

ВПЛИВ УДОБРЕННЯ ТА ІНОКУЛЯЦІЇ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФОТОСИНТЕТИЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПОСІВІВ КВАСОЛІ

ДОКТОР Н.М. – кандидат сільськогосподарських наук
orcid.org/0000-0002-8887-898X

Відокремлений структурний підрозділ «Мукачівський фаховий коледж
Національного університету біоресурсів і природокористування України»

КОРМОШ С.М. – доктор сільськогосподарських наук
orcid.org/0000-0002-1694-8280

Закарпатська державна сільськогосподарська дослідна станція
Національної академії аграрних наук України

НОВИЦЬКА Н.В. – доктор сільськогосподарських наук, доцент
orcid.org/0000-0002-7645-4151

Український інститут експертизи сортів рослин

МАРТИНОВ О.М. – науковий співробітник
orcid.org/0000-0001-7680-7490

Український інститут експертизи сортів рослин

Постановка проблеми. Питання раціонального використання мінеральних добрив за вирощування певних сільськогосподарських культур на сьогодні є актуальним для збереження сталості навколишнього середовища. Зокрема, останнім часом в практиці сільськогосподарства широко розповсюджене використання високих доз азотних добрив. Думки вчених з приводу внесення азотних добрив суперечливі, оскільки відомо, що високий вміст азотних добрив у ґрунті негативно впливає на рослини. Зокрема, змінюється гормональний статус рослини, утворюється багато паренхімних та мало склеренхімних клітин, знижується проникність мембран, швидкість відтоку асимілятів із листка. Це позначається на тривалості функціонування листового апарату посівів польових культур, кількісному та якісному складі продуктів фотосинтезу [1-4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. добре відомо, що саме умови азотного живлення всебічно впливають на рослинний організм. Наявність чи відсутність азоту, використання нітрату чи амонію визначають характер росту рослини, продуктивність фотосинтезу, внутрішньоклітинний рН, катіонно/аніонний склад тканин, уміст білка, органічних кислот і вуглеводів, активність ферментів, які включені в процеси асиміляції азоту і синтез органічних кислот [5, 6].

Важливою умовою формування високих врожаїв польових культур є збільшення продуктивності їх фотосинтезу, тобто кількості синтезованої органічної речовини на одиницю площі листової поверхні за добу. Одним з основних завдань у досягненні цієї мети є формування посівів з найбільш розвиненим листовим апаратом, який би тривалий час (максимально) знаходився в активному стані як на початку, так і наприкінці вегетаційного періоду. Він повинен відзначатися високою інтенсивністю та продуктивністю в усі фази росту і розвитку рослин [7, 8].

Фотосинтезуюча діяльність посівів сільськогосподарських культур, зокрема і квасолі, є головною складовою формування їх продуктивності. Оптимальний ріст листової поверхні та накопичення сухої речовини

рослинами квасолі значною мірою залежить від умов вирощування, що забезпечують більш тривалу роботу листового апарату. Узагальнюючим показником ефективності роботи фотосинтетичного апарату квасолі є вихід сухої речовини. Майже 95 % сухої речовини рослини формують за рахунок фотосинтезу [9, 10]. Спрямованість процесу накопичення сухої речовини та перерозподіл між продукуючою та запасуючою системами є однією з оцінок рівня продуктивності. Тому, більш точну інформацію про хід і особливості продукційного процесу можна отримати за допомогою визначення акумуляції сухої речовини рослинами впродовж вегетаційного періоду [11, 12].

Вважається, що основою, завдяки якій внаслідок фотосинтетичної діяльності створюється врожай квасолі, є формування оптимальної площі листової поверхні. Листкова поверхня вловлює сонячну енергію і синтезує органічні сполуки, які йдуть на формування нових органів рослин і врожаю. Згідно з результатами досліджень проведених в Лісостепу України відомо, що оптимальна площа листової поверхні для квасолі повинна становити 40–50 тис. м²/га. Якщо площа листової поверхні менша, то оптико-біологічна структура посіву не оптимізована і тому ФАР використовується не раціонально. Проте, й більша площа листової поверхні є небажаною, оскільки в результаті взаємозатінення значна частина листків у нижньому ярусі обпадає, а решта працює неефективно [13-15].

Відносно оптимальної площі листя, яка забезпечує максимально можливий урожай, існують різні точки зору. А. О. Ничипорович вважає, що для отримання максимальних врожаїв площа листового апарату у більшості культур має становити 40–50 тис. м²/га. [16, 17]. На думку інших дослідників [18], оптимальний листовий індекс у рослин варіює: від 2 до 7 м²/м². Уміст хлорофілів у листках рослин є однією з найвиразніших характеристик адаптації фотосинтетичного апарату рослин до умов довкілля [19, 20]. Під час вегетації, у критичну фазу розвитку рослин, а саме у фазу цвітіння, спостерігали тенденцію до збільшення вмісту

фотосинтетичних пігментів у рослин за умов додавання різних доз азотних добрив, що підтверджує значення азоту для синтезу хлорофілів та інших органічних молекул з порфіриновими кільцями [21, 22]. Однак, в науковій літературі відсутні дані щодо оптимальної площі листової поверхні та вмісту фотосинтетичних пігментів для отримання максимального врожаю насіння квасолі в умовах Закарпаття України.

Мета. Встановити особливості формування площі листової поверхні посівів та накопичення пігментів у листках рослин квасолі сортів Мавка, Перлина, Надія залежно від сортових особливостей, інокуляції насіння та норм внесення мінеральних добрив на дерново-підзолистих ґрунтах Закарпаття України.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження виконано у відокремленому підрозділі Національного університету біоресурсів і природокористування України «Мукачівський фаховий коледж» у Закарпатській області. Польовий дослід закладено в стаціонарній польовій сівозміні коледжу (Закарпатська обл., Мукачівський р-н, с. Ключарки, земельна ділянка № 3) на дерново-підзолистих важкосуглинкових на сучасному алювії з вмістом гумусу в орному (0–20 см) шарі ґрунту – 1,9 %, рН сольовим 6,1, низькою забезпеченістю азотом (5,9 мг/кг), середньою – фосфором (54,3 мг/кг) та калієм (132 мг/кг). Згідно з агрохімічним обстеженням дослідних ділянок кислотність ґрунту знаходиться в задовільному діапазоні для вирощування квасолі.

Дослід трифакторний, чинник А – районовані середньостиглі сорти квасолі звичайної, чинник В – норми внесення мінеральних добрив, розраховані балансовим методом на запланований врожай, чинник С – інокуляція насіння. Загальна площа елементарної ділянки – 84 м², облікової – 52,8 м². Повторність дослідів чотириразова [23]. Попередник в досліді пшениця озима. Сіяли овочевою сівалкою СОН-4,2, ширина міжрядь 45 см, глибина заробки насіння 6–7 см. Норма висіву 500 тис. штук схожого насіння на гектар. Для захисту посівів квасолі від бур'янів проводили досходові боронування та застосовували суміш гербіцидів арамо (1,0 л/га) і базадран (2,0 л/га) у фазу 2–3 справжніх листків. Мінеральні добрива вносили у вигляді аміачної селітри (34,4 % N), фосфоритного борошна (30 % P), калімагнезії (26–28 % K, 11–18 % Mg); додатково проводили вапнування ґрунтів з розрахунку 3 т/га. Інокуляцію насіння квасолі проводили в день сівби Ризобіофітом, який містить в складі симбіотичні азотфіксуючі бактерії роду *Rhizobium phaseoli* від Інституту агроєкології і природокористування НААН.

Площу листової поверхні визначали за методикою А. О. Ничипоровича (1966). Динаміку фотосинтетичного потенціалу визначали за формулою А. О. Ничипоровича (1982) шляхом перемноження середньої площі листків на 1 га на кількість діб в періоді між першим і останнім обліками. Чисту продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) за певні проміжки часу визначали за формулою:

$$ЧПФ = \frac{(B2 - B1) \cdot T}{L1 - L2} \cdot T$$

де: В 2 – В 1 – приріст сухої маси рослин з одиниці площі за обліковий проміжок часу; $\frac{L1 - L2}{2}$ – середня площа листків за цей же проміжок часу; Т – час між двома вимірами в днях.

Уміст хлорофілу «а» та «в» у листках рослин квасолі визначали методом біохімічного аналізу з використанням спектрофотометра з подальшим розрахунком концентрації пігментів за рівняннями Ветштейна і Хольма [24]. Кількісний вміст пігментів визначали у фазу цвітіння та наливу бобів спектрофотометрично, застосовуючи загальноприйнятий метод [25].

Результати досліджень. Передусім слід відмітити сортову специфіку у прояві ознаки листової поверхні. Нами було виявлено, що в середньому за роки проведення досліджень більшу площу листової поверхні формували середньоранній сорт квасолі звичайної Перлина, що може бути зумовлено більшим габітусом рослин в процесі онтогенезу. Площа листової поверхні у сорту квасолі Перлина у всіх фазах росту і розвитку була на 0,2–4,1 тис. м²/га більшою, порівняно з площею листової поверхні сорту Мавка та на 0,9–5,4 тис. м²/га більшою, ніж у сорту Надія. Площа листя у сорту Перлина у варіанті з інокуляцією насіння та за внесення добрив у нормі N₆₀P₄₀K₂₀ і у фазі цвітіння становила 46,6 тис. м²/га, при 41,8 тис. м²/га – у варіанті без інокуляції та за такого ж удобрення, порівняно з абсолютним контролем – 32,3 тис. м²/га. Дещо нижчу площу листової поверхні відмічено у сорту Мавка, що у таких же варіантах дослідів становила – 45,1 тис. м²/га (інокуляція, N₆₀P₄₀K₂₀, фаза цвітіння) та 40,5 тис. м²/га (без інокуляції, N₆₀P₄₀K₂₀, фаза цвітіння), що на 13,4 та 8,8 тис. м²/га вище, порівняно з абсолютним контролем. У сорту квасолі Надія у варіанті з інокуляцією насіння та за внесення добрив у нормі N₆₀P₄₀K₂₀ і у фазі цвітіння становила 41,8 тис. м²/га, при 38,3 тис. м²/га – у варіанті без інокуляції та за такого ж удобрення, порівняно з абсолютним контролем – 30,1 тис. м²/га (табл. 1).

Упродовж вегетаційного періоду наростання площі листової поверхні проходило неоднаково. В початковій фазі росту і розвитку цей процес йшов досить повільно, однак, починаючи з фази бутонізації швидко наростав, набуваючи максимуму в фазі цвітіння. У фазі наливу бобів спостерігали відмирання листків нижнього ярусу, що призводило до деякого зменшення площі листового апарату рослин. Максимальний показник площі листової поверхні посівів квасолі формували у фазу цвітіння, і у сорту Надія він становив 30,1–41,8 тис. м²/га залежно від варіанта удобрення та інокуляції, у сортів Мавка та Перлина – 31,7–45,1 та 32,3–46,6 тис. м²/га відповідно.

У фазу першого трійчастого листка посівів квасолі формували листову поверхню площею 2,8–4,7 тис. м²/га. Слід відмітити, що дія добрив на цей показник у початковий період онтогенезу культури була незначною. Внесення мінеральних добрив у нормі N₃₀P₂₀K₁₀ сприяло збільшенню цього показника на 3,1–14,3 %, N₆₀P₄₀K₂₀ – на 15,8–26,5 %, N₉₀P₆₀K₃₀ – на 21,1–32,4 %, N₁₂₀P₈₀K₄₀ – на 23,7–35,3 % відповідно. Інокуляція насіння сприяла збільшенню площі листової поверхні у фазу першого трійчастого листка на 2–10 % або 0,1–0,4 тис. м²/га

Формування площі листової поверхні рослин квасолі залежно від удобрення та інокуляції насіння, тис. м²/га (середнє за 2016–2018 рр.)

Варіант удобрення	Міжфазний період	Сорт					
		Надія		Мавка		Перлина	
		проведення передпосівної інокуляції*					
		б/і	і	б/і	і	б/і	і
Без добрив (контроль)	перший трійчастий листок	2,8	2,9	3,2	3,4	3,7	3,8
	бутонізація	15,9	17,2	17,1	19,4	18,3	20,5
	цвітіння	30,1	33,1	31,7	35,3	32,3	35,9
	налив бобів	26,7	27,8	28,9	31,1	29,7	32,8
N ₃₀ P ₂₀ K ₁₀	перший трійчастий листок	3,2	3,3	3,3	3,4	4,1	4,2
	бутонізація	18,3	20,6	20,5	22,5	20,7	23,9
	цвітіння	34,1	36,2	36,2	37,6	37,3	40,1
	налив бобів	31,1	33,2	32,3	33,4	34,1	36,2
N ₆₀ P ₄₀ K ₂₀	перший трійчастий листок	3,4	3,6	3,9	4,3	4,3	4,4
	бутонізація	20,8	22,9	21,3	23,8	25,6	27,5
	цвітіння	38,3	41,8	40,5	45,1	41,8	46,6
	налив бобів	34,3	36,8	36,4	38,8	37,2	41,7
N ₉₀ P ₆₀ K ₃₀	перший трійчастий листок	3,6	3,8	4,1	4,5	4,5	4,6
	бутонізація	22,4	22,5	22,7	22,8	26,8	26,7
	цвітіння	38,5	40,6	42,8	43,6	43,9	45,3
	налив бобів	35,5	35,6	38,6	38,7	39,8	41,2
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₄₀	перший трійчастий листок	3,7	3,9	4,2	4,6	4,6	4,7
	бутонізація	22,8	22,7	23,3	23,1	27,1	27,0
	цвітіння	40,6	40,9	43,7	43,8	45,4	45,2
	налив бобів	36,6	36,7	39,7	39,8	40,5	40,4

*Примітка: б/і – насіння без інокуляції; і – іноккульоване насіння.

залежно від сорту та дії мінеральних добрив. Мінімальні значення цього показника отримані за вирощування квасолі у контрольних варіантах без добрив та інокуляції, максимальну листову поверхню у цей період формували посіви у варіантах, які передбачали внесення N₁₂₀P₈₀K₄₀ без інокуляції Ризобіфітом або N₆₀P₄₀K₂₀ з додатковою допосівною інокуляцією.

У фазу бутонізації процес наростання листової поверхні істотно прискорився – у цей період зафіксовано показники площі листя на рівні від 15,9 до 27,5 тис. м²/га. У варіантах без внесення мінеральних добрив посіви квасолі формували листову поверхню площею 15,9–20,5 тис. м²/га залежно від сорту та інокуляції насіння. Внесення мінеральних добрив у нормі N₃₀P₂₀K₁₀ сприяло збільшенню цього показника на 13,1–19,9 %, N₆₀P₄₀K₂₀ – на 22,7–39,9 %, N₉₀P₆₀K₃₀ – на 17,5–46,4 %, N₁₂₀P₈₀K₄₀ – на 19,1–48,1 % відповідно. Інокуляція насіння сприяла збільшенню площі листової поверхні у фазу бутонізації на 0,5–15,5 % або 0,1–3,2 тис. м²/га залежно від сорту та дії мінеральних добрив.

Аналізуючи отримані дані, можна зробити висновок, що мінеральні добрива активно впливали на формування листової поверхні рослин квасолі у фазі цвітіння. Збільшення цього показника відмічено з підвищенням норми мінеральних добрив до N₁₂₀P₈₀K₄₀, причому, у варіанті із проведенням інокуляції за удобрення до N₆₀P₄₀K₂₀ (включно) площа листової поверхні була вищою, ніж у варіанті без інокуляції. За подальшого збільшення

норми удобрення до N₁₂₀P₈₀K₄₀ площа листової поверхні була майже на одному рівні як у варіантах без інокуляції, так і з її проведенням. Слід зауважити, що величина площі листової поверхні майже однакова як у варіанті за внесення N₆₀P₄₀K₂₀ з інокуляцією Ризобіфітом, так і за удобрення N₁₂₀P₈₀K₄₀ без інокуляції, в деяких варіантах даний показник дещо вищий то на одному, то на іншому варіанті. Це зумовлено тим, що поєднання діяльності бульбочкових бактерій, які теж засвоюють певну кількість азоту з повітря на варіанті з удобренням у нормі N₆₀P₄₀K₂₀, сприяло формуванню даного показника майже в таких межах, що й у варіанті за внесення N₁₂₀P₈₀K₄₀, де через пригнічення бактерій високими нормами добрив, живлення відбувається лише за рахунок мінеральних добрив. Максимальні показники площі листової поверхні рослин забезпечило внесення N₆₀P₄₀K₂₀ у поєднанні з передпосівною інокуляцією насіння Ризобіфітом – 41,8 тис. м²/га у сорту Надія, 45,1 тис. м²/га у сорту Мавка та 46,6 тис. м²/га у сорту Перлина.

Інокуляція насіння Ризобіфітом сприяла зростанню площі листя у фазі цвітіння на 0,2–11,4 %, порівняно до варіантів без інокуляції, де цей показник складав 30,1–45,4 тис. м²/га залежно від сорту та варіанта внесення добрив. Його ефективність значною мірою залежала від норми внесення мінеральних добрив і була найвищою на варіантах без внесення добрив (9,9–11,3 %) і за внесення N₃₀P₂₀K₁₀ (3,9–7,5 %) та N₆₀P₄₀K₂₀ (9,1–11,5 %). Слід відмітити, що зі збільшенням

норми мінеральних добрив вплив інокуляції знижувався. За внесення високих норм мінеральних (особливо азотних) добрив $N_{90}P_{60}K_{30}$ та $N_{120}P_{80}K_{40}$ вплив інокуляції на формування площі листового апарату посівів квасолі нівелювався і складав 1,9–5,5 та 0,2–0,7 %.

У фазі наливу бобів площа листя зменшувалась – на варіантах без добрив величина цього показника знаходилась у межах 26,7–32,8 тис. $m^2/га$ залежно від сорту та інокуляції насіння, за внесення $N_{30}P_{20}K_{10}$ – 31,1–36,2, $N_{60}P_{40}K_{20}$ – 34,3–41,7, $N_{90}P_{60}K_{30}$ – 35,5–41,2 та $N_{90}P_{60}K_{30}$ – 36,6–40,5 тис. $m^2/га$. Отже, у цей період зберігались умови для активної фотосинтетичної діяльності рослин квасолі.

У процесі проведених досліджень встановлено, що вміст пігментів у листках рослин квасолі тісно залежить від проведення передпосівної інокуляції, а також від внесення різних норм мінеральних добрив. Збільшення норми внесення азотних добрив до 120 $кг/га$ д. р. сприяє підвищенню вмісту пігментів хлорофілу в листках рослин квасолі, але до певної межі. Нами встановлено, що вміст хлорофілу *a*, у всіх досліджуваних сортів квасолі завжди вищий порівняно з вмістом хлорофілу *в*, приблизно в 3,5 рази, незалежно від зміни досліджуваних чинників.

У середньому за роки досліджень вищий вміст суми пігментів (*a+в*) у листках відмічено у сорту Перлина за внесення $N_{60}P_{40}K_{20}$ $кг/га$ д. р. та проведення передпосівної інокуляції Ризобофітом, який становить 120,7 $мг/100$

г листя, що на 37,5 % перевищує показник на абсолютному контролі, а також на 14,4 $мг/100$ г перевищує суму пігментів за тієї ж норми добрив без інокуляції насіння (табл. 2). У сорту Мавка даний показник був дещо нижчий, але різниця незначна, порівняно з попереднім сортом, незважаючи на менший габітус рослин квасолі сорту та нижчий фотосинтетичний потенціал. Найнижчий вміст пігментів відмічено у сорту Надія, який залежно від норм мінеральних добрив та без інокуляції в фазу цвітіння варіював від 68,8 до 84,3 $мг/100$ г, а на варіантах із проведенням інокуляції насіння – від 75,3 до 94,1 $мг/100$ г листків.

Збільшення норми добрив до $N_{120}P_{80}K_{40}$ $кг/га$ д. р. сприяло поступовому зростанню даного показника на варіантах без застосування інокуляції до 84,3 $мг/100$ г у сорту Надія, 106,4 – у сорту Мавка та 115,0 $мг/100$ г у сорту Перлина, а на варіантах із обробкою насіння Ризобофітом даний показник був вищим, порівняно з варіантами без інокуляції за внесення добрив у нормі $N_{60}P_{40}K_{20}$ $кг/га$ д. р. Підсумовуючи одержані результати слід відмітити, що при подальшому збільшенні азотних добрив вміст пігментів у листках був майже на одному рівні як у варіантах із проведенням інокуляції, так і без неї. За вмістом хлорофілу в листках досліджуваних сортів квасолі, залежно від різних норм добрив та інокуляції насіння під впливом гідротермічних умов року, було визначено лідера – сорт Перлина, рослини якого за всі

Таблиця 2

Вміст пігментів у листках рослин квасолі у фазі цвітіння залежно від удобрення та інокуляції насіння (середнє за 2016–2018 рр.)

Варіант удобрення	Проведення інокуляції насіння							
	без інокуляції				з інокуляцією			
	хлорофіл, $мг/100$ г			приріст до контролю, %	хлорофіл, $мг/100$ г			приріст до контролю, %
	<i>a</i>	<i>в</i>	<i>a+в</i>		<i>a</i>	<i>в</i>	<i>a+в</i>	
Надія								
Без добрив (контроль)	54,1	14,7	68,8	0	58,1	17,2	75,3	9,5
$N_{30}P_{20}K_{10}$	57,2	15,6	72,8	5,8	63,8	18,5	82,3	9,3
$N_{60}P_{40}K_{20}$	60,3	16,4	76,7	11,5	68,9	25,2	94,1	24,8
$N_{90}P_{60}K_{30}$	63,1	16,4	79,5	15,6	64,3	20,6	84,9	12,7
$N_{120}P_{80}K_{40}$	66,0	18,3	84,3	22,5	63,4	20,1	83,5	10,9
Мавка								
Без добрив (контроль)	69,1	14,7	83,8	0	73,1	17,2	90,3	7,8
$N_{30}P_{20}K_{10}$	72,0	15,6	87,6	4,5	78,8	19,5	98,3	8,9
$N_{60}P_{40}K_{20}$	80,3	18,4	98,7	17,8	88,9	21,1	110,0	21,8
$N_{90}P_{60}K_{30}$	83,0	18,4	101,4	21,0	86,4	20,8	107,2	18,7
$N_{120}P_{80}K_{40}$	87,8	18,6	106,4	27,0	83,8	20,6	104,4	15,6
Перлина								
Без добрив (контроль)	70,9	16,9	87,8	0	76,8	17,1	93,9	6,9
$N_{30}P_{20}K_{10}$	73,2	17,2	90,4	3,0	78,7	19,5	98,2	4,6
$N_{60}P_{40}K_{20}$	86,9	19,4	106,3	21,1	96,6	24,1	120,7	28,5
$N_{90}P_{60}K_{30}$	88,3	19,8	108,1	23,1	87,2	21,5	108,7	15,8
$N_{120}P_{80}K_{40}$	93,1	21,9	115,0	31,0	88,4	22,4	110,8	18,0
$НІР_{0,5}$	хлорофіл <i>a</i> – 2,1				хлорофіл <i>в</i> – 1,1		хлорофіл <i>a+в</i> – 2,5	

три роки досліджень нагромаджували найвищий вміст суми пігментів ($a+\epsilon$).

Висновки. На дерново-підзолистих важкосуглинкових ґрунтах Закарпаття найбільшу площу листової поверхні посівів квасолі відмічено у фазі цвітіння – 30,1–46,6 тис. м²/га залежно від удобрення, інокуляції насіння та сортових особливостей. Максимальні показники площі листової поверхні посівів квасолі забезпечує внесення N₆₀P₄₀K₂₀ у поєднанні з передпосівною інокуляцією насіння Ризобіофітом – 41,8 тис.м²/га у сорту Надія, 45,1 – у сорту Мавка та 46,6 тис.м²/га у сорту Перлина. Вищий вміст суми пігментів ($a+\epsilon$) у листках відмічено у сорту Перлина за внесення N₆₀P₄₀K₂₀ кг/га д. р. та проведення передпосівної інокуляції Ризобіофітом. Внесення високих норм мінеральних (особливо азотних) добрив від N₉₀P₆₀K₃₀ та N₁₂₀P₈₀K₄₀ нівелює вплив інокуляції на формування площі листового апарату посівів квасолі та вміст пігментів у листках.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Kalenska S., Yeremenko O., Novitska N., Yunyk A., Honchar L., Cherniy V., Stolayrchuk T., Kalenskiy V., Scherbakova O., Rigenko A. Enrichment of field crops biodiversity in conditions of climate changing. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. № 9 (1). С. 19–24.
- Бабич А. О., Петриченко В. Ф., Адамень Ф. Ф. Проблема фотосинтезу і біологічної фіксації азоту бобовими культурами. *Вісник аграрної науки*. 1996. № 2. С. 34–39.
- Wang Y., Zhang Y.-J., Han J.-M. et al. Improve Plant Photosynthesis by a New Slow-Release Carbon Dioxide Gas Fertilizer. *ACS Omega*. 2019. 4 (6), P. 10354–10361. <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b03086>
- Ahanger M. A., Qi M., Huang Z. et al. Improving growth and photosynthetic performance of drought stressed tomato by application of nano-organic fertilizer involves up-regulation of nitrogen, antioxidant and osmolyte metabolism. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021. Vol. 216. P. 112195. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112195>
- Таран Н. Ю. Каротиноїди фотосинтетичних тканин в умовах посухи. *Фізіологія і біохімія культурних рослин*. 1999. № 6. С. 414–422.
- Омае Н., Kumar A., Egawa E. Assessing drought tolerance of snap bean (*Phaseolus vulgaris*) from genotypic differences in leaf water relations, shoot growth and photosynthetic parameters. *Plant Production Science*. 2007. Vol. 10. P. 28–35. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1571980077217565440>
- Zhang P., Zhang Z., Li B. et al. Photosynthetic rate prediction model of newborn leaves verified by core fluorescence parameters. *Sci Rep*. 2020. 10. P. 3013. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59741-6>
- Wang X. & Xu Xiao-Ming & Cui Jin. The importance of blue light for leaf area expansion, development of photosynthetic apparatus, and chloroplast ultrastructure of *Cucumis sativus* grown under weak light. *Photosynthetica*. 2014. 53. P. 213–222. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0083-8>
- Краєвська Л. С. Особливості формування показників фотосинтетичної продуктивності квасолі звичайної в залежності від передпосівної обробки насіння. *Збірник наукових праць ВНАУ*. 2017. № 6. Том 1. С. 166–174.
- Доктор Н. М., Мартинов О. М., Новицька Н. В. Функціонування фотосинтетичного апарату рослин квасолі звичайної в умовах Закарпаття. *Науковий вісник НУБіП України*. 2017. № 269. С. 67–73.
- Горова Т. К. Особливості формування фаз вегетаційного періоду квасолі звичайної. *Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області*. 2014. Вип. 17. С. 88–96.
- Ricaurte J., Clavijo Michelangeli J.A., Sinclair T.R., Rao I.M., Beebe S.E. Sowing Density Effect on Common Bean Leaf Area Development. *Crop Science*, 2016. 56. P. 2713–2721. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.01.0056>
- Чинчик О. С. Особливості формування показників фотосинтетичної продуктивності квасолі звичайної під впливом екограну і мінеральних добрив. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2014. Вип. 22. С. 88–92.
- Bassanezi R.B., Amorim L., Filho, A.B., Hau, B., Berger R.D. Accounting for photosynthetic efficiency of bean leaves with rust, angular leaf spot and anthracnose to assess crop damage. *Plant Pathology*, 2001. 50. P. 443–452. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.2001.00584.x>
- Trindade R., Araújo A., Teixeira M. Leaf area of common bean genotypes during early pod filling as related to plant adaptation to limited phosphorus supply. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 2010. 34. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000100012>
- Ничипорович А. А. Фізіологія фотосинтезу і продуктивність рослин. *Фізіологія фотосинтезу*. М., 1982. С. 7–38.
- Ничипорович А. А. Фотосинтез и вопросы повышения урожайности растений. *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1966. № 2. С. 21–23.
- Shiple B. Net assimilation rate, specific leaf area and leaf mass ratio: which is most closely correlated with relative growth rate? A meta-analysis. *Functional Ecology*, 2006. 20. P. 565–574. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2006.01135.x>
- Pastenes C., Horton P. Effect of High Temperature on Photosynthesis in Beans (I. Oxygen Evolution and Chlorophyll Fluorescence). *Plant Physiology*, 1996. Vol. 112, Issue 3. P. 1245–1251. <https://doi.org/10.1104/pp.112.3.1245>
- Ribeiro V., Júnior M., Pereira G., Ferreira E.A., Enilson D. Santos J. Total chlorophyll and nutrients content in bean plants and weeds in competition. *Comunicata Scientiae*. 2017. 8. P. 307–315. <https://doi.org/10.14295/CS.v8i2.2173>
- Madeira A. C., Mentions A., Ferreira M. E., Taborda M. L. Relationship between spectroradiometric and chlorophyll measurements in green beans. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2000. 31:5-6. P. 631–643. <https://doi.org/10.1080/00103620009370465>
- Lobato A.K.S., Gonçalves-Vidigal C., Filho P.S., Andrade CAB., Kvitschal M., Bonato C. M. Relationships between leaf pigments and photosynthesis in common bean plants infected by anthracnose. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 2010. 38. P. 29–37. <https://doi.org/10.1080/01140671003619308>
- Ермантраут Е. Р., Гопцій Т. І., Каленська С. М., Присяжнюк О. І. *Методика наукових досліджень в агрономії* [навчальний посібник]. Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва. Харків. 2012. 180 с.

24. Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. *Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів*. К.: ЗАТ «Нічлава». 2003. 320 с.
25. Макрушин М. М., Петерсон Н. В., Мельников М. М. *Фізіологія рослин [підручник]*. Вінниця: Нова книга. 2006. 413 с.

REFERENCES:

- Kalenska S., Yeremenko O., Novitska N., Yunyk A., Honchar L., Cherniy V., Stolayrchuk T., Kalenskiy V., Scherbakova O., Rigenko A. (2019). Enrichment of field crops biodiversity in conditions of climate changing. *Ukrainian Journal of Ecology*. № 9 (1), 19–24.
- Babych A. O., Petrychenko V. F., Adamen F. F. (1996). Problema fotosyntezy i biolohichnoi fiksatsii azotu bobovymu kulturamy [The problem of photosynthesis and biological fixation of nitrogen by legumes]. *Visnyk ahrarnoi nauky – Herald of Agrarian Science*. 2, 34–39. [in Ukrainian].
- Yan Wang, Yu-Jie Zhang, Ji-Mei Han, Cui-Hua Li, Rong-Jie Wang, Ya-Li Zhang, and Xin Jia. (2019). Improve Plant Photosynthesis by a New Slow-Release Carbon Dioxide Gas Fertilizer. *ACS Omega*. 4 (6), 10354–10361. <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b03086>
- Mohammad Abass Ahanger, Maodong Qi, Ziguang Huang, Xuedong Xu, Naheeda Begum, Cheng Qin, Chenxi Zhang, Nadeem Ahmad, Nabil S. Mustafa, Muhammad Ashraf, Lixin Zhang. (2021). Improving growth and photosynthetic performance of drought stressed tomato by application of nano-organic fertilizer involves up-regulation of nitrogen, antioxidant and osmolyte metabolism. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 216, 112195. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112195>
- Taran N. Yu. (1996). Karotynoidy fotosyntetychnykh tkanyn v umovakh posukhy [Carotenoids of photosynthetic tissues under drought conditions]. *Fiziologija i biokhimiya kul'turnih rastenij – Physiology and biochemistry of cultivated plants*. 6, 414–422. [in Ukrainian].
- Omae H., Kumar A., Egawa E. et al. (2007). Assessing drought tolerance of snap bean (*Phaseolus vulgaris*) from genotypic differences in leaf water relations, shoot growth and photosynthetic parameters. *Plant Production Science*. 10, 28–35. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1571980077217565440>
- Zhang, P., Zhang, Z., Li, B. et al. (2020). Photosynthetic rate prediction model of newborn leaves verified by core fluorescence parameters. *Sci Rep*. 10, 3013. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59741-6>
- Wang, X. & Xu, Xiao-Ming & Cui, Jin. (2014). The importance of blue light for leaf area expansion, development of photosynthetic apparatus, and chloroplast ultrastructure of *Cucumis sativus* grown under weak light. *Photosynthetica*. 53, 213–222. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0083-8>
- Kraievska L. S. (2017). Osoblyvosti formuvannia pokaznykiv fotosyntetychnoi produktyvnosti kvasoli zvychnoi v zalezhnosti vid peredposivnoi obrobky nasinnia. [Peculiarities of formation of indicators of photosynthetic productivity of common beans depending on pre-sowing treatment of seeds]. *Zbirnyk naukovykh prats VNAU – Collection of Scientific Works of VNAU*. 6/1, 166–174. [in Ukrainian].
- Doktor N. M., Martynov O. M., Novytska N. V. (2017). Funktsionuvannia fotosyntetychnoho aparatu roslin kvasoli zvychnoi v umovakh Zakarpattia [Functioning of the photosynthetic apparatus of common bean plants in Transcarpathian conditions]. *Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy – Scientific bulletin of NUBiP of Ukraine*. 269, 67–73. [in Ukrainian].
- Horova, T. K. (2014). Osoblyvosti formuvannia faz vehetatsiinoho periodu kvasoli zvychnoi [Peculiarities of the formation of phases of the growing season of common beans]. *Visnyk Tsentru naukovooho zabezpechennia APV Kharkivskoi oblasti – Bulletin of the Center for Scientific Support of APV of Kharkiv Region*. 17, 88–96. [in Ukrainian].
- Ricaurte, J., Clavijo Michelangeli, J.A., Sinclair, T.R., Rao, I.M. and Beebe, S.E. (2016). Sowing Density Effect on Common Bean Leaf Area Development. *Crop Science*, 56, 2713–2721. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.01.0056>
- Chynchyk, O. S. (2014). Osoblyvosti formuvannia pokaznykiv fotosyntetychnoi produktyvnosti kvasoli zvychnoi pid vplyvom ekohranu i mineralnykh dobryv [Peculiarities of the formation of indicators of photosynthetic productivity of common beans under the influence of ecograin and mineral fertilizers]. *Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovyykh buriakiv – Scientific works of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*. 22, 88–92. [in Ukrainian].
- Bassanezi, R.B., Amorim, L., Filho, A.B., Hau, B. and Berger, R.D. (2001). Accounting for photosynthetic efficiency of bean leaves with rust, angular leaf spot and anthracnose to assess crop damage. *Plant Pathology*, 50, 443–452. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.2001.00584.x>
- Trindade, Roberto & Araújo, Adelson & Teixeira, Marcelo. (2010). Leaf area of common bean genotypes during early pod filling as related to plant adaptation to limited phosphorus supply. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 34. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000100012>
- Nychyporovych A. A. (1982). Fiziologiya fotosyntezy i produktyvnist roslin [Physiology of photosynthesis and plant productivity]. *Fiziologiya fotosyntezy – Physiology of photosynthesis*. 7–38. [in Ukrainian].
- Nichiporovich A. A. (1966). Fotosintez i voprosy povysheniya urozhajnosti rastenij [Photosynthesis and issues of increasing plant productivity]. *Vestnik sel'skohozjajstvennoj nauki – Bulletin of Agricultural Science*. 2, 21–23. [in Russian].
- Shiple, B. (2006). Net assimilation rate, specific leaf area and leaf mass ratio: which is most closely correlated with relative growth rate? A meta-analysis. *Functional Ecology*, 20, 565–574. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2006.01135.x>
- Pastenes, C., Horton, P. (1996). Effect of High Temperature on Photosynthesis in Beans (I. Oxygen Evolution and Chlorophyll Fluorescence), *Plant Physiology*, 112/3, 1245–1251. <https://doi.org/10.1104/pp.112.3.1245>
- Ribeiro, Victor & Júnior, Marcos & Pereira, Gustavo & Ferreira, E.A. & Enilson, De & Santos, Jose. (2017). Total chlorophyll and nutrients content in bean plants and weeds in competition. *Comunicata Scientiae*. 8, 307–315. <https://doi.org/10.14295/CS.v8i2.2173>
- Ana Carla Madeira, Amarilis Mentions, Maria Elvira Ferreira & Maria de Lourdes Taborda. (2000). Relationship between spec-

- troradiometric and chlorophyll measurements in green beans, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31:5-6, 631–643, <https://doi.org/10.1080/00103620009370465>
22. Lobato, AKS & Gonçalves-Vidigal, Celeste & Filho, PS & Andrade, CAB & Kvitschal, Marcus & Bonato, Carlos Moacir. (2010). Relationships between leaf pigments and photosynthesis in common bean plants infected by anthracnose. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 38, 29–37. <https://doi.org/10.1080/01140671003619308>
23. Ermantraut E. R., Hoptsyi T. I., Kalenska S. M., Prysiazhniuk O. I. (2012). *Metodyka naukovykh doslidzhen v ahronomii [Methods of scientific research in agronomy]*. Kharkivskiy natsionalnyi ahrarniy universytet im. V. V. Dokuchaieva. Kharkiv. [in Ukrainian].
24. Hrytsaienko Z. M., Hrytsaienko A. O., Karpenko V. P. (2003). *Metody biologichnykh ta ahrokhimichnykh doslidzhen roslyn i gruntiv [Methods of biological and agrochemical research of plants and soils]*. K.: ZAT «NICH LAVA». [in Ukrainian].
25. Makrushyn M. M., Peterson N. V., Melnykov M. M. (2006). *Fiziologhiia roslyn [Physiology of plants]*. Vinnytsia: Nova knyha. [in Ukrainian].

Доктор Н.М., Кормош С.М., Новицька Н.В., Мартинов О.М. Вплив удобрення та інокуляції на ефективність фотосинтетичної діяльності посівів квасолі

Мета – встановлення особливостей формування площі листової поверхні посівів та накопичення пігментів у листках рослин квасолі сортів Мавка, Перлина, Надія залежно від сортових особливостей, інокуляції насіння та норм внесення мінеральних добрив на дерново-підзолистих ґрунтах Закарпаття України. **Методи.** Дослідження виконано у відокремленому підрозділі Національного університету біоресурсів і природокористування України «Мукачівський фаховий коледж» у Закарпатській області. Польовий дослід закладено в стаціонарній польовій сівозміні коледжу на дерново-підзолистих важкосуглинкових ґрунтах з вмістом гумусу 1,9 %. Дослід трифакторний, чинник А – районвані середньостиглі сорти квасолі звичайної, чинник В – норми внесення мінеральних добрив, розраховані балансовим методом на запланований врожай, чинник С – інокуляція насіння. **Результати.** У міру проходження фаз росту і розвитку рослин квасолі площа їх листової поверхні збільшувалась і досягла свого максимуму у фазу цвітіння – 30,1–41,8 тис. м²/га у сорту Надія, 31,7–45,1 та 32,3–46,6 тис. м²/га у сортів Мавка та Перлина відповідно. У фазі наливу бобів спостерігали відмирання листків нижнього ярусу, що призводило до деякого зменшення площі листового апарату рослин. Площа листової поверхні посівів квасолі зростала за збільшення норми добрив до N₁₂₀P₈₀K₄₀ на варіантах без інокуляції. Максимальні показники площі листової поверхні рослин забезпечило внесення N₆₀P₄₀K₂₀ у поєднанні з передпосівною інокуляцією насіння Ризобіфітом – 41,8 тис. м²/га у сорту Надія, 45,1 тис. м²/га у сорту Мавка та 46,6 тис. м²/га у сорту Перлина. Вищий вміст суми пігментів (а+в) у листках відмічено у сорту Перлина за внесення N₆₀P₄₀K₂₀ кг/га д. р. та проведення передпосівної інокуляції Ризобіфітом. Зі збільшенням норми мінеральних добрив вплив іноку-

ляції знижувався. За внесення високих норм мінеральних (особливо азотних) добрив N₉₀P₆₀K₃₀ та N₁₂₀P₈₀K₄₀, вплив інокуляції на формування площі листового апарату посівів та вміст пігментів в листках рослин квасолі нівелювався. **Висновки.** Внесення високих норм мінеральних (особливо азотних) добрив від N₉₀P₆₀K₃₀ та N₁₂₀P₈₀K₄₀ нівелює вплив інокуляції на формування площі листового апарату посівів квасолі та вміст пігментів у листках.

Ключові слова: квасоля звичайна, сорт, мінеральні добрива, інокуляція, ризобіфіт, площа листової поверхні, пігменти, хлорофіл.

Doktor N.M., Kormosh S.M., Novytska N.V., Martunov O.M. The effect of fertilization and inoculation on the efficiency of photosynthetic activity of bean crops

Purpose – to determine the characteristics of the formation of the leaf surface area of crops and the accumulation of pigments in the leaves of bean plants of the Mavka, Perlina, and Nadiya varieties, depending on the varietal characteristics, seed inoculation, and mineral fertilizer rates on turf-podzolic soils of Transcarpathia of Ukraine. **Methods.** The study was performed in a separate department of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine «Mukachevo Vocational College» in the Transcarpathian region. The field experiment was included in the stationary field crop rotation of the college on sod-podzolic heavy loam soils with a humus content of 1,9 %. The experiment is three-factor, factor A – zoned medium-ripe varieties of common beans, factor B – rates of mineral fertilizers, calculated by the balance method for the planned harvest, factor C – inoculation of seeds. **Results.** As the phases of growth and development of bean plants progressed, their leaf surface area increased and reached its maximum during the flowering phase – 30,1–41,8 thousand m²/ha in the variety Nadiya, 31,7–45,1 and 32,3–46,6 thousand m²/ha in Mavka and Perlina varieties, respectively. In the phase of pouring beans, the dying of the leaves of the lower tier was observed, which led to a certain decrease in the area of the leaf apparatus of the plants. The leaf surface area of bean crops increased with an increase in the fertilizer rate up to N₁₂₀P₈₀K₄₀ on variants without inoculation. The application of N₆₀P₄₀K₂₀ in combination with pre-sowing seed inoculation with Rhizobophyte provided the maximum indicators of the leaf surface area of plants – 41,8 thousand m²/ha in the variety Nadiya, 45,1 thousand m²/ha in the variety Mavka and 46,6 thousand m²/ha in Pearl variety. The higher content of the sum of pigments (a+c) in the leaves was noted in the Perlina variety after applying N₆₀P₄₀K₂₀ kg/ha per year and carrying out pre-sowing inoculation with Rhizobophyte. With an increase in the rate of mineral fertilizers, the effect of inoculation decreased. With the introduction of high rates of mineral (especially nitrogen) fertilizers N₉₀P₆₀K₃₀ and N₁₂₀P₈₀K₄₀, the effect of inoculation on the formation of the area of the leaf apparatus of crops and the content of pigments in the leaves of bean plants was leveled off. **Conclusions.** Application of high rates of mineral (especially nitrogen) fertilizers from N₉₀P₆₀K₃₀ and N₁₂₀P₈₀K₄₀ neutralizes the effect of inoculation on the formation of the area of the leaf apparatus of bean crops and the content of pigments in the leaves.

Key words: common bean, variety, mineral fertilizers, inoculation, rhizobophyte, leaf surface area, pigments, chlorophyll.