

УДК 633.73:581.132:631.53

Фотосинтетична діяльність рослин цикорію коренеплідного залежно від густоти рослин і ширини міжрядь

ID О. В. Ткач*, ID О. В. Аморциту, ID Є. В. Латошкін

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», вул. Шевченка, 12, м. Кам'янець-Подільський, 32316, Україна, *e-mail: tkachov@pdatu.edu.ua

Мета. Установити вплив різної густоти стояння та ширини міжрядь на формування показників фотосинтетичної діяльності рослин цикорію коренеплідного. **Методи.** Дослідження проводили у 2023–2025 рр. на виробничій базі ФОП Аморциту О. В. (Західний Лісостеп України) на чорноземі опідзоленому середньосуглинковому. Схема досліду – двофакторна: густота стояння рослин (85; 95; 105; 110 тис. шт./га) та ширина міжрядь (30; 45; 60 см). Визначали площу листової поверхні (метод висічок), фотосинтетичний потенціал та чисту продуктивність фотосинтезу за методиками О. О. Ничипоровича. **Результати.** Площа листової поверхні зростала до фази змикання листків і становила максимум 56,6–69,3 тис. м²/га залежно від року, густоти та ширини міжрядь, після чого знижувалась до технічної стиглості (21,4–25,0 тис. м²/га). Найвищі значення формувалися за густоти 105–110 тис. шт./га. Фотосинтетичний потенціал досягав 2,0–2,9 млн м²·діб/га та збільшувався зі зростанням густоти посіву. Чиста продуктивність фотосинтезу знижувалася за загущення, але максимальні значення (до 6,99 г/м² за добу) відмічено за 110 тис. шт./га та міжрядь 30 см. Широке міжряддя (60 см) зменшували показники ЧПФ і загальну ефективність агроценозу. **Висновки.** Густота рослин і ширина міжрядь істотно впливають на формування фотосинтетичного апарату цикорію коренеплідного. Оптимальні умови для фотосинтетичної продуктивності створюються за густоти 105–110 тис. шт./га та ширини міжрядь 45–60 см, що забезпечує поєднання високої листової поверхні та стабільної фотосинтетичної активності. Результати можуть бути використані для оптимізації технології вирощування цикорію в умовах Західного Лісостепу.

Ключові слова: цикорій коренеплідний; фотосинтез; площа листової поверхні; фотосинтетичний потенціал; густота рослин; ширина міжрядь.

Вступ

Встановлення оптимальної площі живлення рослин є фундаментальним агротехнічним завданням у технології вирощування цикорію коренеплідного (*Cichorium intybus* L. var. *sativum*). Просторова та кількісна розміщення рослин на площі безпосередньо визначає конфігурацію їхньої площі живлення, яка, своєю чергою, є інтегральним показником впливу абіотичних та біотичних факторів. Вона залежить від біологічних особливостей культури, тривалості вегетаційного періоду, ґрунтово-кліматичних умов зони вирощування та технологічних прийомів [1, 2]. Економічно та енергетично доцільною вважається та площа живлення, яка за оптимальних витрат ресурсів забезпечує максимальний вихід товарної продукції з одиниці площі. Пріоритетного значення при цьому набуває ефективність використання рослинами фотосинтетично активної радіації (ФАР), потенціалу ґрунтової родючості та гідротермічних ресурсів, що значною мірою детермінується сортовими особливостями, густотою стояння та формою площі живлення [3, 4].

Фундаментальні основи фотосинтетичної діяльності рослин закладено в працях класиків фізіології рослин [5, 6]. Сучасні дослідження підтверджують, що продуктивність агроценозів визнача-

Як цитувати: Ткач О. В., Аморциту О. В., Латошкін Є. В. Фотосинтетична діяльність рослин цикорію коренеплідного залежно від густоти рослин і ширини міжрядь. *Новітні агротехнології*. 2026. Т. 14, № 1. <https://doi.org/10.47414/na.14.1.2026.361946>



© The Author(s) 2026. Published by Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ється здатністю рослин формувати оптимальну площу листової поверхні та ефективно використовувати ФАР [7, 8]. Для коренеплідних культур доведено пряму залежність між розвитком асиміляційного апарату та масою коренеплодів [9]. Вченими встановлено, що максимальна площа листків у цикорію досягається на 80–85 добу вегетації, після чого поступово зменшується. Однак, вплив конфігурації площі живлення (співвідношення густоти та ширини міжрядь) на динаміку фотосинтетичних показників цикорію коренеплідного в умовах регіону вивчений недостатньо.

Густота посівів та ширина міжрядь є ключовими елементами агротехнології, оскільки вони визначають не лише рівень урожайності, а й економічну ефективність виробництва через вплив на затрати праці та засобів при догляді за посівами та збиранні врожаю [10]. Формування продуктивності цикорію коренеплідного відбувається в результаті комплексної взаємодії генотипу з конкретними ґрунтово-кліматичними умовами. Однак реалізація потенційної продуктивності культури лімітується сукупністю агротехнологічних заходів, серед яких важлива роль належить оптимізації структури посіву. Науково обґрунтований вибір ширини міжрядь та густоти стояння дозволяє створити оптимальні умови для росту й розвитку рослин [11]. Водночас аналіз літературних джерел свідчить про наявність суперечливих рекомендацій щодо параметрів площі живлення для цикорію коренеплідного та брак системних науково-теоретичних обґрунтувань цього питання стосовно умов Лісо-степу Західного. Це зумовлює необхідність проведення досліджень, спрямованих на встановлення раціональних параметрів розміщення рослин, які забезпечують реалізацію їхнього біологічного потенціалу в регіональних умовах.

У технологічному процесі вирощування цикорію коренеплідного необхідно враховувати весь комплекс агротехнічних заходів, орієнтованих на інтенсифікацію накопичення органічної речовини та формування високого врожаю коренеплодів. Інтегральним показником ефективності обраної технології є динаміка наростання площі листової поверхні, яка визначає продукційний процес та інтенсивність фотосинтезу. Дослідження підтверджують, що фотосинтетична активність стебла та листків цикорію відіграє важливу роль у сезонному накопиченні вуглецю, причому питома фотосинтетична продуктивність стебла може бути вищою порівняно з листками [12]. Кореляційний аналіз підтверджує пряму залежність між розвитком асиміляційного апарату та рівнем урожайності коренеплодів: краще розвинена листовка поверхня забезпечує вищий вихід продукції. Фотосинтетична здатність листків також тісно пов'язана з їх температурою та вмістом азоту [13].

Продуктивність ростових процесів у цикорію коренеплідного досягається за рахунок збільшення асиміляційної поверхні в період фотосинтетичної діяльності. При цьому біосинтез білків і хлорофілу створюють умови для інтенсивного фотосинтезу. Дослідженнями багатьох вчених встановлено, що фотосинтетична діяльність рослин залежить площі листового апарату, що обумовлює інтенсивність фотосинтезу, період його дії та інших факторів. Чим краще розвинута листовка поверхня рослин, подовженість періоду їх вегетації, тим вище, як правило, врожай коренеплодів. Для оптимального проходження фотосинтезу рослин в посівах вони повинні мати повну, добре розвинуту листовку поверхню. Листовка поверхня у рослин цикорію коренеплідного досягає максимуму на 80–85 добу після з'явлення сходів, потім вона поступово зменшується і частина листків починає жовтіти, підсихати і відмирати. Також вченими підтверджено, що площа листової поверхні збільшується в процесі росту і розвитку рослин, від з'явлення сходів і досягає максимуму до кінця вегетаційного періоду [14].

Суттєвий вплив на тривалість роботи листового апарату мають погодно-кліматичні умови, та особливо вологість ґрунту. Якщо рослини перебувають в умовах засухи тривалий період, тоді змінюється їх фотосинтетична продуктивність в цілому, зокрема і через зменшення площі фотосинтетичної поверхні листків. Також, для оптимального проходження фотосинтезу велике значення має просторове та кількісне розміщення рослин цикорію коренеплідного у посівах, за допомогою чого створюються оптимальні площі живлення [15, 16].

Визначальним агротехнічним фактором у формуванні високопродуктивних агроценозів цикорію є оптимальна густота посівів рослин. Загущення посівів призводить до підвищення щільності фітоценозу, взаємного затінення рослин та, як наслідок, зменшення площі листків і зниження ефективності фотосинтетичної діяльності. Для забезпечення високої продуктивності важливо, щоб максимальна площа листової поверхні формувалася у період активної вегетації, коли створюються найсприятливіші умови для освітлення рослин та засвоєння ними ФАР. Завдяки цьому досягається оптимальний режим світлового живлення, що сприяє підвищенню загальної фотосинтетичної поверхні. У посівах з різною густотою та шириною міжрядь спостерігаються відмінності у фотосинтетичній діяльності рослин; зокрема, за надмірної густоти інтенсивність фотосинтезу знижується. Вплив

стресових факторів, зокрема водного дефіциту, може суттєво змінювати алокацію асимілятів: пріоритет у розподілі вуглецю надається кореневим структурам, потім запасним речовинам і лише потім надземній масі.

Мета досліджень – установити вплив різної густоти стояння та ширини міжрядь на формування показників фотосинтетичної діяльності рослин цикорію коренеплідного.

Матеріали та методика дослідження

Польові дослідження виконували впродовж 2023–2025 років на виробничій базі ФОП Аморциту О. В. (с. Форосна, Чернівецький р-н, Чернівецька обл.). Територія господарства належить до зони Західного Лісостепу України, що характеризується помірно континентальним кліматом. Ґрунтовий покрив дослідної ділянки представлений чорноземом опідзоленим середньосуглинковим. Агрохімічна характеристика орного шару (0–20 см) наступна: вміст гумусу (за методом Тюріна) становить 3,2–3,5 %, реакція ґрунтового розчину (рН сольової витяжки) – близька до нейтральної (6,5–6,8). Попередником у сівозміні була озима пшениця. Технологія вирощування цикорію коренеплідного, за винятком досліджуваних факторів (густиоти стояння рослин та ширини міжрядь), була загальноприйнятною для зони Лісостепу та відповідала рекомендаціям для регіону.

Метеорологічні умови в роки проведення досліджень суттєво відрізнялися, що дозволило об'єктивно оцінити вплив досліджуваних агрозаходів за контрастних погодних сценаріїв. Вегетаційний період 2024 року був посушливим, гідротермічний коефіцієнт (ГТК) становив 0,8. Натомість 2025 рік виявився надмірно зволеним із ГТК на рівні 1,6, що створило сприятливі умови для розвитку хвороб та вимагало іншого підходу до формування агроценозу.

Програмою досліджень передбачалося вивчення впливу просторового розміщення рослин на фотосинтетичну діяльність агроценозу цикорію коренеплідного. Експеримент був двофакторним та реалізований із розміщенням ділянок варіантів у трьох повтореннях.

Фактор А – густина посівів:

- А1 – 85 тис. шт./га;
- А2 – 95 тис. шт./га (контрольний варіант);
- А3 – 105 тис. шт./га;
- А4 – 110 тис. шт./га.

Фактор В – ширина міжрядь:

- В1 – 30 см;
- В2 – 45 см (контрольний варіант);
- В3 – 60 см.

Оцінку фотосинтетичної діяльності посівів проводили згідно з класичними методиками, описаними в роботах О. О. Ничипоровича. Відбір рослин для аналізів здійснювали у три основні фенологічні фази вегетації цикорію: утворення двох справжніх листків, змикання листків у міжряддях, настання технічної стиглості коренеплідів.

Площу листя визначали методом висічок. Відібрані рослини розділяли на фракції, з листкових пластинок за допомогою свердла (коркового бура) вирізали зразки відомої площі, висушували та зважували. За співвідношенням маси висічок до загальної маси листя розраховували загальну площу листової поверхні однієї рослини (см²/рослину). Отримані дані перераховували на площу посіву (тис. м²/га).

Фотосинтетичний потенціал є інтегральним показником, що характеризує можливості посіву до формування врожаю за період вегетації. ФП розраховували за формулою:

$$\text{ФП} = \frac{(S_1 + S_2)}{2} \times T$$

де S_1 та S_2 – площа листової поверхні на початку та в кінці облікового періоду (тис. м²/га), T – тривалість періоду (днів). Результати виражали в млн м² × діб/га.

Чиста продуктивність фотосинтезу показує інтенсивність накопичення органічної речовини на одиницю листової поверхні за одиницю часу. ЧПФ визначали за формулою:

$$\text{ЧПФ} = \frac{M_2 - M_1}{0,5 \times (S_1 + S_2) \times T}$$

де M_1 та M_2 – маса абсолютно сухої речовини рослин на початку та в кінці періоду (г). Одиниці вимірювання ЧПФ – г/м² за добу. Розрахунки проводили як для окремого міжфазного періоду (змикання рядків – технічна стиглість), так і визначали усереднені показники за весь період активної вегетації.

Для забезпечення достовірності отриманих результатів та висновків експериментальні дані піддавали статистичній обробці. З цією метою використовували метод дисперсійного аналізу для двофакторного дослідження. Розрахунки проводили із застосуванням пакету програм Microsoft Excel. Оцінку істотності різниці між варіантами дослідження проводили на 5 % рівні значущості з розрахунком найменшої істотної різниці ($HP_{0,05}$).

Результати досліджень

Результатами експериментальних досліджень встановлено, що густина та ширина міжрядь цикорію коренеплідного впливає на формування площі листової поверхні (табл. 1)

Таблиця 1

Площа листової поверхні рослин цикорію коренеплідного залежно від густоти та ширини міжрядь, тис. м²/га

| Густина рослин, тис. шт./га (фактор А) | Ширина міжрядь посіву, см (фактор В) | | | | | | | | | |
|--|--------------------------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|--|
| | 30 | | | 45 (к) | | | 60 | | | |
| | Фази розвитку рослин | | | | | | | | | |
| | утв-ня 2-х справжніх листків | змикання листків у міжряддях | технічна стиглість | утв-ня 2-х справжніх листків | змикання листків у міжряддях | технічна стиглість | утв-ня 2-х справжніх листків | змикання листків у міжряддях | технічна стиглість | |
| 2023 рік | | | | | | | | | | |
| 85 | 0,6 | 56,6 | 21,4 | 1,6 | 66,7 | 22,4 | 1,7 | 67,3 | 23,5 | |
| 95 (к) | 0,7 | 56,7 | 22,5 | 1,7 | 67,6 | 22,9 | 1,8 | 68,1 | 23,6 | |
| 105 | 0,8 | 56,8 | 22,6 | 1,8 | 67,8 | 22,9 | 1,7 | 68,3 | 23,7 | |
| 110 | 0,8 | 58,5 | 23,1 | 1,8 | 68,0 | 23,5 | 1,7 | 68,0 | 24,1 | |
| 2024 рік | | | | | | | | | | |
| 85 | 0,2 | 54,3 | 21,4 | 1,2 | 55,3 | 22,4 | 1,3 | 65,1 | 23,4 | |
| 95 (к) | 0,3 | 55,4 | 22,3 | 1,3 | 56,4 | 22,8 | 1,4 | 66,1 | 23,4 | |
| 105 | 0,2 | 56,7 | 22,4 | 1,2 | 57,4 | 22,9 | 1,3 | 67,1 | 23,5 | |
| 110 | 0,2 | 56,7 | 22,8 | 1,2 | 58,5 | 23,0 | 1,3 | 67,8 | 24,1 | |
| 2025 рік | | | | | | | | | | |
| 85 | 0,7 | 58,5 | 22,7 | 1,7 | 67,1 | 23,7 | 1,8 | 67,0 | 24,7 | |
| 95 (к) | 0,8 | 59,3 | 21,8 | 1,8 | 67,5 | 23,1 | 1,9 | 67,3 | 24,1 | |
| 105 | 0,8 | 58,7 | 22,9 | 1,8 | 68,3 | 23,9 | 1,9 | 67,9 | 24,9 | |
| 110 | 0,8 | 59,5 | 23,7 | 1,8 | 68,4 | 23,9 | 1,9 | 69,3 | 25,0 | |

$HP_{0,05}$: А – 0,32; В – 0,28; АВ – 0,45

Як свідчать результати досліджень, що густина рослин у посіві при ширині міжрядь 30 см площа листової поверхні у фазу двох справжніх листків в 2023 році становила від 0,6 до 0,8 тис. м²/га, 2024 році від 0,2 до 0,3 і 2025 році 0,7–0,8 тис. м²/га, відповідно. При ширині міжрядь 30 см, незалежно від густоти рослин у посіві площа листової поверхні досягла свого максимуму у фазі змикання листків у міжряддях. Так, у 2023 році вона встановила від 56,6 до 58,5 тис. м²/га при густоті рослини 110 тис. м²/га. У 2024 році ці показники були дещо нижчими і становили від 54,3 до 56,8 тис. м²/га. Більш з кращими показниками площі листової поверхні виділяється 2025 рік і максимуму також досягли у фазі змикання рядків у міжряддях від 58,5 до 59,5 тис. м²/га. У подальшому до фази технічної стійкості спостерігається різке зменшення площі листової поверхні. При ширині міжрядь 30 см у фазі технічної стійкості рослин площа листової поверхні у 2023 році становила не залежно від густоти рослин від 21,4 до 23,5 тис. м²/га, у 2024 році – 21,4 до 22,8 і 2025 році – 21,8–23,7 тис. м²/га, відповідно.

Аналогічні показники площі листової поверхні і при ширині міжрядь 45 і 60 см. У фазі технічної стиглості у 2023 році від ширини міжрядь посіву 45 см отримали: 22,4 до 23,5 тис. м²/га, 60 см – 23,5–24,1 відповідно. Аналогічні показники і в 2024 році. Дещо підвищені показники листової поверхні відмічено у 2025 році у фазі технічної стійкості вони були від 21,1 до 25,0 тис. м²/га. Це пов'язано було з тим, що у цей період більш інтенсивне випадання опадів, що і продовжило в деякій мірі вегетаційний період і підвищено показник площі листової поверхні. Також слід відмітити, що із збільшенням кількості рослин на одиницю площі посіву, площа листової поверхні збільшувалась, але формування цього показника зменшувалась.

Важливим показником оцінки продуктивності рослин цикорію коренеплідного є фотосинтетичний потенціал, який характеризується сумарною робочою площею листової поверхні за вегетаційний період, з сумою щодобових показників на гектар, і є одним із найважливіших показників оптимального проходження процесу фотосинтезу.

Як встановлено експериментальними дослідженнями, показники фотосинтетичного потенціалу рослин залежали від густоти і ширини міжрядь рослин у посіві і відмічено тенденцію зростання його до завершення вегетаційного періоду (табл. 2).

Таблиця 2

Фотосинтетичний потенціал рослин цикорію коренеплідного залежно від густоти і ширини міжрядь, млн × м² діб/га

| Густота рослин, тис. шт./га (фактор А) | Ширина міжрядь посіву, см (фактор В) | | | | | | | | |
|--|--------------------------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|
| | 30 | | | 45 (к) | | | 60 | | |
| | Фази розвитку рослин | | | | | | | | |
| | утв-ня 2-х справжніх листків | змикання листків у міжряддях | технічна стиглість | утв-ня 2-х справжніх листків | змикання листків у міжряддях | технічна стиглість | утв-ня 2-х справжніх листків | змикання листків у міжряддях | технічна стиглість |
| 2023 рік | | | | | | | | | |
| 85 | 0,01 | 1,5 | 2,3 | 0,02 | 1,6 | 2,4 | 1,7 | 1,8 | 2,5 |
| 95 (к) | 0,01 | 1,6 | 2,9 | 0,02 | 1,8 | 2,9 | 1,9 | 1,8 | 2,8 |
| 105 | 0,02 | 1,7 | 2,8 | 0,03 | 1,7 | 2,8 | 1,8 | 1,8 | 2,8 |
| 110 | 0,05 | 1,8 | 2,8 | 0,06 | 1,8 | 2,7 | 1,8 | 1,9 | 2,7 |
| 2024 рік | | | | | | | | | |
| 85 | 0,01 | 1,5 | 2,1 | 0,01 | 1,6 | 2,2 | 1,7 | 1,7 | 2,3 |
| 95 (к) | 0,02 | 1,6 | 2,6 | 0,02 | 1,6 | 2,4 | 1,7 | 1,7 | 2,4 |
| 105 | 0,02 | 1,7 | 2,5 | 0,02 | 1,7 | 2,5 | 1,8 | 1,6 | 2,4 |
| 110 | 0,04 | 1,8 | 2,5 | 0,03 | 1,7 | 2,4 | 1,9 | 1,8 | 2,5 |
| 2025 рік | | | | | | | | | |
| 85 | 0,01 | 1,5 | 2,0 | 0,01 | 1,6 | 2,1 | 1,7 | 1,7 | 2,2 |
| 95 (к) | 0,01 | 1,6 | 2,4 | 0,02 | 1,6 | 2,3 | 1,7 | 1,8 | 2,3 |
| 105 | 0,02 | 1,6 | 2,9 | 0,02 | 1,6 | 2,6 | 1,8 | 1,8 | 2,5 |
| 110 | 0,06 | 1,7 | 2,7 | 0,04 | 1,7 | 2,7 | 1,8 | 1,9 | 2,6 |

НІР_{0,05}: А – 0,18; В – 0,16; АВ – 0,26

Найвищі значення фотосинтетичного потенціалу рослин цикорію коренеплідного відмічено на ділянках з густотою рослин 105 і 110 тис. шт./га. При ширині міжряддя посіву 30 см в 2023 році встановлено у фазі технічної стійкості рослин від 2,3 до 2,9 млн м² діб/га. Аналогічні показники у 2024 і 2025 роках від 2,1 до 2,6 і 2,0 до 2,9 млн м² діб/га, відповідно із широкою міжрядь посіву 45 і 60 см відмічено таку саму закономірність у фазі технічної стійкості у 2023 році від 2,4 до 2,9, 2024 році – 2,2 до 2,5, 2025 році – від 2,1 до 2,7 млн м² діб/га.

Як свідчать результати досліджень, що фотосинтетична продуктивність цикорію коренеплідного забезпечується цими величинами залежно від фази росту й розвитку рослин та густоти і ширини міжрядь посіву.

Також слід відмітити, що густота і ширина міжрядь посіву рослин суттєво не впливала на зміну величини показника чистої продуктивності фотосинтезу (табл. 3). Зі збільшенням густоти рослин на одиницю площі призводить до пониження показника чистої продуктивності фотосинтезу, оскільки при загущених посівах зростає загальна площа листків у посіві і вони більше затіняють один одного. Так, при густоті рослин 85 тис. шт./га і ширині міжрядь 30 см чиста продуктивність становила 3,41 г/м² за добу, тоді як при густоті 110 тис. шт./га і ширині міжрядь 30 см показники чистої продуктивності у фазі змикання рядків становили 6,99 і технічної стійкості – 3,74 г/м² за добу. Аналогічні показники і при ширині міжрядь посіву 45 і 60 см. При ширині міжрядь 45 см у технічній стиглості частота продуктивності рослин становила 2,99 (85 тис. рослин шт./га) 3,57 г/м² за добу (110 тис. шт./га), 60 см – 2,40 і 2,93 г/м² за добу, відповідно, тому, слід зазначити, що у загущених посівах значна частина нижніх листків частково затінена верхніми ярусами, проте навіть за цієї умови велике загущення рослин сприяє інтенсивному нагромадженню вегетативної маси і врожайності коренеплідів на одиницю площі посіву.

Чиста продуктивність фотосинтезу рослин цикорію коренеплідного залежно від густоти і ширини міжрядь посіву г/м² за добу (середнє за 2023–2025 рр.)

| Густота рослин, тис. шт./га (фактор А) | Ширина міжрядь посіву, см (фактор В) | | | | | |
|---|--------------------------------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| | 30 | | 45 (к) | | 60 | |
| | Фази розвитку рослин | | | | | |
| | змикання рядків | технічна стиглість | змикання рядків | технічна стиглість | змикання рядків | технічна стиглість |
| 85 | 3,41 | 2,40 | 2,99 | 2,39 | 2,86 | 2,40 |
| 95 (к) | 5,78 | 2,99 | 4,55 | 3,00 | 3,01 | 2,23 |
| 105 | 5,83 | 3,15 | 4,78 | 3,22 | 3,19 | 2,86 |
| 110 | 6,99 | 3,74 | 5,73 | 3,57 | 3,52 | 2,93 |
| НІР _{0,05} : фаза змикання рядків: А – 0,71, В – 0,61; фаза технічної стійкості: А – 0,29, В – 0,025 | | | | | | |

НІР для фактора А (0,71) дозволяє стверджувати, що різниця між контролем (4,55) і варіантами 110 тис. шт./га (5,73–6,99) є суттєвою. НІР для фактора В (0,61). Різниця між варіантами 30 см і 60 см (наприклад, для 110 тис. шт./га: 6,99 – 3,52 = 3,47) є значно вищою за НІР, отже, вплив ширини міжрядь доведений і суттєвий. Найкращі умови для фотосинтезу створюються за максимальної густоти (110 тис. шт./га) та мінімальної ширини міжрядь (30 см). Різниця з контролем (95/45) становить +2,44 г/м² за добу, що є статистично та біологічно значущим показником. НІР для А (0,29). Різниця між контролем (3,00) і варіантом 110 тис. шт./га на 30 см (3,74) є суттєвою (0,74 > 0,29). НІР для В (0,25). Падіння з 3,00 (контроль) до 2,23 (95/60) є критичним і статистично підтвердженим. Найкращий результат знову демонструє варіант 110 тис./га та міжряддя 30 см (3,74). Контрольний варіант (95/45) також показує добрий результат (3,00), але поступається щільнішому посіву. Варіант із широкими міжряддями (60 см) є найгіршим і економічно недоцільним.

Висновки

Густота рослин та ширина міжрядь є визначальними факторами у формуванні фотосинтетичного апарату цикорію коренеплідного. Максимальних значень площа листкової поверхні (69,3 тис. м²/га) та фотосинтетичний потенціал (2,9 млн м² × діб/га) набувають за густоти 110 тис. шт./га та ширини міжрядь 60 см у фазі змикання листків.

Показник чистої продуктивності фотосинтезу був найвищим (6,99 г/м² за добу) за максимального загущення (110 тис. шт./га) та вузьких міжрядь (30 см), що свідчить про високу інтенсивність фотосинтезу в оптимізованому агрофітоценозі, попри його щільність.

Для умов Лісостепу Західного з метою формування високопродуктивних посівів цикорію коренеплідного доцільно використовувати густоту стояння рослин на рівні 105–110 тис. шт./га з шириною міжрядь 45–60 см. Подальші дослідження слід спрямувати на вивчення впливу встановлених параметрів на вихід інуліну та товарність коренеплодів.

Використана література

1. Бахмат М. І., Ткач О. В., Бахмат О. М. Формування насінневої продуктивності цикорію коренеплідного залежно від способу та схеми розміщення рослин. *Вісник Уманського національного університету*. 2021. № 1. С. 8–13. <https://doi.org/10.31395/2310-0478-2021-1-8-13>
2. Bais H. P., Ravishankar G. A. *Cichorium intybus* L. – cultivation, processing, utility, value addition and biotechnology, with an emphasis on current status and future prospects. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2001. Vol. 81, Iss. 5. P. 467–484. <https://doi.org/10.1002/jsfa.817>
3. Кузьміч В. М., Яценко А. О. Рекомендації по вирощуванню цикорію кореневого. Самчики : ХІАВ НААНУ, 2010. 15 с.
4. Зінченко О. І., Салатенко В. Н., Білоножко М. А. Рослинництво / за ред. О. І. Зінченка. Київ : Аграрна освіта, 2021. 591 с.
5. Яценко А. О. Цикорій коренеплідний: біологія, селекція, виробництво і переробка коренеплодів. Умань : ФІЦБ УААН, 2003. 161 с.
6. Taiz L., Zeiger E., Møller I. M., Murphy A. *Plant Physiology and Development*. 6th ed. Oxford : Oxford University Press, 2014. 761 p.
7. Breda, N. J. J. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of Experimental Botany*. 2003. Vol. 54. P. 2403–2417. <https://doi.org/10.1093/jxb/erg263>

8. Мусієнко М. М. Фотосинтез. Київ : Фітоцентр, 1995. 247 с.
9. Овчарук В. І., Ткач О. В., Овчарук О. В. Вплив органо-мінеральних добрив на урожайність коренеплідів цикорію та ферментативну діяльність рослин. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агронія і біологія»*. 2022. Вип. 1. С. 97–102. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.1.13>
10. Tkach O., Patsyryeva H., Ovcharuk O., Ovcharuk V., Padalko T., Tkach L., Amorcite O. Influence of feeding area on development, productivity and nutritional value of chicory. *Agronomy Research*. 2024. Vol. 22, No. 1. P. 301–312. <https://doi.org/10.15159/AR.24.001>
11. Миколайко В. П. Фотосинтетичний потенціал та інтенсивність квіткоутворення цикорію коренеплідного на насіння залежно від агротехнологічних прийомів його вирощування. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2016. Вип. 3. С. 79–88.
12. Рослинництво / за ред. В. Г. Влоха. Київ : Вища школа, 2005. 382 с.
13. Bakhmat M., Padalko T., Krachan T., Tkach O., Patsyryeva H., Tkach L. Formation of the yield of *Matricaria recutita* and indicators of food value of *Sychorium intybus* by technological methods of co-cultivation in the interrows of an orchard. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. Vol. 24, Iss. 8. P. 250–259. <https://doi.org/10.12911/22998993/166553>
14. Ткач О. В. Фотосинтетична діяльність рослин цикорію коренеплідного. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2020. Вип. 2. С. 107–116. <https://doi.org/10.31548/dopovidi2020.02.010>
15. Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В. Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур. 5-те вид., виправ., допов. Львів : НВФ «Українські технології», 2020. 806 с.
16. Шадчина Т. М., Гуляев Б. І., Кірізій Д. А. та ін. Регуляція фотосинтезу і продуктивність рослин. Фізіологічні та екологічні аспекти. Київ : Український фітосоціологічний центр, 2006. 383 с.

References

- Bakhmat, M. I., Tkach, O. V., & Bakhmat, O. M. (2021). Formation of seed productivity of chicory root depending on the method and scheme of plant placement. *Bulletin of Uman National University of Horticulture*, 1, 8–13. <https://doi.org/10.31395/2310-0478-2021-1-8-13> [In Ukrainian]
- Bais, H. P., & Ravishankar, G. A. (2001). *Cichorium intybus* L. – cultivation, processing, utility, value addition and biotechnology, with an emphasis on current status and future prospects. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(5), 467–484. <https://doi.org/10.1002/jsfa.817>
- Kuzmich, V. M., & Yatsenko, A. O. (2010). *Recommendations for growing root chicory*. HIAV NAANU. [In Ukrainian]
- Zinchenko, O. I., Salatenko, V. N., & Bilonozhko, M. A. (2021). *Plant growing* (O. I. Zinchenko, Ed.). Ahrarna Osvita. [In Ukrainian]
- Yatsenko, A. O. (2003). *Root chicory: biology, selection, production and processing of root crops*. FITSB UAAN. [In Ukrainian]
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2014). *Plant Physiology and Development* (6th ed.). Oxford University Press.
- Breda, N. J. J. (2003). Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of Experimental Botany*, 54, 2403–2417. <https://doi.org/10.1093/jxb/erg263>
- Musienko, M. M. (1995). *Photosynthesis*. Fitotsentr. [In Ukrainian]
- Ovcharuk, V. I., Tkach, O. V., & Ovcharuk, O. V. (2022). The significance of the role of organic-mineral fertilizers in the root nutrition of plants chicory. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology*, 1, 97–102. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.1.13> [In Ukrainian]
- Tkach, O., Patsyryeva, H., Ovcharuk, O., Ovcharuk, V., Padalko, T., Tkach, L., & Amorcite, O. (2024). Influence of feeding area on development, productivity and nutritional value of chicory. *Agronomy Research*, 22(1), 301–312. <https://doi.org/10.15159/AR.24.001>
- Mykolaiko, V. P. (2016). Photosynthetic potential and intensity of flowering of root chicory for seeds depending on agrotechnological methods of its cultivation. *Bulletin of Agrarian Science of the Black Sea Region*, 3, 79–88. [In Ukrainian]
- Vlokh, V. H. (Ed.). (2005). *Plant growing*. Vyshcha Shkola. [In Ukrainian]
- Bakhmat, M., Padalko, T., Krachan, T., Tkach, O., Patsyryeva, H., & Tkach, L. (2023). Formation of the yield of *Matricaria recutita* and indicators of food value of *Cichorium intybus* by technological methods of co-cultivation in the interrows of an orchard. *Journal of Ecological Engineering*, 24(8), 250–259. <https://doi.org/10.12911/22998993/166553>
- Tkach, O. V. (2020). Photosynthetic activity of root chicory plants. *Scientific Reports of NULES of Ukraine*, 2, 107–116. <https://doi.org/10.31548/dopovidi2020.02.010> [In Ukrainian]
- Petrychenko, V. F., & Lykhochvor, V. V. (2020). *Plant growing. New technologies for growing field crops* (5th ed.). NVF "Ukrainski Tekhnolohii". [In Ukrainian]

16. Shadchyna, T. M., Hulciaev, B. I., & Kirizii, D. A. (2006). *Regulation of photosynthesis and plant productivity. Physiological and ecological aspects*. Ukrainian Phytosociological Center. [In Ukrainian]

UDC 633.73:581.132:631.53

Tkach, O. V. *, Amortsytu, O. V., & Latoshkin, Ye. V. (2026). Photosynthetic activity of root chicory plants under different plant density and row spacing. *Advanced Agritechnologies*, 14(1). <https://doi.org/10.47414/na.14.1.2026.361946> [In Ukrainian]

*Higher educational institution "Podillia State University", 12 Shevchenko St., Kamianets-Podilskyi, Khmelnytskyi region, 32316, Ukraine, *e-mail: tkachov@pdatu.edu.ua*

Aim. To determine the influence of different plant densities and row spacings on the formation of photosynthetic activity indicators in root chicory plants. **Methods.** The study was conducted in 2023–2025 in the Western Forest Steppe of Ukraine on medium-loamy podzolic chernozem. The experimental design was two-factor: plant density (85, 95, 105, 110 thousand plants/ha) and row spacing (30, 45, 60 cm). Leaf area was determined using the cut-out method, while photosynthetic potential and net photosynthetic productivity were assessed according to the methodologies of O. O. Nychporovych. **Results.** Leaf area increased until the leaf-closure stage, reaching a maximum of 56.6–69.3 thousand m²/ha depending on year, density, and row spacing, and then declined towards technical maturity (21.4–25.0 thousand m²/ha). The highest values were recorded at densities of 105–110 thousand plants/ha. Photosynthetic potential reached 2.0–2.9 million m²·day/ha and increased with higher plant density. Net photosynthetic productivity decreased under excessive density, but the maximum values (up to 6.99 g/m²·day) were observed at a density of 110 thousand plants/ha and 30 cm row spacing. Wider row spacing (60 cm) reduced net photosynthetic productivity and the overall efficiency of the agrocenosis. **Conclusions.** Plant density and row spacing significantly influence the formation of the photosynthetic apparatus of root chicory. Optimal conditions for photosynthetic productivity are achieved at densities of 105–110 thousand plants/ha and row spacings of 45–60 cm, ensuring a balance between high leaf area and stable photosynthetic activity. The results can be used to optimise chicory cultivation technology in the Western Forest Steppe of Ukraine.

Keywords: root chicory; photosynthesis; leaf area; photosynthetic potential; plant density; row spacing.

Надійшла / Received 20.01.2026

Погоджено до друку / Accepted 23.02.2026

Опубліковано онлайн / Published online 28.05.2026