

2019–2021, from 3235 (May–September) to 3731 (April–November). The largest range of difference between the sums of heat units was for the period April–October, from 3550 in 2019 to 3845 in 2021, which indicates the potential for earlier corn sowing dates in this region under favorable weather conditions. Corn hybrids 'EU Concord' and 'EU Asteroid' are quite plastic and respond positively to optimization of nutrition. Application of $N_{22}P_{57}K_{57}$ in the form of diamophoska provides an increase in the yield of their grain by 0.99–1.01 t/ha, or 16.3–16.4%. Additional application of nitrogen fertilizers against the background of diammonium phosphate provides an increase in yield from 0.57 to 1.33 t/ha, or by 8.0–18.6%. With the introduction of potassium ammonium nitrate (KAN 32), the yield increase in 'EU Concord' was 2.19 t/ha and in 'EU Asteroid' 2.34 t/ha compared to the control. **Conclusions.** The sum of the accumulated heat units during vegetation more objectively characterizes the thermal resources of the area compared to the sums of positive, active and effective temperatures, which makes it possible to more accurately determine the optimal dates for sowing and the end of the crop vegetation season in the conditions of the research region. Applying nitrogen in several ways optimizes the nutrition of corn plants, ensuring an increase in individual productivity and grain yield up to 18.6%.

Keywords: hybrid; heat units; types of nitrogen fertilizers; productivity index.

Надійшла / Received 21.11.2022

Погоджено до друку / Accepted 09.12.2022

УДК 633.358:631.54:631.84

DOI: <https://doi.org/10.47414/np.30.2022.270118>

Фотосинтетичні параметри посівів гороху озимого залежно від азотного удобрення та інокуляції насіння в умовах Правобережного Лісостепу України

Н. В. Новицька, О. В. Пономаренко*

Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна, *e-mail: ronomarenko2332@gmail.com

Мета. Оцінити фотосинтетичні параметри посівів гороху озимого залежно від інокуляції насіння та азотного удобрення в умовах Правобережного Лісостепу України. **Методи.** Дослідження проводили впродовж 2019–2021 рр. на полях відокремленого підрозділу НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» (Київська обл.). Горох озимий 'НС Мороз' висівали в другій половині вересня нормою 1,2 млн схожих насінин/га, ширина міжрядь – 15 см, глибина висіву насіння – 4–4,5 см. Схема досліду передбачала комбіноване застосування таких технологічних чинників, як інокуляція насіння (без інокуляції; Оптімайз Пульс, 3,3 л/т) та азотне удобрення – основне внесення + ранньовесняне підживлення (N_0 ; $N_{15} + N_{15}$; $N_{15} + N_{30}$; $N_{15} + N_{45}$; $N_{30} + N_0$; $N_{30} + N_{15}$; $N_{30} + N_{30}$; $N_{45} + N_0$; $N_{45} + N_{15}$; $N_{60} + N_0$). В основне удобрення як загальний фон також вносили $R_{45}K_{45}$. **Результати.** Інокуляція насіння та азотні добрива позитивно впливають на фотосинтетичну діяльність посівів гороху озимого, однак ефективність їхньої дії значною мірою залежить як від доз і строків внесення добрив, так і фази розвитку культури. Установлено, що в осінній період вегетації гороху озимого (повні сходи – стеблуння) вплив досліджуваних агротехнічних заходів на формування показників площі листової поверхні (ПЛП), фотосинтетичного потенціалу (ФП) та чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) був здебільшого неістотним. У період весняно-літньої вегетації у досліді суттєво зростав вплив чинника інокуляції насіння, а також ранньовесняного підживлення азотом, натомість зменшувався основного удобрення. Найбільші параметри ПЛП (у середньому по досліді 31,4 тис. $m^2/га$) посіви формували у фазі

цвітіння, ФП – у період формування бобів – досягання насіння (0,75 млн м²/га × діб). Застосування інокуляції насіння порівняно з варіантами без неї сприяло підвищенню цих показників на 5,33 тис. м²/га та 0,17 млн м²/га × діб відповідно. Максимальні в досліді значення як ПЛП (35,77–36,45 тис. м²/га), так і ФП (0,91–0,93 млн м²/га × діб) отримано за внесення N₁₅ + N₃₀₋₄₅ та N₃₀ + N₃₀ на фоні інокуляції насіння, мінімальні – на контролях (N₀). Кардинально іншими були закономірності формування ЧПФ. Найвищі її показники в період відновлення вегетації – бутонізація рослин (як і в наступні міжфазні періоди) спостерігалися передусім за мінімального застосування добрив (N₃₀ + N₀, N₁₅ + N₁₅) або ж у контрольних варіантах (N₀) – 8,1–9,2 г/м² за добу. Інокуляція насіння на формування ЧПФ істотно не впливала. Максимальний уміст хлорофілу *a* в рослинах – 5,90 мг/г формувалася у фазі бутонізації, поступово знижуючись до 5,74 і 5,05 мг/г у фазах цвітіння та формування бобів відповідно. Натомість уміст хлорофілу *b* найнижчим був у фазі бутонізації – 12,37 мг/г, досягав максимуму в період цвітіння – 19,71 мг/г, дещо знижуючись у фазі формування бобів – 16,37 мг/г сирової маси. Інокуляція насіння сприяла підвищенню вмісту хлорофілу *a* за фазами розвитку в середньому на 0,9–1,0 мг/г, хлорофілу *b* – на 1,4–2,2 мг/г. Що стосується варіантів мінерального удобрення, то найліпшими були схеми N₁₅ + N₃₀₋₄₅. **Висновки.** Застосування інокуляції насіння та азотних добрив є вагомим і дієвим чинником інтенсифікації фотосинтетичної діяльності посівів гороху озимого. Виявлені у процесі дослідження закономірності формування показників площі листової поверхні, фотосинтетичного потенціалу, чистої продуктивності фотосинтезу та вмісту фотосинтетичних пігментів можуть бути використані для вдосконалення технології вирощування культури з метою якнайповнішої реалізації її потенційної продуктивності в умовах Правобережного Лісостепу України.

Ключові слова: площа листової поверхні; фотосинтетичний потенціал; чиста продуктивність фотосинтезу; уміст хлорофілів.

Вступ

Від розмірів та ефективності роботи фотосинтетичного апарату рослин залежить величина врожаю всіх без винятку сільськогосподарських культур. Дослідження щодо оптимізації фотосинтетичної діяльності посівів, розпочаті ще в середині минулого століття під керівництвом А. О. Ничипоровича, і досі не втратили своєї актуальності [1, 2].

Фотосинтетичні параметри посівів можна оптимізувати багатьма способами. Зокрема, якщо розглядати технологію вирощування як сукупність чинників, що впливають на фотосинтез окремо, то навіть елементарне просторове розташування рослин, густина посівів, ширина міжрядь та інші фактори структурного розміщення листя, їх ярусності, взаємозатінювання тощо, визначають скільки речовин зможуть синтезувати рослини завдяки енергії сонця [3, 4].

Якщо ж оцінювати важливість чинників життєдіяльності рослин за їхнім впливом на процеси фотосинтезу, то найвагомими серед них є забезпечення доступною рослинам вологою та елементами живлення. Щодо оптимального розташування рослин чи доступу їх листків до сонячної енергії, то ці чинники можуть як підсилити, так і послабити інтенсивність фотосинтезу. Зокрема, у разі затінення листків у них утворюється більше тінювих хлорофілів *b* і фотосинтез відбувається, тоді як за відсутності вологи чи мінерального живлення – фотохімічна реакція зупиняється [5–8].

Горох належить до культур із коротким вегетаційним періодом, і навіть озима його форма не має надто тривалої активної вегетації [9]. Звісно, сюди можна відносити й період перезимівлі, але активний розвиток навесні є все ж коротшим, ніж у гороху посівного. Тому важливо дослідити закономірності формування фотосинтетичного апарату гороху озимого та ефективні способи технологічного впливу на нього.

Мета досліджень – оцінити фотосинтетичні параметри посівів гороху озимого залежно від інокуляції насіння та азотного удобрення в умовах Правобережного Лісостепу України.

Матеріали та методика досліджень

Фотосинтетичні параметри посівів гороху озимого залежно від впливу інокуляції та азотного удобрення вивчали в досліді, що закладався на базі ННЛ «Демонстраційне колекційне поле сільськогосподарських культур» відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Агрономічна дослідна станція» впродовж 2019–2021 рр.

Грунт дослідного поля – чорнозем карбонатний грубопилувато-легкосуглинковий на лесовидному суглинку. Цей тип ґрунту характеризується середній умістом гумусу в орному шарі (4,58 %), середньою забезпеченістю рухомим фосфором і обмінним калієм та низькою – легкогідролізованим азотом.

Погодні умови в роки проведення досліджень мали деякі відхилення від середніх багаторічних показників, але загалом були сприятливими для росту й розвитку рослин гороху озимого, успішної перезимівлі посівів та формування ними високого рівня продуктивності.

Площа посівної ділянки – 25 м², облікової – 20 м². Повторність досліду – трикратна, розміщення варіантів – рендомізоване. Попередник – пшениця озима. Висівали горох озимий у другій половині вересня нормою 1,2 млн схожих насінин/га, ширина міжрядь – 15 см, глибина висіву насіння – 4–4,5 см.

У досліді вирощували горох озимий 'НС Мороз'. Це перший озимий сорт білкового гороху сербської селекції, призначений для виробництва зерна. Рік реєстрації – 2016. Рекомендовані зони вирощування – Степ, Лісостеп, Полісся. Сорт дуже ранній, створений методом добору гібридної популяції.

Схема досліду передбачала застосування таких технологічних чинників, як *інокуляція насіння*: 1. без інокуляції (контроль), 2. інокуляція Оптімайз Пульс, 3,3 кг/т, та *азотне удобрення*: 1. N₀ (контроль), 2. N₁₅ + N₁₅, 3. N₁₅ + N₃₀, 4. N₁₅ + N₄₅, 5. N₃₀ + N₀, 6. N₃₀ + N₁₅, 7. N₃₀ + N₃₀, 8. N₄₅ + N₀, 9. N₄₅ + N₁₅, 10. N₆₀ + N₀.

Азотні добрива – аміачну селітру – як восени (в основне удобрення, N₁₅₋₆₀), так і на початку відновлення вегетації (ранньовесняне підживлення, N₁₅₋₄₅) застосовували згідно зі схемою досліду. В основне удобрення як загальний фон також вносили P₄₅K₄₅. Щодо решти елементів технологія була загальноприйнятою для зони вирощування культури.

Площу листової поверхні визначали за формулою:

$$S = D \times Ш \times K, \text{ де}$$

D – довжина листочка, см; Ш – ширина листочка в найширшому місці, см; K – перевідний коефіцієнт (0,75).

Фотосинтетичний потенціал посіву (ФП, млн м²/га × діб) визначали за формулою:

$$\text{ФП} = \frac{Л_1 + Л_2}{2 \times 1000} T, \text{ де}$$

Л₁ + Л₂ – площа листової поверхні в певні фази розвитку, тис. м²/га; T – тривалість міжфазного періоду, діб.

Чисту продуктивність фотосинтезу посіву (ЧПФ, г/м² за добу) визначали за формулою:

$$\text{ЧПФ} = \frac{B_2 - B_1}{0,5 (Л_1 + Л_2) \times n}, \text{ де}$$

B₁ і B₂ – маса сухої речовини рослин на початку і в кінці облікового періоду, г; (B₂ – B₁) – приріст маси сухої речовини за n діб, г; Л₁ і Л₂ – площа листків на початку і кінці облікового періоду, м²; 0,5 (Л₁ + Л₂) – середня площа листової поверхні; n – період між двома спостереженнями, діб.

Статистично результати досліджень обробляли методом дисперсійного аналізу з використанням прикладної програми Statistica-6 [12].

Результати досліджень

Динаміку формування площі листової поверхні посівів гороху озимого впродовж періоду вегетації залежно від інокуляції насіння та азотного удобрення наведено в таблиці 1.

Площа листової поверхні посівів гороху озимого 'НС Мороз' залежно від елементів технології вирощування, тис. м²/га (середнє за 2019–2021 рр.)

Інокуляція насіння	Азотне удобрення	Фаза розвитку						
		сходи	стеблуння	весняне відновлення вегетації	бутонізація	цвітіння	формування бобів	достигання насіння
Без інокуляції	N ₀	1,39	4,68	4,02	10,58	24,12	21,21	14,85
	N ₁₅ + N ₁₅	1,36	4,70	4,04	11,39	26,06	22,94	16,06
	N ₁₅ + N ₃₀	1,47	4,68	4,02	13,68	30,72	27,04	18,90
	N ₁₅ + N ₄₅	1,47	4,71	4,05	13,95	31,45	27,68	19,37
	N ₃₀ + N ₀	1,42	5,05	4,35	11,32	26,36	23,21	16,26
	N ₃₀ + N ₁₅	1,47	5,00	4,30	12,34	28,54	25,11	17,57
	N ₃₀ + N ₃₀	1,39	5,10	4,39	13,79	30,88	27,18	19,02
	N ₄₅ + N ₀	1,43	5,29	4,55	13,16	29,72	26,16	18,31
	N ₄₅ + N ₁₅	1,47	5,36	4,61	13,15	29,77	26,18	18,33
	N ₆₀ + N ₀	1,39	6,00	4,92	13,07	30,04	26,44	18,50
Оптімайз Пульс, 3,3 кг/т	N ₀	1,53	4,70	4,04	12,98	29,97	26,40	18,49
	N ₁₅ + N ₁₅	1,34	4,75	4,08	13,92	31,96	28,13	19,67
	N ₁₅ + N ₃₀	1,35	4,72	4,06	15,62	35,77	31,52	22,04
	N ₁₅ + N ₄₅	1,53	4,71	4,05	15,70	36,45	32,10	22,46
	N ₃₀ + N ₀	1,51	5,11	4,39	14,40	33,98	29,88	20,91
	N ₃₀ + N ₁₅	1,48	5,10	4,38	15,10	35,64	31,34	21,94
	N ₃₀ + N ₃₀	1,42	5,15	4,43	15,24	36,19	31,85	22,31
	N ₄₅ + N ₀	1,43	5,40	4,65	14,14	34,19	30,09	21,07
	N ₄₅ + N ₁₅	1,46	5,35	4,60	15,03	35,17	30,95	21,65
	N ₆₀ + N ₀	1,47	6,02	5,18	13,19	31,69	27,92	19,56
НІР _{0,05}		0,4	0,6	0,5	0,9	1,8	1,6	1,5

Щодо площі листової поверхні рослин гороху в період настання повних сходів, то в середньому по досліді вона становила 1,44 тис. м²/га, а наявні відхилення між варіантами були зумовлені передусім строкатістю ділянок та відповідним варіюванням біометричних параметрів рослин. Чіткої закономірності у формуванні показників площі листя залежно від інокуляції та застосування азотних добрив також не було виявлено. І це не дивно, адже рослини гороху на час сходів повністю забезпечені елементами живлення з насінини, тому більшою мірою площу їх листової поверхні визначали доступні в ґрунті запаси вологи.

У фазі стеблуння середня площа листової поверхні становила 5,08 тис. м²/га, при цьому не спостерігалось істотних відхилень між варіантами без та з інокуляцією насіння. Водночас застосування азотного добрива в основне внесення ефективно впливало на збільшення площі листя рослин уже від дози N₃₀, досягаючи максимуму дії за внесення N₆₀ – 6,00–6,02 тис. м²/га. Тож цілком закономірно, що в поєднанні з більш високорослими рослинами гороху в осінній час у варіантах застосування максимальних доз основного удобрення були сформовані й більші за габітусом рослини.

Під час перезимівлі посівів гороху, одночасно з випаданням частини рослин унаслідок дії несприятливих чинників, утрачалась і частина листків на рослинах, що вижили. А тому на час відновлення весняної вегетації середня площа листової поверхні становила 4,36 тис. м²/га, причому не спостерігалось значних її відхилень як у разі застосування інокуляції, або без неї. Водночас за максимальних норм унесених восени мінеральних добрив до часу відновлення вегетації на рослинах залишалось досить багато листків, попри вищий відсоток їх відмирання взимку. Зокрема, у варіантах з N₆₀ площа листової поверхні становила 4,92–5,18 тис. м²/га.

У фазі бутонізації рослин гороху відбувся перерозподіл впливу чинників у досліді й за середньої площі листя 13,59 тис. м²/га у варіантах з інокуляцією насіння цей показник зростав

на 1,9 тис. м²/га. Також істотно посилювся вплив на формування площі листя чинника мінерального азотного живлення, застосованого навесні, натомість основне, осіннє внесення добрив з великими нормами втратило свої лідерські позиції. Зокрема, незважаючи на якому фоні інокуляції проводили досліді, найефективнішими виявились варіанти внесення восени N₁₅ у поєднанні з ранньовесняним підживленням N₃₀ та N₄₅. Аналогічні результати було отримано і в разі застосування системи удобрення N₃₀ + N₃₀.

Максимальні параметри площі листової поверхні гороху відзначено у фазі цвітіння – в середньому по досліді 31,3 тис. м²/га. Застосування інокуляції насіння Оптімайз Пульс сприяло ліпшому забезпеченню рослин доступним азотом, а отже й формуванню ними на 5,3 тис. м²/га більшої поверхні листя.

Як і в попередній фазі розвитку, найвищі показники площі листків отримано за ранньовесняного підживлення посівів N₃₀ та N₄₅. При цьому слід зазначити, що схема удобрення N₁₅ + N₄₅ на фоні без інокуляції насіння забезпечувала формування площі листової поверхні на рівні 31,45 тис. м²/га, а в разі застосування інокулянта Оптімайз Пульс – 36,45 тис. м²/га. Такий істотний приріст показника пов'язаний передусім із синергічним ефектом поєднання малих доз мінерального живлення та симбіотичної активності колоній бульбочкових бактерій на коренях рослин.

Надалі у процесі вегетації культури площа листової поверхні рослин поступово зменшувалась, і становила в середньому за варіантами досліді у фазі формування бобів 27,67 тис. м²/га, а у фазі досягання насіння – 19,36 тис. м²/га. При цьому загальні закономірності формування площі листя гороху озимого залежно від досліджуваних чинників були аналогічними попереднім фазам розвитку культури. Зокрема, застосування інокуляції насіння забезпечувало прирости на рівні 4,7 та 3,3 тис. м²/га відповідно, а найвищі показники спостерігались у варіантах підживлення посівів N₃₀₋₄₅.

Параметри фотосинтетичного потенціалу посівів гороху озимого також значною мірою залежали від застосовуваних агротехнічних заходів (табл. 2).

Таблиця 2

Фотосинтетичний потенціал посівів гороху озимого 'НС Мороз' залежно від елементів технології вирощування, млн м²/га × діб (середнє за 2019–2021 рр.)

Інокуляція насіння	Азотне удобрення	Міжфазний період				
		повні сходи – стеблуння	відновлення вегетації – бутонізація	бутонізація – цвітіння	цвітіння – формування бобів	формування бобів – досягання насіння
Без інокуляції	N ₀	0,05	0,10	0,23	0,27	0,54
	N ₁₅ + N ₁₅	0,05	0,12	0,26	0,29	0,58
	N ₁₅ + N ₃₀	0,05	0,13	0,33	0,38	0,74
	N ₁₅ + N ₄₅	0,05	0,14	0,36	0,41	0,75
	N ₃₀ + N ₀	0,05	0,11	0,26	0,30	0,61
	N ₃₀ + N ₁₅	0,05	0,13	0,29	0,32	0,66
	N ₃₀ + N ₃₀	0,05	0,15	0,36	0,38	0,74
	N ₄₅ + N ₀	0,05	0,12	0,28	0,34	0,67
	N ₄₅ + N ₁₅	0,05	0,13	0,32	0,36	0,69
	N ₆₀ + N ₀	0,06	0,13	0,28	0,34	0,67
Оптімайз Пульс, 3,3 кг/т	N ₀	0,05	0,12	0,30	0,34	0,72
	N ₁₅ + N ₁₅	0,05	0,14	0,34	0,39	0,76
	N ₁₅ + N ₃₀	0,05	0,16	0,41	0,47	0,91
	N ₁₅ + N ₄₅	0,05	0,17	0,42	0,48	0,93
	N ₃₀ + N ₀	0,05	0,14	0,34	0,38	0,81
	N ₃₀ + N ₁₅	0,05	0,16	0,38	0,44	0,85
	N ₃₀ + N ₃₀	0,05	0,17	0,39	0,48	0,92
	N ₄₅ + N ₀	0,05	0,14	0,36	0,39	0,84
	N ₄₅ + N ₁₅	0,05	0,16	0,35	0,40	0,87
	N ₆₀ + N ₀	0,06	0,14	0,34	0,36	0,81

РОСЛИННИЦТВО

У міжфазний період повні сходи – стеблуння рослини гороху озимого мали досить низькі та практично однакові показники фотосинтетичного потенціалу – 0,05 млн м²/га × діб, і лише у варіантах внесення в основне удобрення N₆₀ цей показник був дещо вищим – 0,06 млн м²/га × діб.

У проміжок часу від весняного відновлення вегетації до бутонізації середній по досліді показник фотосинтетичного потенціалу становив 0,14 млн м²/га × діб, а різниця між варіантами з інокуляцією насіння та без неї була в межах 0,02 млн м²/га × діб.

Серед варіантів застосування азотного добрива найліпшими виявились схеми внесення N₁₅ в основне удобрення + N₄₅ у ранньовесняне підживлення, а також N₃₀ + N₃₀.

У наступні міжфазні періоди – бутонізація – цвітіння, цвітіння – формування бобів та формування бобів – досягання – фотосинтетичний потенціал у середньому по досліді становив 0,33; 0,38 та 0,75 млн м²/га × діб відповідно. Застосування інокуляції насіння порівняно в варіантами без неї сприяло зростанню цього показника на 0,07; 0,07 та 0,18 млн м²/га × діб. Щодо варіантів мінерального удобрення, то найвищі показники фотосинтетичного потенціалу в усі три періоди отримано за схем N₁₅ + N₃₀₋₄₅ та N₃₀ + N₃₀.

Основні закономірності формування чистої продуктивності фотосинтезу посівів гороху озимого залежно від впливу елементів технології вирощування наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

**Чиста продуктивність фотосинтезу посівів гороху озимого ‘НС Мороз’
залежно від елементів технології вирощування, г/м² за добу (середнє за 2019–2021 рр.)**

Інокуляція насіння	Азотне удобрення	Міжфазний період				
		повні сходи – стеблуння	відновлення вегетації – бутонізація	бутонізація – цвітіння	цвітіння – формування бобів	формування бобів – досягання насіння
Без інокуляції	N ₀	0,6	8,4	6,7	1,8	3,4
	N ₁₅ + N ₁₅	0,7	8,8	6,6	1,2	3,6
	N ₁₅ + N ₃₀	0,7	7,5	4,8	1,4	2,8
	N ₁₅ + N ₄₅	0,7	8,5	5,6	1,1	2,9
	N ₃₀ + N ₀	0,7	9,0	7,0	0,9	3,0
	N ₃₀ + N ₁₅	0,7	7,8	6,3	1,0	2,9
	N ₃₀ + N ₃₀	0,7	6,5	4,7	1,3	2,7
	N ₄₅ + N ₀	0,8	7,5	6,3	1,0	3,0
	N ₄₅ + N ₁₅	0,7	7,9	5,7	0,8	3,1
Оптімайз Пульс, 3,3 кг/т	N ₀	0,7	9,2	6,4	0,7	2,8
	N ₁₅ + N ₁₅	0,7	8,2	5,5	1,2	3,0
	N ₁₅ + N ₃₀	0,8	7,7	4,9	1,0	2,6
	N ₁₅ + N ₄₅	0,7	8,1	5,1	1,1	2,7
	N ₃₀ + N ₀	0,6	8,1	6,1	1,4	2,2
	N ₃₀ + N ₁₅	0,7	7,9	5,1	0,4	2,3
	N ₃₀ + N ₃₀	0,7	6,9	5,0	0,6	2,4
	N ₄₅ + N ₀	0,7	7,2	5,1	1,3	2,8
	N ₄₅ + N ₁₅	0,7	7,4	5,6	1,3	2,4
N ₆₀ + N ₀	0,8	8,5	5,9	1,0	2,6	

Як відомо, не вся площа листової поверхні, сформована посівами сільськогосподарської культури, може бути ефективно задіяна в синтезуванні сухої речовини. Здебільшого це відбувається через ярусність листків та проблеми з ефективним доступом сонячної енергії до них. Звичайно, досить складно оцінити фотоумови окремих листків, однак за зниженням показників чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) усе ж таки можна робити деякі припущення.

У міжфазний період від повних сходів до стеблуння в середньому по досліді ЧПФ становила 0,7 г/м² за добу, а найвищі її показники – 0,8 г/м² за добу відзначено у варіантах внесення в основне удобрення N₆₀.

На період від відновлення вегетації до бутонізації рослин гороху найліпші значення ЧПФ були у варіантах без удобрення (контролі, N₀) та за осіннього внесення добрив у нормі до N₃₀. При цьому середнє в досліді значення ЧПФ було на рівні 7,9 г/м² за добу, а інокуляція насіння на її формування істотно не впливала.

У наступні міжфазні періоди найвищі показники чистої продуктивності фотосинтезу спостерігалися також саме за мінімального застосування мінеральних добрив або на контрольних варіантах досліді.

Інокуляція насіння загалом не мала суттєвого впливу на показники ЧПФ, оскільки багатовекторність процесів взаємодії, спрямованих на стимулювання формування як листової поверхні, так і накопичення сухої речовини, не дали змогу виокремити закономірності впливу на неї цього агрозаходу. Натомість внесення азотних добрив сприяло збільшенню ЧПФ, хоча й за певних умов. Адже підвищення доз удобрення до більш ніж N₃₀ здебільшого спричиняло зменшення накопичення сухої речовини одиницею поверхні листя, саме через його більшу загальну площу. Звісно, у досліді не вивчали високі дози добрив, здатні кардинально змінити ріст і розвиток рослин у плані формування надмірної вегетативної маси, однак навіть за низьких доз азотного удобрення потрібно оптимізувати роботу листової поверхні рослин.

Окрім особливостей перебігу фотосинтетичних процесів рослин, значний інтерес становлять і закономірності формування хлорофілів у фотосинтезувальних органах гороху озимого залежно від застосовуваних елементів технології його вирощування. Адже вміст хлорофілів є досить важливим показником, що дає змогу додатково оцінити стан рослин культури впродовж вегетації, особливо в період їх найактивнішого росту й розвитку (табл. 4).

Таблиця 4

Уміст хлорофілів у фотосинтезувальних органах гороху озимого 'НС Мороз' залежно від елементів технології вирощування, мг/г сирової маси (середнє за 2019–2021 рр.)

Інокуляція насіння	Азотне удобрення	Фаза розвитку								
		бутонізація			цвітіння			формування бобів		
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>
Без інокуляції	N ₀	5,00	11,00	16,00	4,90	17,48	22,37	4,28	14,52	18,81
	N ₁₅ + N ₁₅	5,20	11,33	16,53	5,09	18,13	23,22	4,52	15,06	19,58
	N ₁₅ + N ₃₀	5,62	11,80	17,42	5,40	18,86	24,25	4,77	15,55	20,32
	N ₁₅ + N ₄₅	5,83	12,36	18,19	5,59	19,76	25,35	4,94	16,28	21,23
	N ₃₀ + N ₀	5,23	11,44	16,67	5,08	18,34	23,42	4,54	15,34	19,88
	N ₃₀ + N ₁₅	5,36	11,45	16,81	5,16	18,23	23,39	4,49	15,28	19,78
	N ₃₀ + N ₃₀	5,43	11,51	16,94	5,31	18,38	23,69	4,65	15,40	20,05
	N ₄₅ + N ₀	5,36	11,50	16,86	5,23	18,30	23,53	4,63	15,13	19,75
	N ₄₅ + N ₁₅	5,54	12,00	17,54	5,27	19,25	24,52	4,74	15,92	20,66
N ₆₀ + N ₀	5,42	12,20	17,62	5,23	19,64	24,87	4,59	16,18	20,77	
Оптімайз Пульс	N ₀	6,23	12,11	18,34	6,06	19,19	25,25	5,31	15,95	21,26
	N ₁₅ + N ₁₅	7,06	12,99	20,05	6,88	20,81	27,68	6,02	16,91	22,93
	N ₁₅ + N ₃₀	7,05	13,62	20,67	6,88	21,35	28,24	6,05	17,41	23,46
	N ₁₅ + N ₄₅	7,25	13,76	21,01	7,20	21,69	28,89	6,37	18,01	24,38
	N ₃₀ + N ₀	5,64	12,38	18,02	5,48	19,75	25,23	4,82	16,47	21,29
	N ₃₀ + N ₁₅	6,28	13,35	19,62	6,15	21,35	27,50	5,39	17,55	22,94
	N ₃₀ + N ₃₀	6,52	13,56	20,08	6,30	21,66	27,96	5,58	18,33	23,91
	N ₄₅ + N ₀	6,69	13,67	20,36	6,62	21,82	28,44	5,77	18,50	24,27
	N ₄₅ + N ₁₅	5,34	12,83	18,17	5,16	20,33	25,48	4,47	16,80	21,28
N ₆₀ + N ₀	5,88	12,57	18,45	5,73	19,94	25,67	5,07	16,81	21,88	
НІР _{0,05}		0,14	1,0	1,3	0,12	1,2	1,5	0,12	1,4	1,9

Відомо, що хлорофіл *a* є світловим фотопігментом, тоді як хлорофіл *b* навпаки формується в другій половині вегетаційного періоду рослин, коли створюються умови максимального затінення листкового апарату. Середній за варіантами дослідів вміст хлорофілу *a* у фазі бутонізації рослин гороху озимого становив 5,90 мг/г, і надалі поступово знижувався до 5,74 мг/г у фазі цвітіння та 5,05 мг/г сирової маси – у фазі формування бобів. Натомість вміст хлорофілу *b* в рослинах найнижчим був у фазі бутонізації – 12,37 мг/г, досягав максимуму в період цвітіння – 19,71 мг/г, дещо знижуючись у фазі формування бобів – 16,37 мг/г сирової маси.

Що стосується середнього по досліді сумарного вмісту хлорофілів (*a+b*), то у фазі бутонізації він становив 18,27 мг/г, досягаючи максимальних значень у фазі цвітіння – 25,45 мг/г. Надалі, внаслідок природних процесів старіння рослин, вміст хлорофілів поступово знижувався і на час формування бобів був на рівні 21,42 мг/г сирової маси.

Інокуляція насіння позитивно впливала на загальний фізіологічний стан рослин, зокрема й на формування в них хлорофілів. У варіантах, де застосовували інокулянт Оптімайз Пульс, вміст хлорофілу *a* у фазі бутонізації був вищим у середньому на 1,0 мг/г, хлорофілу *b* – на 1,4, а їх сума – відповідно на 2,4 мг/г. У наступні облікові періоди зберігалась аналогічна ситуація: у фазі цвітіння ця різниця становила 1,0; 2,2 та 3,2 мг/га, а у фазі формування бобів – 0,9; 1,8 та 2,7 мг/г відповідно.

Що стосується варіантів мінерального удобрення, то в період активного розвитку рослин загалом найліпшими були схеми використання N_{15} в основне внесення у поєднанні з ранньовесняним підживленням N_{30-45} . Застосування схем удобрення $N_{45} + N_{15}$ та $N_{60} + N_0$ у варіантах без інокуляції насіння сприяло формуванню більшої кількості передусім тіньового хлорофілу *b*, тоді як хлорофілу *a* – у разі внесення $N_{30} + N_{30}$ та $N_{45} + N_0$. Останнє, найімовірніше, пов'язано з деяким переростанням рослин за ефективного засвоєння ними азоту, зокрема й симбіотично фіксованого. Натомість за внесення більших доз добрив інтенсивність симбіотичної азотфіксації дещо знижувалась, і в цих варіантах навіть площа листкової поверхні була меншою, ніж за інокуляції насіння та внесення N_{15} як в основне удобрення, так і в ранньовесняне підживлення, що й позначилось на вмісті хлорофілів у листках.

Висновки

Інокуляція насіння та азотні добрива позитивно впливають на фотосинтетичну діяльність посівів гороху озимого, однак ефективність їхньої дії значною мірою залежить як від доз і строків внесення добрив, так і фази розвитку культури.

Установлено, що в осінній період вегетації гороху озимого (повні сходи – стеблуння) вплив досліджуваних агротехнічних заходів на формування площі листкової поверхні, фотосинтетичного потенціалу та чистої продуктивності фотосинтезу був неістотним. Винятком були варіанти застосування в основне удобрення N_{45-60} , де у фазі стеблуння все ж отримано істотні прирости площі листя порівняно з контролем. У період весняно-літньої вегетації у досліді суттєво зростає вплив чинника інокуляції насіння, а також ранньовесняного підживлення азотом, натомість зменшувався основного удобрення.

Максимальні параметри показників площі листкової поверхні, фотосинтетичного потенціалу та вмісту хлорофілів у період весняно-літньої вегетації забезпечуються у варіантах застосування схем удобрення $N_{15} + N_{30-45}$ та $N_{30} + N_{30}$ на фоні інокуляції насіння. Натомість найвищі параметри чистої продуктивності фотосинтезу спостерігалися за мінімального застосування добрив ($N_{30} + N_0$, $N_{15} + N_{15}$) або ж у контрольних варіантах (N_0). При цьому інокуляція насіння не практично не впливала на формування цього показника.

Виявлені у процесі дослідження закономірності формування показників площі листкової поверхні, фотосинтетичного потенціалу, чистої продуктивності фотосинтезу та вмісту фотосинтетичних пігментів можуть бути використані для вдосконалення технології вирощування культури з метою якнайповнішої реалізації її потенційної продуктивності в умовах Правобережного Лісостепу України.

Використана література

1. Дворецька С. П., Рябокiнь Т. М., Єфіменко Г. М., Тилиця Т. В. Особливості формування елементів продуктивності рослин гороху залежно від рівня інтенсифікації технології вирощування культури. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН»*. 2014. Вип. 3. С. 56–66.
2. Присяжнюк О. І., Король Л. В. Оцінка адаптивних особливостей нових сортів гороху. *Новітні агротехнології*. 2014. № 1. С. 12–22. doi: 10.21498/na.1(2).2014.119078
3. Присяжнюк О. І., Калюжна Е. А., Король Л. В. Оцінка сучасних сортів гороху за основними господарсько-цінними ознаками. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН»*. 2015. Вип. 3. С. 106–116.
4. Петриченко В. Ф., Антипін Р. А. Фотосинтетична продуктивність гороху залежно від впливу технологічних прийомів вирощування в умовах Лісостепу України. *Корми і кормовиробництво*. 2006. Вип. 57. С. 3–13.
5. Щигорцова О. Л. Вирощування бобових культур – чини, сочевиці, гороху, нуту в Криму без застосування азотних добрив. *Проблеми та перспективи ведення землеробства в посушливій зоні Степу України: збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції (16–18 червня 2009 р.)*. Херсон: ІЗПР УААН, 2009. С. 161–163.
6. Щигорцова О. Л. Розробка елементів технології вирощування нуту, гороху, чини і сочевиці в умовах зрошення в Центральному Степу України: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: спец. 06.01.09 – рослинництво / ПФ «Кримський агротехнологічний університет» НАУ. Сімферополь, 2006. 16 с.
7. Di Paolo E., Garofalo P., Rinaldi M. Irrigation and nitrogen fertilization treatments on productive and qualitative traits of broad bean (*Vicia faba* var. *minor* L.) in a Mediterranean environment. *Legume Research – An International Journal*. 2015. Vol. 38, Iss. 2. P. 209–218. doi: 10.5958/0976-0571.2015.00069.7
8. Mishra N. Growth and yield response of pea (*Pisum sativum* L.) to integrated nutrient management – a review. *Journal of Plant and Pest Science*. 2014. Vol. 1, Iss. 2. P. 87–95.
9. Каленська С. М., Присяжнюк О. І., Король Л. В., Половинчук О. Ю. Порівняльна характеристика шкал росту та розвитку гороху посівного (*Pisum sativum*). *Plant Varieties Studying and Protection*. 2019. Vol. 16, № 2. С. 99–104. doi: 10.21498/2518-1017.15.1.2019.162492
10. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6. Київ: ПоліграфКонсалтинг, 2007. 56 с.

References

1. Dvoretzka, S. P., Riabokin, T. M., Yefimenko, H. M., & Tylytsia, T. V. (2014). Peculiarities of the formation of elements of the productivity of pea plants depending on the level of intensification of the cultivation technology. *Proceedings of the NSC "Institute of Agriculture of NAAS"*, 3, 56–66. [In Ukrainian]
2. Prysiazhniuk, O. I., & Korol, L. V. (2014). Estimation of adaptive features of new pea varieties. *Advanced Agritechnologies, 1*. doi: 10.21498/na.1(2).2014.119078 [In Ukrainian]
3. Prysiazhniuk, O. I., Kaliuzhna, E. A., & Korol, L. V. (2015). Evaluation of modern pea varieties according to the main economic and valuable characteristics. *Proceedings of the NSC "Institute of Agriculture of NAAS"*, 3, 106–116. [In Ukrainian]
4. Petrychenko, V. F., & Antypin, R. A. (2006). Photosynthetic productivity of peas depending on the influence of technological methods of cultivation in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine. *Feeds and Feed Production, 57*, 3–13. [In Ukrainian]
5. Shchyhortsova, O. L. (2009). Cultivation of leguminous crops - turnips, lentils, peas, chickpeas in the Crimea without the use of nitrogen fertilizers. In *Problems and prospects of farming in the arid zone of the Steppe of Ukraine: collection of materials of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference* (pp. 161–163). Kherson: IZPR UAAN. [In Ukrainian]

6. Shchyhortsova, O. L. (2006). *Development of elements of chickpea, pea, chickpea and lentil cultivation technology under irrigation conditions in the Central Steppe of Ukraine* (PhD Diss. abstract). Southern Branch of “Crimean Agro-Technological University” National Agrarian University, Simferopol, Ukraine. [In Ukrainian]

7. Di Paolo, E., Garofalo, P., & Rinaldi, M. (2015). Irrigation and nitrogen fertilization treatments on productive and qualitative traits of broad bean (*Vicia faba* var. *minor* L.) in a Mediterranean environment. *Legume Research – An International Journal*, 38(2), 209–218. doi: 10.5958/0976-0571.2015.00069.7

8. Mishra, N. (2014). Growth and yield response of pea (*Pisum sativum* L.) to integrated nutrient management – a review. *Journal of Plant and Pest Science*, 1(2), 87–95.

9. Kalenska, S. M., Prysiazniuk, O. I., Korol, L. V., & Polovynchuk, O. Yu. (2019). Comparative characteristics of growth and development scales of the pea (*Pisum sativum* L.). *Plant Varieties Studying and Protection*, 15(2), 155–162. doi: 10.21498/2518-1017.15.2.2019.173563

10. Ermantraut, E. R., Prysiazniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic study data in the Statistica 6.0*. Kyiv: PolihrafKonsaltnh. [In Ukrainian]

UDC 633.9:631.54

Novytska, N. V., & Ponomarenko, O. V.* (2022). Photosynthetic parameters of winter pea sowings under the effect of nitrogen fertilization and seed inoculation in the Right Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 30, 43–53. [In Ukrainian]

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine, *e-mail: ponomarenko2332@gmail.com*

Purpose. To evaluate the photosynthetic parameters of winter pea sowings under the effect of seed inoculation and nitrogen fertilization in the Right Bank Forest-Steppe of Ukraine. **Methods.** The research was carried out in the years 2019–2021 in the fields of the Agronomic Research Station (a division of NULES of Ukraine, Kyiv region). Winter pea ‘NS Moroz’ was sown in the second half of September at the rate of 1.2 million seeds/ha. The width of the rows was 15 cm, and the seed sowing depth was 4–4.5 cm. The design of the experiment provided for the combined use of such technological factors as seed inoculation (without inoculation; Optimize Pulse, 3.3 l/t) and nitrogen fertilizer [main application + early spring top dressing (N_0 ; $N_{15} + N_{15}$; $N_{15} + N_{30}$; $N_{15} + N_{45}$; $N_{30} + N_0$; $N_{30} + N_{15}$; $N_{30} + N_{30}$; $N_{45} + N_0$; $N_{45} + N_{15}$; $N_{60} + N_0$)]. $P_{45}K_{45}$ was also applied in the primary fertilization as a background. **Results.** Seed inoculation and nitrogen fertilizers positively affect the photosynthetic activity of winter pea; however, the efficiency of their action largely depends on the application doses and timing, as well as the stage of crop development. It was established that in the autumn period of winter pea vegetation (complete sprouting–stalking), the influence of the studied agrotechnical measures on the leaf area index (LAI), photosynthetic potential (PP), and net photosynthetic productivity (NPP) was mostly insignificant. In the period of spring-summer vegetation, the effect of the factor of seed inoculation, as well as early spring fertilization with nitrogen, increased significantly, while the main fertilization decreased. The highest LAI (on average according to the experiment 31.4 thousand m^2/ha) was formed in the flowering stage, PP during the stages of bean formation – ripening of seeds (0.75 million m^2/ha per day). The use of seed inoculation compared to options without it contributed to the increase of these indicators by 5.33 and 0.17 million m^2/ha per day, respectively. In the experiment, the maximum values of both LAI (35.77–36.45 thousand m^2/ha) and PP (0.91–0.93 million m^2/ha per day) were obtained when applying $N_{15} + N_{30-45}$ and $N_{30} + N_{30}$ on the background of seed inoculation, while the minimal in control treatments (N_0). The regularities of the formation of the NPP were radically different. Its highest indicators during the period of the beginning of vegetation – budding (as well as in the following interphase stages) were observed primarily with the minimal application of fertilizers ($N_{30} + N_0$, $N_{15} + N_{15}$) or in the control treatments (N_0), 8.1–

9.2 g/m² per day. Seed inoculation had no significant effect on the formation of NPP. The maximum content of chlorophyll *a* in plants (5.90 mg/g) was formed in the budding stage, gradually decreasing to 5.74 and 5.05 mg/g in the flowering and bean formation stages, respectively. Instead, the content of chlorophyll *b* was the lowest in the budding stage (12.37 mg/g), reaching its maximum in the flowering stage (19.71 mg/g) and slightly decreasing in the stage of bean formation – 16.37 mg/g of raw mass. Seed inoculation helped to increase the content of chlorophyll *a* by an average of 0.9–1.0 mg/g over growth stages and chlorophyll *b* by 1.4–2.2 mg/g. The best fertilization treatment was N₁₅ + N₃₀₋₄₅. **Conclusions.** Seed inoculation and nitrogen fertilization are significant and effective factors to intensify the photosynthetic activity of winter pea sowings. The patterns of the parameters of leaf s area, photosynthetic potential, net productivity of photosynthesis, and the content of photosynthetic pigments revealed in the study may be used to improve the cultivation technology to fully realize the crop potential productivity under the conditions of the Right Bank Forest-Steppe of Ukraine.

Keywords: leaf area; photosynthetic potential; net productivity of photosynthesis; chlorophyll content.

Надійшла / Received 02.11.2022

Погоджено до друку / Accepted 17.11.2022

УДК 633.9:631.54

DOI: <https://doi.org/10.47414/np.30.2022.268944>

Особливості формування продуктивності та якості біомаси міскантусу гігантського під впливом елементів агротехніки

О. І. Присяжнюк*, О. М. Гончарук

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, *e-mail: ollpris@gmail.com

Мета. Установити особливості формування продуктивності та якості сухої біомаси міскантусу гігантського під впливом елементів агротехніки. **Методи.** Дослідження проводили в умовах Білоцерківської дослідно-селекційної станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН упродовж 2019–2021 рр. згідно із загальноприйнятими методиками. Міскантус гігантський ‘Осінній зорецвіт’ вирощували за схемою трифакторного польового досліду із застосуванням інокуляції (Азофосфорин, 1,0 л/га), адсорбенту МахіМарін гранульований (30 кг/га) та препаратів Гумат калію (Гуміфілд) (50 г/га) та Антистресант АміноСтар (1,0 л/га) для позакоренових підживлень у період вегетації. **Результати.** Продуктивність міскантусу другого року вегетації (2020 р.) була досить низькою, оскільки розвиток рослин був спрямований передусім на формування потужної кореневої системи, зокрема ризом. У середньому за варіантами досліду листково-стеблова маса однієї рослини становила від 177,0 до 240,0 г, а вихід твердого біопалива – від 5,84 до 7,92 т/га. Максимальні параметри цих показників формувались у варіанті комбінованого застосування Азофосфору та адсорбенту МахіМарін гранульований – 236–240 г/роsl. та 7,79–7,92 т/га відповідно. Водночас позакореневе підживлення в перший рік досліджень було неефективним: відмінності в показниках продуктивності рослин мали радше тенденційний характер. На третій рік вирощування міскантусу (2021) в усіх варіантах досліду спостерігалось істотне – приблизно втричі – зростання його продуктивних показників. Зокрема, маса однієї рослини становила 531,8–772,2 г, вихід твердого біопалива – 17,5–23,8 т/га, вихід енергії – 287,8–391,1 ГДж/га. Як і в попередній рік досліджень, максимальні