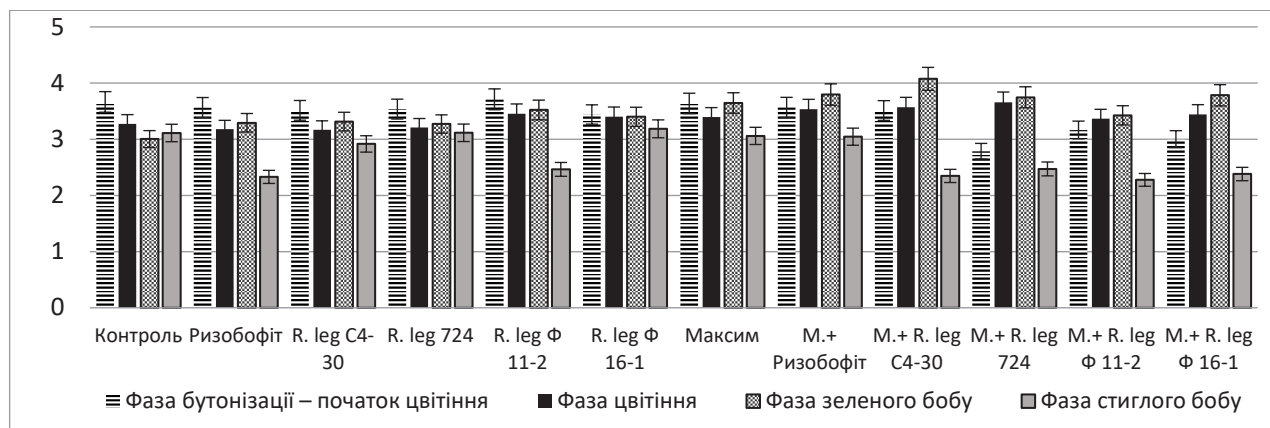


Рис. 2. Вплив МБП та протруйника Максим на співвідношення пігментів хлорофілів a і b у листках сочевиці харчової сорту Red, $M \pm m$

Висновки

Отже, накопичення фотосинтетичних пігментів у листках сочевиці харчової сорту Red в разі вирощування в ґрунтово-кліматичних умовах Західного Лісостепу України залежить від інокуляції насіння мікробними препаратами, сумісного їх застосування з протруйником Максим та фенологічної фази росту і розвитку рослин. Монооброблення насіння перед сівбою мікробними препаратами та сумісно з протруйником Максим у технології вирощування сочевиці харчової суттєво впливали на накопичення у листках хлорофілу a впродовж генеративних фаз розвитку рослин.

Моноінокуляція насіння сочевиці харчової *R. leg* C4-30 та *R. leg* 724 статистично вірогідно впродовж генеративних фаз розвитку рослин підвищувала вміст хлорофілів у мезофілі листків. Застосування в технології вирощування Ризобофіту та *R. leg* Ф 11-2 суттєво

впливало на накопичення хлорофілів у фазах бутонізації – початок цвітіння та зеленого бобу, *R. leg* Ф 11-2 – ще й стиглого бобу. За оброблення насіння сочевиці харчової перед сівбою протруйником Максим визначено статистично вірогідне збільшення кількості хлорофілів лише у фазі бутонізації – початок цвітіння. За сумісного використання МБП із протруйником виявлено підвищення вмісту хлорофілів у фазах бутонізації – початок цвітіння (варіанти Ризобофіт та *R. leg* C4-30), цвітіння та стиглого бобу (варіанти *R. leg* 724, *R. leg* Ф 11-2, *R. leg* Ф 16-1).

Найвищим умістом хлорофілів характеризувалися листки сочевиці харчової у фазі бутонізації – початок цвітіння, основних каротиноїдів – під час цвітіння рослин. У наступних фенологічних фазах уміст хлорофілів у листках знижується.

Оброблення насіння перед сівбою мікробними препаратами на основі буль-

бочкових бактерій сочевиці та сумісно з протруйником Максим суттєво впливає на фізіологічні процеси в онтогенезі рослин. Комплексне застосування в технології вирощування сочевиці харчової сорту Red Ризобофіту, активних штамів *R. leg* та протруйників дозволить інтенсифікувати

фотосинтетичні процеси шляхом поліпшення азотного живлення рослин унаслідок біологічної фіксації нітрогену азотфіксувальними системами, реалізувати потенціал захисних властивостей від грибкових захворювань і, як наслідок, підвищити урожайність культури.

Список використаної літератури

- Біологічні основи інтегрованої дії гербіцидів і регуляторів росту рослин / В.П. Карпенко та ін. ; за ред. В.П. Карпенка. Умань : Видавець «Сочінський», 2012. 357 с.
- Веселовська А.І., Коць С.Я. Вплив різних способів застосування лектину на симбіотичні системи соя – *Bradyrhizobium japonicum*, сформовані в умовах оптимального та недостатнього водозабезпечення. *Фізіологія рослин і генетика*. 2014. Т. 46. № 5. С. 437–448.
- Гуляєв Б.І. Екофізіологія фотосинтезу: досягнення, стан та перспективи досліджень. *Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліття* : зб. наук. праць. Київ, 2001. Т. 1. С. 60–74.
- Калитка В.В., Капінос М.В. Вплив регуляторів росту і активних штамів ризобій на пігментний комплекс та продуктивність гороху посівного (*Pisum sativum* L.). *Вісник ХНАУ*. 2015. Вип. 2. С. 8–18.
- Карпенко В.П., Коробко О.О. Вплив гербіциду і біологічних препаратів на фотосинтетичну продуктивність і врожайність нуту. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2018. Вип. 4. С. 48–54.
- Квітко Г.П., Сауляк О.М. Формування урожаю насіння сочевиці харчової в умовах Лісостепу Правобережного. *Органічне виробництво і продовольча безпека* : зб. матеріалів доп. учасн. III Міжнар. наук.-практ. конф. Житомир : Полісся, 2015. С. 564–568.
- Козак В.О., Пида С.В., Мацюк О.Б., Москалюк Н.В., Герц Н.В. Симбіотична активність сочевиці харчової (*Lens culinaris* Medik.) за впливу мікробних препаратів та фунгіцидів. XVI з'їзд Товариства мікробіологів України ім. С.М. Виноградського : збірник тез доповідей (Тернопіль, 2–6 червня 2025 р.). Київ, 2025. С. 38.
- Матвєєва 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.
- Сиваш О.О., Михайленко М.Ф., Золотарьова О.К. Варіація співвідношення вмісту хлорофілів а і b при адаптації рослин до зовнішніх чинників. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія біологія*. 2018. Т. 3. № 45. С. 49–73.
- 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.
- Чернік І.В., Пида С.В., Тригуба О.В., Мацюк О.Б. Вплив бактеріальних препаратів на накопичення фотосинтетичних пігментів у листках *Cicer arietinum* L. *Слобожанський науковий вісник. Серія: Природничі науки*. 2024. № 2. С. 36–41.
- Ashraf M. Thermotolerance in Plants: Potential Physio-Biochemical and Molecular Markers for Crop Improvement. *Environmental and Experimental Botany*. 2021. Vol. 186. P. 104454. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104454>.
- Benmeziiane-Derradji F., Djermoune-Arkoub L., Ayat N.E.H., Aoufi D. Impact of roasting on the physicochemical, functional properties, antioxidant content and microstructure changes of Algerian lentil (*Lens culinaris*) flour. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2020. Is. 14. No 5. P. 2840–2853.
- Dhull S.B., Kinabo J., Uebersax M.A. Nutrient profile and effect of processing methods on the composition and functional properties of lentils (*Lens culinaris* Medik): A review. *Legume Science*. 2022. P. 156.
- Foyer C.H., Shigeoka S. Understanding Oxidative Stress and Antioxidant Functions to Enhance Photosynthesis. *Plant Physiology*. 2010. Vol. 155. №1. P. 93–100. <https://doi.org/10.1104/pp.110.166181>.
- Gorai P.S., Ghos, R., Mandal S., Ghosh S., Chatterjee S., Gond S.K., Mandal N.C. *Bacillus siamensis* CNE6- a multifaceted plant growth promoting endophyte of *Cicer arietinum* L. having broad spectrum antifungal activities and host colonizing potential. *Microbiological Research*. 2021. Vol. 252. P. 126859. URL: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126859>.

Guo F., Peng L., Xiong H., Tsao R., Zhang H., Jiang L., Sun, Y. Bioaccessibility and transport of lentil hull polyphenols in vitro, and their bioavailability and metabolism in rats. *Food Research International*. 2023. Vol. 167. P. 112634. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2023.112634>.

Kaale L.D., Siddiq M., Hooper S. Lentil (*Lens culinaris* Medik) as nutrient-rich and versatile food legume: A review. *Legume Science*. 2023. Is. 5. No 2. P. 169.

Li M., Cheng S., Wang Y., Dong Y. Improving fruit coloration, quality attributes, and phenolics content in rainier and bing cherries by gibberellic acid combined with homobrassinolide. *J. of plant growth regulation*. 2019. No. 11. P. 25–28.

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>.

Parihar P., Singh P., Patidar J. K. Chapter 13 – Biostimulants for improving nutritional quality in legumes. *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>.

Sehgal A., Sita K., Kumar J., Kumar S., Singh S., Siddique K.H.M., Nayyar H. Effects of Drought, Heat and Their Interaction on the Growth, Yield and Photosynthetic Function of Lentil (*Lens culinaris* Medikus) Genotypes Varying in Heat and Drought Sensitivity. *Frontiers in plant science*. 2017. Vol. 8. P. 1776.

Shrestha S., Van't Hag L., Haritos V.S., Dhital S. Lentil and Mungbean protein isolates: processing, functional properties, and potential food applications. *Food Hydrocoll*. 2023. P. 135.

Wellburn A. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *J. Plant. Physiol*. 1994. Is. 144. No 3. P. 307–313.

References

Biologichni osnovy integhrovanoji diji gherbicydiv i reghuljatoriv rostu roslyn [Biological basis of integrated action of herbicides and plant growth regulators]. (2012). V. P. Karpenko ta in. ; za red. V. P. Karpenka. Uman : Vydavciv «Sochinsjkyj», 357 p. [in Ukrainian].

Veselovs'jka, L.I., & Kocj, S.Ja. (2014). Vplyv riznykh sposobiv zastosuvannja lektynu na symbiotychni systemy soja – *Bradyrhizobium japonicum*, sformovani v umovakh optymalnogho ta nedostatnjogho vodozabezpechennja [The effect of different methods of lectin application on soybean-*Bradyrhizobium japonicum* symbiotic systems formed under conditions of optimal and insufficient water supply]. *Fiziologhija roslyn i ghenetyka [Plant physiology and genetics]*, 46 (5), 437–448. [in Ukrainian].

Ghuljajev, B.I. (2001). Ekofiziologhija fotosyntezy: dosjaghnennja, stan ta perspektyvy doslidzhenj [Ecophysiology of photosynthesis: achievements, status and prospects of research]. *Fiziologhija roslyn v Ukrajinі na mezhi tysjacholittja [Plant physiology in Ukraine at the turn of the millennium]*: zb. nauk. pracj. K., 1, 60–74 [in Ukrainian].

Kalytka, V.V., & Kapinos, M.V. (2015). Vplyv reghuljatoriv rostu i aktyvnykh shtamiv ryzobij na pighmentnyj kompleks ta produktyvnistj ghorokhu posivnogho (*Pisum sativum* L.) [Influence of growth regulators and active rhizobia strains on the pigment complex and productivity of pea (*Pisum sativum* L.)]. *Visnyk KhNAU [Bulletin of KhNAU]*, 2, 8–18. [in Ukrainian].

Karpenko, V.P., & Korobko, O.O. (2018). Vplyv gherbicydu i biologichnykh preparativ na fotosyntetychnu produktyvnistj i vrozhajnistj nutu [Effect of herbicide and biological preparations on photosynthetic productivity and yield of chickpea]. *Visnyk aghrarnoji nauky Prychornomor'ja [Bulletin of Agricultural Science of the Black Sea Region]*, 4, 48–54. [in Ukrainian].

Kvitko, Gh.P., & Sauljak, O.M. (2015). Formuvannja urozhaju nasinnja sochevyci kharchovoji v umovakh Lisostepu Pravoberezhnogho [Formation of the harvest of food lentil seeds in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe]. *Orghanichne vyrobnyctvo i prodovoljcha bezpeka [Organic production and food security]*: zb. materialiv dop. uchasn. III Mizhnar. nauk.-prakt. konf. Zhytomyr: Polissja, 564–568. [in Ukrainian].

Kozak, V.O., Pyda, S.V., Macjuk, O.B., Moskaljuk N.V. & Gherc N.V. (2025). Symbiotychna aktyvnistj sochevyci kharchovoji (*Lens culinaris* Medik.) za vplyvu mikrobynykh preparativ ta funghicydiv [Symbiotic activity of edible lentils (*Lens culinaris* Medik.) under the influence of microbial preparations and fungicides]. *XVI zjzsd Tovarystva mikrobiologhiv Ukrajinj im. S.M. Vynohrads'kogho [XVI Congress of the S.M. Vinogradsky Society of Microbiologists of Ukraine]*: zbirnyk tez dopovidej (Ternopil, 2-6 chervnja 2025 r.). Kyiv, 38 [in Ukrainian].

- Matvejeva, N.A., & Kvasko, O.Ju. (2010). Vmist fotosyntetychnykh pighmentiv v transghennykh roslinakh cykoriju z ghenom tuberkuljoznogho antyghena Esat6 [The content of photosynthetic pigments in transgenic chicory plants with the gene of tuberculosis antigen Esat6]. *Visnyk Doneckjogho nacionaljnogho universytetu [Bulletin of Donetsk National University]*, 2, 249–253 [in Ukrainian].
- Syvash, O.O., Mykhajlenko, M.F., & Zolotarjova, O.K. (2018). Variacija spivvidnoshennja vmistu khlorofiliv a i b pry adaptaciji roslin do zovnishnykh chynnykiv [Variation of the ratio of chlorophylls a and b content during plant adaptation to external factors]. *Visnyk Kharkivskogho nacionaljnogho aghrarnogho universytetu. Serija biologhija [Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series Biology]*, 3(45), 49–73 [in Ukrainian].
- Sukhova, Gh.I. (2012). Fotosyntetychna dijalnistj sortiv sochevyci v umovakh Skhidnogho Lisostepu Ukrajinu [Photosynthetic activity of lentil varieties in the conditions of the Eastern Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk KhNAU. Serija : Roslynnnyctvo, selekcija i nasinnyctvo, plodoovochivnyctvo [Bulletin of KhNAU. Series: Plant growing, breeding and seed production, fruit and vegetable growing]*, 2, 150–155 [in Ukrainian].
- Chernik, I.V., Pyda, S.V., Tryghuba, O.V., & Macjuk, O.B. (2024). Vplyv bakterialnykh preparativ na nakopychennja fotosyntetychnykh pighmentiv u lystkakh *Cicer arietinum* L. [The effect of bacterial preparations on the accumulation of photosynthetic pigments in the leaves of *Cicer arietinum* L.]. *Slobozhanskyj naukovyj visnyk. Serija: Pryrodnychi nauky [Slobozhanskyi naukovyi vestnik. Series: Natural Sciences]*, 2, 36–41 [in Ukrainian].
- Ashraf, M. (2021). Thermotolerance in Plants: Potential Physio-Biochemical and Molecular Markers for Crop Improvement. *Environmental and Experimental Botany*, 186, 104454. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104454> [in English].
- Benmeziane-Derradji, F., Djermoune-Arkoub, L., Ayat, N.E.H., & Aoufi, D. (2020). Impact of roasting on the physicochemical, functional properties, antioxidant content and microstructure changes of Algerian lentil (*Lens culinaris*) flour. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14 (5), 2840–2853 [in English].
- Dhull, S.B., Kinabo, J., & Uebersax, M.A. (2022). Nutrient profile and effect of processing methods on the composition and functional properties of lentils (*Lens culinaris* Medik): A review. *Legume Science*, 156 [in English].
- Foyer, C.H., & Shigeoka, S. (2010). Understanding Oxidative Stress and Antioxidant Functions to Enhance Photosynthesis. *Plant Physiology*, 155 (1), 93–100. <https://doi.org/10.1104/pp.110.166181> [in English].
- Gorai, P.S., Ghosh, R., Mandal, S., Ghosh, S., Chatterjee, S., Gond, S.K., & Mandal, N.C. (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].
- Guo, F., Peng, L., Xiong, H., Tsao, R., Zhang, H., Jiang, L., & Sun, Y. (2023). Bioaccessibility and transport of lentil hull polyphenols in vitro, and their bioavailability and metabolism in rats. *Food Research International*, 167, 112634. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2023.112634> [in English].
- Kaale, L.D., Siddiq, M., & Hooper, S. (2023). Lentil (*Lens culinaris* Medik) as nutrient-rich and versatile food legume: A review. *Legume Science*, 5 (2), 169 [in English].
- Li, M., Cheng, S., Wang, Y., & Dong, Y. (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 [in English].
- 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> [in English].
- Parihar, P., Singh, P., & Patidar, J.K. (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].
- Sehgal, A., Sita, K., Kumar, J., Kumar, S., Singh, S., Siddique, K.H.M., & Nayyar, H. (2017). Effects of Drought, Heat and Their Interaction on the Growth, Yield and Photosynthetic Function of Lentil (*Lens culinaris* Medikus) Genotypes Varying in Heat and Drought Sensitivity. *Frontiers in plant science*, 8, 1776 [in English].
- Shrestha, S., Van't Hag, L., Haritos, V.S., & Dhital, S. (2023). Lentil and Mungbean protein isolates: processing, functional properties, and potential food applications. *Food Hydrocoll*, 135 [in English].
- Wellburn, A. (1994). The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total caroteinds, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *J. Plant. Physiol*, 144 (3), 307–313 [in English].

Отримано: 28.07.2025

Прийнято: 29.08.2025

Опубліковано: 17.10.2025

