

ФОРМУВАННЯ АСИМІЛЯЦІЙНОЇ ЛИСТКОВОЇ ПОВЕРХНІ СОРТІВ СОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ В УМОВАХ ЗРОШЕННЯ

ІВАНІВ М.О. – кандидат сільськогосподарських наук

orcid.org/0000-0002-4793-6194

Херсонський державний аграрно-економічний університет

ВОЗНЯК В. – аспірант

orcid.org/0009-0002-8498-0765

Херсонський державний аграрно-економічний університет

Постановка проблеми. Важливою умовою формування високих врожаїв агрокультур, в тому числі і зернобобових, є збільшення продуктивності їх фотосинтезу, тобто кількості синтезованої органічної речовини на одиницю площі листкової поверхні за добу. Одним з основних завдань в досягненні цієї мети є формування посівів технологічними заходами з найбільш розвиненим листковим апаратом, який би знаходився в активному стані як на початку, так і наприкінці вегетаційного періоду. Адже відомо, що добре розвинений фотосинтетичний апарат, оптимальний за об'ємом і динамікою функціонування, є одним із чинників одержання високих і сталих урожаїв агрокультур. Він повинен відзначатися високою інтенсивністю та продуктивністю в усі фази росту і розвитку рослин [1]. Особливої уваги дослідників привертає процес адаптивної реакції сортів сої на агротехнічні заходи та їх вплив на продуктивність фотосинтезу [2].

Правильне розміщення рослин сої на площі повинно задовольняти основну вимогу – найкраще освітлення листкової поверхні. У сприятливих умовах тривалості світлового дня соя потребує інтенсивного освітлення, за нестачі якого соя не квітує. Як світлолюбна культура, вона формує високу урожайність лише за оптимальних для конкретного сорту площі живлення та густоти рослин, освітленості, забезпеченні вологою і поживними речовинами, що, в свою чергу, визначає облистяність, інтенсивність фотосинтезу, утворення бобів, кількість бобів і насіння, обумовлює величину та якість насіння [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Процесом первинного утворення органічних речовин у рослинному організмі є фотосинтез. З навколишнього середовища рослини за рахунок фотосинтезу засвоюють вуглець, що становить близько 42–45% від сухої маси рослин, внаслідок чого і утворюються первинні продукти, з яких складаються всі органічні сполуки. Найбільше накопичення сухої маси урожаю сої відбувається шляхом фотосинтезу, що триває в листках. Тому розмір добових приростів урожаю визначається площею листкової поверхні та продуктивністю фотосинтезу, який суттєво залежить від заходів агротехніки та біологічних властивостей культури [4].

Під час визначення кращої густоти рослин потрібно враховувати необхідність створення оптимальної площі листків на кожному гектарі посіву сої до закінчення вегетативного росту, коли починається масове формування бобів. Якщо наростання асиміляційного апарату буде

швидше, то через взаємне затінення значна частина листків у нижньому ярусі опадє і фотосинтезуюча поверхня різко скоротиться. Пластичні речовини в таких умовах росту і розвитку використовуються на утворення стебел і черешків. У рослин сої за вегетаційний період утворюється лише один листок в кожному вузлі нижнього ярусу. У випадку його видалення чи опадання новий листок на цьому ж вузлі не виростає. Високе загущення посівів сої сприяє відмиранню листків до 7–9 вузлів, що призводить до різкого зниження урожайності культури [5, 6].

Інтенсивність і якість світла є одними з найважливіших факторів навколишнього середовища для фізіології та біохімії рослин. Для більшості культурних рослин навіть незначне збільшення або зменшення інтенсивності освітлення призводить до значних змін у морфології та структурі листя [7, 8]. Згідно з порівняльними дослідженнями, інтенсивність фотосинтезу зменшувалась з процесом загущення рослин, проте цей процес мав і певні оптимуми продуктивності фотосинтезу [9, 10].

Крім того, культурні рослини виробляють менші та тонші листки за умов слабого освітлення, ніж відповідні листки за умов повного сонячного освітлення. Також затінені середовища збільшують висоту рослин і швидкість вилягання, що перешкоджає атракції поживних речовин, води та продуктів фотосинтезу і зрештою спричиняє втрати агровиробникам. У сукупності інтенсивність світла є основним фактором, який контролює центральні процеси рослин, такі як проростання, розростання листків, фотосинтез, зародження бруньок і квіток, а також поділ клітин [11–15].

Дослідженнями в Східній Азії було встановлено, що фізіологічні процеси в рослинах сої покращуються зі збільшенням інтенсивності світла до певного (оптимального) рівня, а відхилення від оптимуму призводить до різких змін у рості та розвитку рослин [16, 17].

Зменшення інтенсивності світла при загущенні рослин може негативно вплинути на вуглецевий баланс сої, оскільки потреба у вуглеводах зростає, а їх виробництво зменшується: швидкість фізіологічних процесів зростає, а інтенсивність фотосинтезу знижується. Відповідно, толерантність до стресу в затіненні зростала при високій сумарній швидкості фотосинтезу в рослинах з С3 типом фотосинтезу. Більш того, структура вуглеводів у внутрішніх процесах, таких як біосинтез захисних білків (зокрема білка хлорофілу), зростає зі збільшенням щільності ценозу. Відповідно до цього Rijkers T. зі співавторами (2010) дійшли висновку, що захист рослин

від стресу загушення підвищується при оптимальному технологічному забезпеченні [18].

Дослідженнями Yao, X. зі співавторами (2017) встановлено, якщо площа листової поверхні є мінімальною або максимальною, структура посівів не є оптимальною для використання фізіологічно активної радіації, оскільки за меншої площі неефективно використовується ФАР, а за більшої – внаслідок взаємозатінення значна частина листків працює неефективно [19].

Підсумовуючи вище викладене, можна підтвердити висновки попередніх досліджень науковців про необхідність розробки сортових технологій вирощування інноваційних сортів сої в конкретних агроекологічних умовах [20].

Мета. Метою наших досліджень було проаналізувати вплив елементів технології на площу листової поверхні, визначити фотосинтетичний потенціал посівів сої сортів різних груп стиглості та розрахувати кореляційно-регресійні моделі їх впливу на урожайність насіння в умовах зрошення.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження проведені згідно тематичного плану досліджень ДВНЗ «Херсонський державний аграрно-економічний університет» за завданням «Сучасні аспекти інформатизації сільськогосподарського виробництва на основі моделювання та прогнозування продукційних процесів у агрокосистемах» (номер державної реєстрації 0120U100997). Польові досліді проводили впродовж 2019–2021 рр. в опорному пункті університету на території ФГ «ВИКО» Новотроїцького району Херсонської області в агроекологічній зоні Південний Степ (ГТК_{v-ix} = 0,50–0,60) в межах дії Каховської зрошувальної системи.

Ґрунт дослідної ділянки – темно-каштановий, середньосуглинковий. Агротехніка вирощування сортів сої в досліді була загальноприйнятною для зони півдня України. Попередник – кукурудза. Дослідження проведені згідно методики досліджень. Статистичну обробку результатів досліджень здійснювали методом дисперсійного аналізу з використанням пакета комп'ютерних програм Agrostat [21, 22].

В трифакторному досліді вивчали: строки сівби (фактор А) – 15 квітня, 1 травня, 15 травня; сорти сої (фактор В); густина рослин (фактор С) – 500, 700, 900 тис. рослин / га.

Об'єктом дослідження слугували сорти сої вітчизняної селекції різних груп стиглості: скоростиглі – Монарх (оригінація Інститут зрошувального землеробства НААН, м. Херсон), Арніка (оригінація ННЦ «Інститут землеробства НААН», м. Київ); ранньостиглі – Писанка (оригінація Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН, м. Харків), Софія (оригінація Інститут зрошувального землеробства НААН, м. Херсон); середньоранні – Святогор (оригінація Інститут зрошувального землеробства НААН, м. Херсон), Еврідіка (оригінація Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннезнавства та сортовивчення).

Повторність – чотириразова, посівна площа суб-субділянки (фактор С) – 200 м², облікова – 150 м². Полив проводили дощувальною машиною VALLEY з рівнем передполивної вологості ґрунту 75% НВ у шарі ґрунту 0–50 см.

Результати досліджень. Відомо, що найвищі врожаї агрокультур з високими якісними показниками можна отримати у посівах з оптимальною площею листків, оптимальним процесом її формування і структурою. Інтенсивність росту листової поверхні та формування високого фотосинтетичного потенціалу листової поверхні значною мірою залежать від обґрунтованості технологій вирощування, що забезпечують тривалішу роботу листового апарату.

Нашими дослідженнями встановлено, що всі елементи технології, що досліджуються, значно впливали на площу асиміляційної поверхні сортів сої різних груп стиглості (табл. 1).

Передусім варто зазначити сортову специфіку у прояві ознаки «площа листової поверхні». Нами було виявлено, що сорти сої суттєво різнилися за показником площі листків. У скоростиглих сортів: Монарх, Арніка площа листової поверхні становила 26,9–34,3 тис. м²/га, у ранньостиглих сортів Писанка, Софія – 34,0–38,5 тис. м²/га, у середньоранніх сортів Святогор, Еврідіка площа листової поверхні становила 43,2–48,1 тис. м²/га.

Важливим завданням досліджень було встановлення впливу максимальної площі листової поверхні сортового компоненту, строків сівби та густоти посіву на урожайність насіння. Розрахунки кореляційно-регресійних моделей залежності площі листової поверхні у фазу максимальної її прояву та урожайності насіння сої за різних строків сівби показало, що існує сильна позитивна залежність між цими показниками (рис. 1).

Коефіцієнти кореляції знаходились в межах $r=0,822-0,855$ за всіх строків сівби. Це достатньо високі значення, що вказує на можливість підвищення урожайності насіння сої за рахунок збільшення листового індексу у фазу максимального його прояву – у фазу утворення бобів. Екстраполяція площі листової поверхні за межі експериментальних даних (максимальна площа у досліді 49,7 тис. м²/га) дозволяє прогнозувати урожайність насіння сої понад 4,5 т/га. Можливість отримання такої урожайності більш вірогідна за ранніх строків сівби, на що вказує крива лінії регресії, та можливості удосконалення сортової технології.

Більш різноманітні кореляційно-регресійні моделі залежності площі листової поверхні посівів сої та урожайності насіння за різних строків сівби та щільності ценозу встановлені у окремих сортів (рис. 2).

Коефіцієнти кореляції у всіх сортів були додатними, проте їх значення коливалось від $r=0,877$ до $r=0,111$. Найбільш висока кореляція площі листової поверхні спостерігалась у сортів з більшою тривалістю періоду вегетації – це сорти Святогор, Еврідіка, Софія. Ці сорти можуть реалізувати урожайність насіння в межах 3,5–4,5 т/га при розвитку площі листової поверхні за межі 46 тис. м²/га.

Сорти з меншою тривалістю вегетації (Монарх, Писанка, Арніка) показали значно меншу залежність урожайності від площі листової поверхні. І якщо Арніка проявила слабку лінійну залежність між цими показниками ($r=0,111$), то сорти Монарх і Писанка показали більші кореляції ($r=0,211$ та $r=0,201$ відповідно), проте

Таблиця 1

Площа листової поверхні у фазу утворення бобів залежно від елементів технології, тис. м²/га (середнє за 2019–2021 рр.)

Строк сівби (фактор А)	Сорт (фактор В)	Густота рослин, тис. рослин/га (фактор С)			Середня за фактором А	Середня за фактором В
		500	700	900		
15 квітня	Монарх	26,5	27,1	29,7	37,5	27,8
	Арніка	25,9	26,2	28,6		26,9
	Писанка	32,0	35,2	34,7		34,0
	Софія	33,1	35,8	34,3		34,4
	Святогор	47,2	45,6	44,8		45,9
	Еввідіка	46,1	44,9	43,1		44,7
Середнє за фактором С		35,1	35,8	35,9		
01 травня	Монарх	32,7	34,6	35,7	35,6	34,3
	Арніка	30,8	33,1	34,6		32,8
	Писанка	35,7	37,1	36,2		36,3
	Софія	36,6	40,9	38,1		38,5
	Святогор	49,7	48,5	46,1		48,1
	Еввідіка	46,4	44,9	47,7		46,3
Середнє за фактором С		38,7	39,9	39,7		
15 травня	Монарх	30,9	32,8	33,4	39,4	32,4
	Арніка	28,8	31,0	32,6		30,8
	Писанка	34,8	37,1	36,7		36,2
	Софія	35,1	38,1	37,5		36,9
	Святогор	47,8	45,1	43,4		45,4
	Еввідіка	44,1	43,8	41,7		43,2
Середнє за фактором С		38,7	39,9	39,7		
НІ _{POS} , тис. м ² /га		фактор А – 0,35, фактор В – 0,61, фактор С – 0,45				

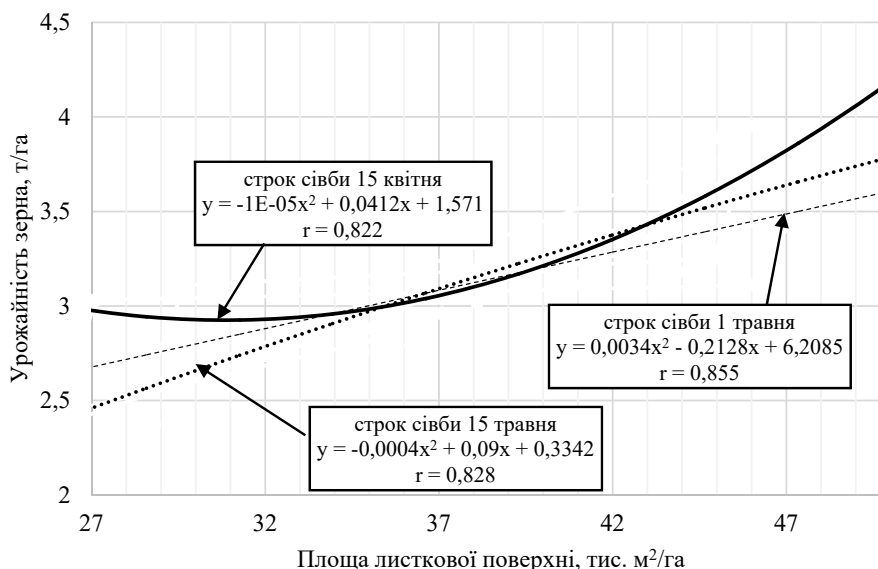


Рис. 1. Кореляційно-регресійні моделі залежності урожайності зерна сортів сої та площі листової поверхні за різних строків сівби

залежність носила характер криволінійності. Для цих сортів більш регламентований оптимум листової поверхні за різних строків сівби та щільності ценозу.

Кореляційно-регресійні залежності урожайності насіння сої та площі листової поверхні за різної щільності ценозу носили більш однозначний характер (рис. 3).

За різних варіантів густоти посіву спостерігалась сильна і середня залежність площі листової поверхні та урожайності насіння. Більша кореляція спостерігалась за варіантом загущення (900 тис. росл./га) та зрідженою густотою (500 тис. росл./га). Коефіцієнти кореляції становили 0,815 та 0,661 відповідно. Залежність між досліджуваними показниками за гус-

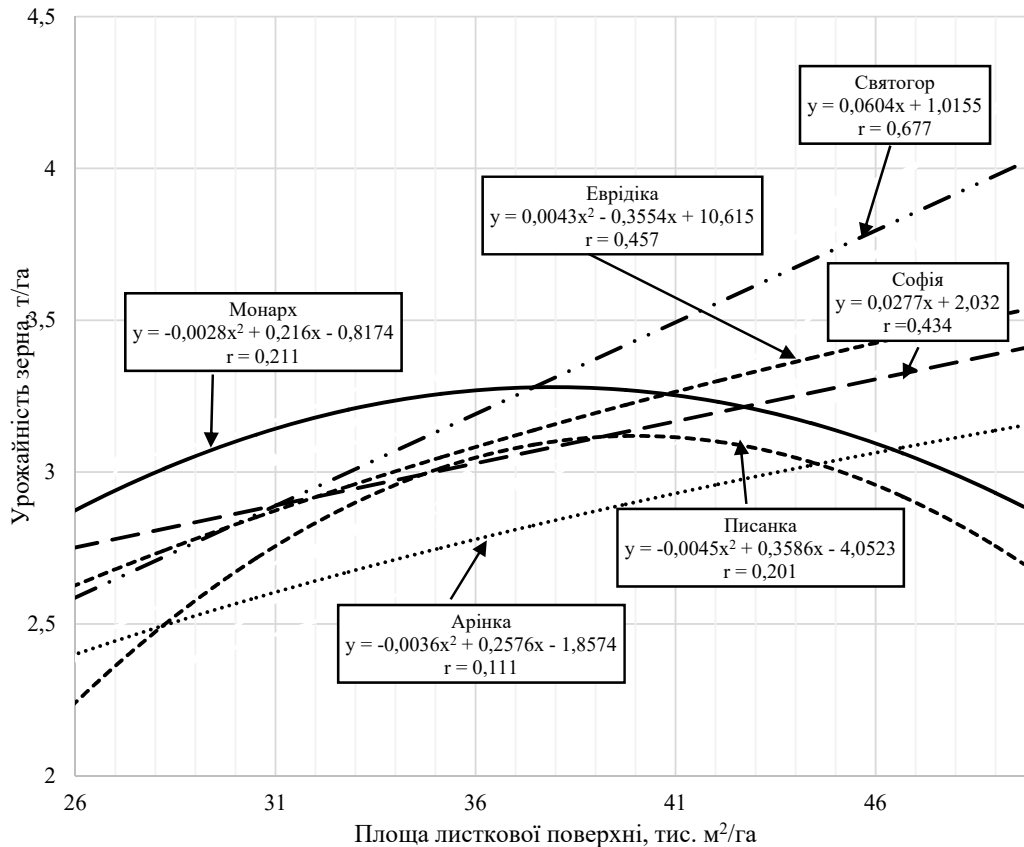


Рис. 2. Кореляційно-регресійні моделі залежності урожайності зерна та площі листкової поверхні сортів сої різних груп стиглості

тоти рослин 700 тис. росл./га була меншою ($r=0,389$) і більш схильною до криволінійності. Тільки за такої густоти рослин підвищення площі листкової поверхні з 36 тис. м²/га до 48 тис. м²/га дозволило підвищити урожайність насіння з 3 до 4,5 т/га. Тому можемо припустити, що густота рослин 700 тис. росл./га є найбільш універсальною для різних сортових ресурсів та строків сівби.

Для фотосинтезу і сполученого з ним процесу біологічної фіксації азоту важливим фактором є проникнення світла до листків сої усіх ярусів. Лише за оптимальної густоти у посіві формується такий габітус рослини, який сприяє доброму освітленню, рівномірному утворенню на ній листків, бобів та насінин, високій інтенсивності фотосинтезу та врожайності насіння. Для врахування процесу фотосинтезу як основи створення біологічної речовини слід врахувати такі показники, як формування фотосинтетичного потенціалу.

Показник фотосинтетичного потенціалу характеризує потенційні можливості фотосинтетичного листкового апарату рослин сортів сої і є сумою щоденних показників площі листків посіву за весь вегетаційний період чи за його частину.

Встановлено, що фотосинтетичний потенціал (ФП) залежить від сорту, строків сівби та густоти рослин. За фактором А (строк сівби), максимальну величину фотосинтетичного потенціалу – 3,08 тис. м²*діб/га було одержано за строком сівби 01 травня. Мінімальну величину фотосинтетичного потенціалу – 2,65 тис. м²*діб/га показали сорти за строком сівби 15 квітня (табл. 2).

Фотосинтетичний потенціал сортів в наших дослідженнях коливався від 1,92 до 3,45 млн м² *діб/га. Він був значно більшим у сортів з більшою тривалістю періоду вегетації – Святогор та Еввідіка. Строки сівби суттєво впливали на фотосинтетичний потенціал – найменшим він був за ранніх строків сівби, збільшувався за сівби 1 травня, а потім знижувався за сівби у пізні строки (15 травня).

Група стиглості сорту суттєво впливала на показники фотосинтетичного потенціалу. Максимальна величина фотосинтетичного потенціалу спостерігалась у сортів середньоранньої групи – Святогор та Еввідіка на зрошенні – 3,15–3,40 тис. м²*діб/га, дещо меншою ФП був у ранньостиглих Писанка та Софія – 2,74–3,11 тис. м²*діб/га, найменший фотосинтетичний потенціал спостерігався в групі скоростиглих сортів Монарх та Арінка зрошенні дощуванням – 1,89–3,17 тис. м²*діб/га.

Аналіз показника ФП показав, що густота рослин впливає на величину даного показника. Величина фотосинтетичного показника за густоти 500 тис. рослин/га коливалась від 1,75 до 3,45 тис. м²*діб/га, за густоти 700 тис. рослин/га 1,84–3,39 тис. м²*діб/га, за густоти 900 тис. рослин/га – 2,09–3,36 тис. м²*діб/га.

Найбільші показники фотосинтетичного потенціалу були встановлені у сорту Святогор за сівби 1 травня та густоти 500 тис. рослин/га.

До завдань досліджень входило встановлення впливу фотосинтетичного потенціалу сортового ком-

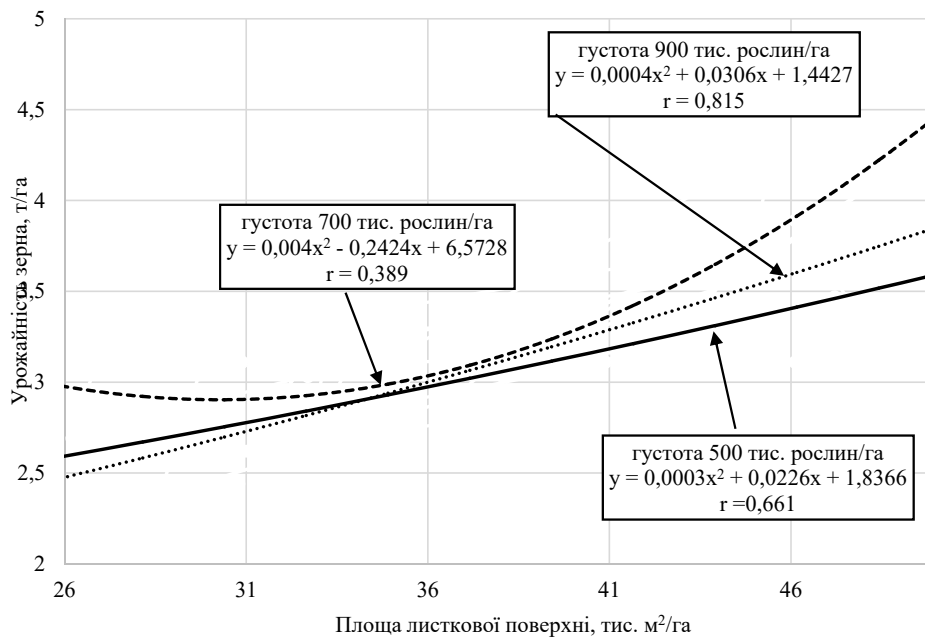


Рис. 3. Кореляційно-регресійні моделі залежності урожайності зерна та площі листкової поверхні сортів сої за різної густоти рослин

Таблиця 2

Фотосинтетичний потенціал посівів сортів сої залежно від елементів технології, млн м² *діб/га (середнє за 2019–2021 рр.)

Строк сівби (фактор А)	Сорт (фактор В)	Густота рослин, тис.рослин/га (фактор С)			Середня за фактором А	Середня за фактором В
		500	700	900		
15 квітня	Монарх	1,92	1,98	2,11	2,65	2,00
	Арніка	1,75	1,84	2,09		1,89
	Писанка	2,61	2,73	2,88		2,74
	Софія	2,72	2,86	2,92		2,83
	Святогор	3,19	3,27	3,31		3,26
	Еврідіка	3,12	3,18	3,22		3,17
Середнє за фактором С		2,55	2,64	2,76		
01 травня	Монарх	3,02	3,36	3,14	3,08	3,17
	Арніка	2,62	2,77	2,56		2,65
	Писанка	3,14	2,86	2,67		2,89
	Софія	3,23	3,17	2,94		3,11
	Святогор	3,45	3,39	3,36		3,40
	Еврідіка	3,28	3,21	3,19		3,23
Середнє за фактором С		3,12	3,13	2,98		
15 травня	Монарх	2,04	2,18	2,31	2,75	2,18
	Арніка	1,96	2,05	2,22		2,08
	Писанка	2,64	2,92	2,86		2,81
	Софія	2,77	3,15	3,11		3,01
	Святогор	3,20	3,36	3,28		3,28
	Еврідіка	3,05	3,27	3,14		3,15
Середнє за фактором С		2,61	2,82	2,82		

поненту, строків сівби та густоти посіву на урожайність насіння. Розрахунки кореляційно-регресійних моделей залежності фотосинтетичного потенціалу та урожайно-

сті насіння сої за різних строків сівби показало, що існує сильна позитивна залежність між цими показниками (рис. 4).

Слід відзначити, що за всіх строків сівби спостерігалась сильна кореляція урожайності фотосинтетичним потенціалом у сукупності досліджуваних сортів. Коефіцієнти кореляції знаходились в межах $r=0,744-0,889$, що вказує на необхідність підвищувати технологічними заходами площу листової поверхні сої. Залежність урожайності з фотосинтетичним потенціалом за сівби 15 травня була більш прямолінійною з різким зменшенням урожайності з падінням урожайності насіння при показниках фотосинтетичного потенціалу в межах $2,2-2,6$ млн m^2 *діб/га. Це може пояснюватись прискореним органогенезом рослин при достатньому прогріванні ґрунту, що призводить до стримування наростання листової поверхні.

Більш різноманітні кореляційно-регресійні залежності урожайності з фотосинтетичним потенціалом спостерігали у окремих сортів сої (рис. 5).

Найбільша кореляція урожайності з фотосинтетичним потенціалом була у сорту Святогор ($r=0,918$). Урожайність насіння у нього різко знижувалась при зменшенні фотосинтетичного потенціалу з 4 до 2 т/га. Це пояснюється належністю цього сорту до групи інтенсивних, тому зменшення площі листової поверхні та тривалості її функціонування при нехтуванні специфічної сортової технології призводить до різкого недобору урожайності.

Достатньо адекватна реакція на оптимізацію сортової технології вирощування була у сортів Еврідіка, Софія, Писанка. Урожайність насіння у цих сортів зростала зі зростанням фотосинтетичного потенціалу. Коефіцієнт кореляції між цими показниками знаходилась в межах $r=0,766-0,833$, що вказує на необхідність корегування фотосинтетичного потенціалу у цих сортів агротехнічними заходами задля підвищення урожайності насіння.

У сортів Монарх і Арніка кореляція урожайності і фотосинтетичного потенціалу була слабкою, що пока-

зує недостатню ефективність удосконалення сортових технологій задля підвищення фотосинтетичного потенціалу як основного чинника підвищення урожайності. Ці сорти належать групи скоростиглих, тому підвищення урожайності стримується обмеженим терміном функціонування листового апарату.

Кореляційно-регресійні залежності урожайності насіння сої та фотосинтетичного потенціалу за різної щільності ценозу носили більш однозначний характер (рис. 6).

За різних варіантів густоти посіву спостерігалась середня залежність фотосинтетичного потенціалу та урожайності насіння. Дещо більша кореляція спостерігалась за варіантом загущення (900 тис. росл./га, $r=0,704$). Найбільш універсальною щільністю ценозу була густота рослин 700 тис. росл./га, фотосинтетичний потенціал в середньому у сортів перевищував $3,2$ млн m^2 *діб/га, що дозволяло формувати урожайність насіння понад 3,5 т/га. В цілому залежність була схильною до криволінійності. Густота рослин 700 тис. росл./га є найбільш універсальною для різних сортових ресурсів та строків сівби.

Отже, отримані нами експериментальні дані свідчать про ефективність застосування таких елементів технології, як строки сівби та густота рослин задля розкриття потенціалу сортових ресурсів сої. Результати наших досліджень підтверджуються дослідженнями інших вчених щодо удосконалення сортових технологій вирощування сої в інших ґрунтово-кліматичних умовах.

Так, Lamichhane, J.R. зі співавторами [23] спостерігали значні відмінності в польовій схожості насіння сої, габітусу рослин і продуктивності залежно від строків сівби. Ранні строки сівби призводили до певних ризиків формування повноцінного посіву через структуру ґрунту, низькі температури. Пізні строки також під загрозою пересихання верхнього шару ґрунту та прискореного морфогенезу. Дослідженнями Грабовського М.

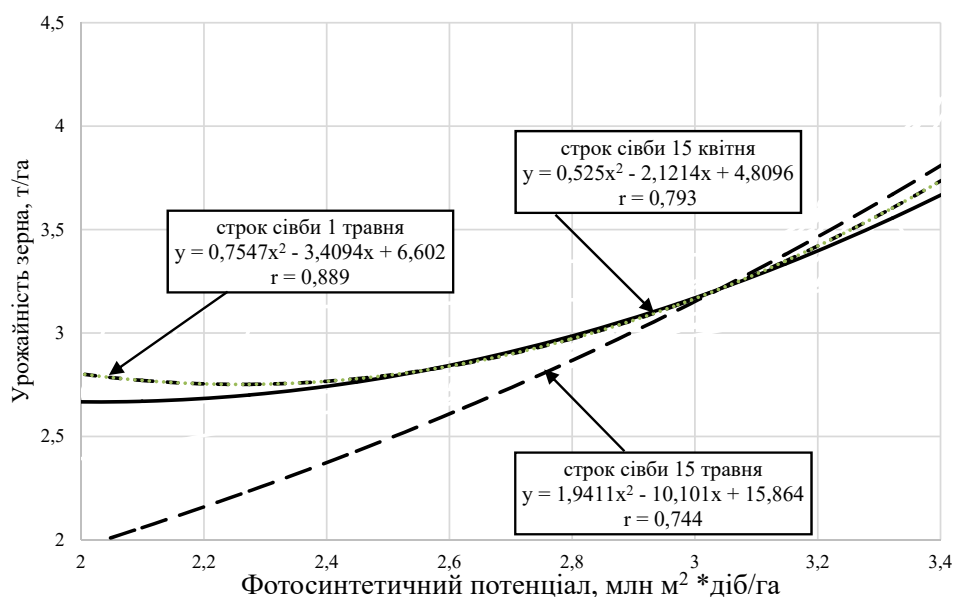


Рис. 4. Кореляційно-регресійні моделі залежності урожайності зерна сортів сої та фотосинтетичного потенціалу за різних строків сівби

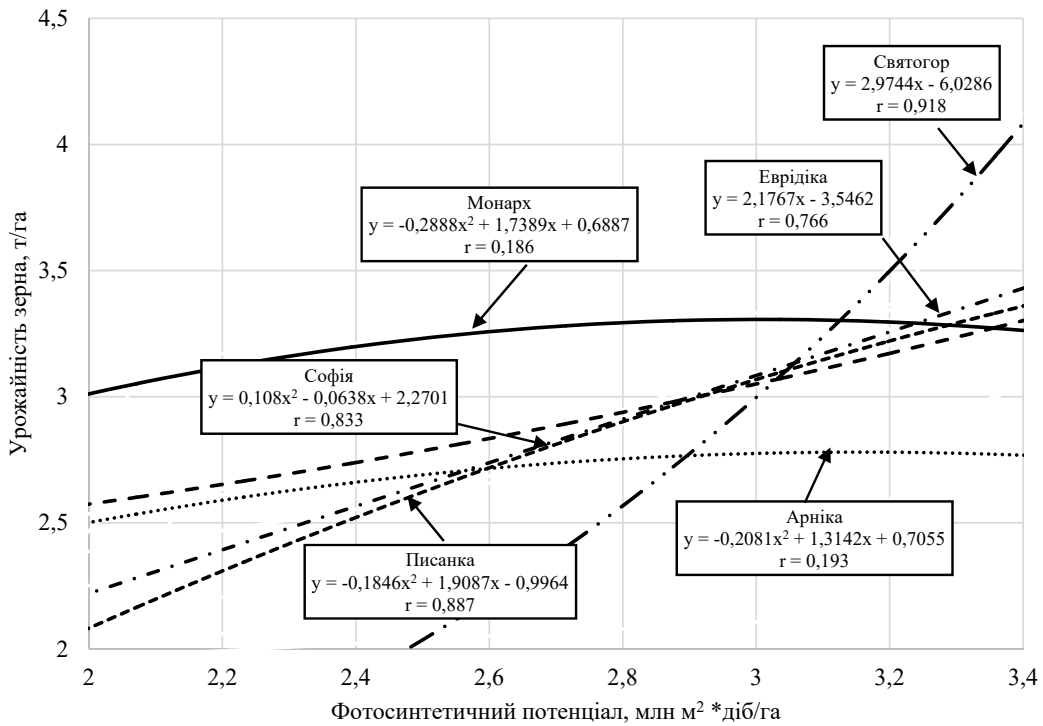


Рис. 5. Кореляційно-регресійні моделі залежності урожайності зерна та фотосинтетичного потенціалу сортів сої різних груп стиглості

зі співавторами [24] доведено, що сівба в непрогрітій ґрунт може позначатись на зниженні польової схожості з причини ураження насіння грибними патогенами. Перенесення строків сівби на більш ранні та пізні також можуть призводити до зміни габітусу рослин сортів сої. Це підтверджується дослідженнями Bastidas, A.M.

зі співавторами [25], в яких було встановлено зміни морфологічних показників, збільшення кількості вузлів та коротших міжвузлів, фотосинтетичних показників. Нашими дослідженнями це було підтверджено на окремих сортах сої, варіації фотосинтетичних показників залежно від строків сівби та щільності ценозу. Нами

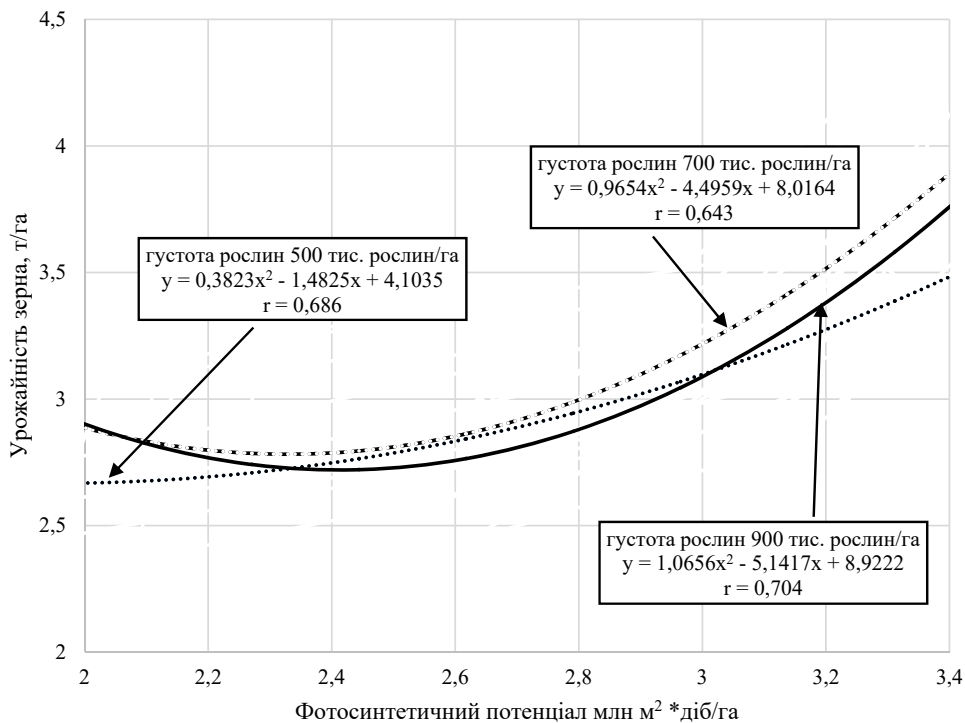


Рис. 6. Кореляційно-регресійні моделі залежності урожайності зерна та фотосинтетичного потенціалу сортів сої за різної густоти рослин

була підтверджена специфічність сортової реакції на різні варіанти агротехнічних заходів. Реакція на строки сівби та щільність ценозу є специфічною для окремих генотипів сої, що необхідно встановлювати польовими дослідженнями. Для кожного сорту сої є специфічний оптимум фотосинтетичних показників, який регулюється переважно густотою рослин та сортовими особливостями. Загалом, проведені нами дослідження підтверджують висновки попередніх досліджень Didora, V., Romantschuk, L. зі співавторами [26] щодо необхідності удосконалення сортових технологій для розкриття генотипового потенціалу продуктивності сої.

Висновки. Впродовж 2019–2021 років всі елементи технології, що досліджуються, значно впливали на фотосинтетичні показники сортів сої різних груп стиглості. Сорти сої суттєво різнилися за показником «площа листкової поверхні». У скоростиглих сортів: Монарх, Арніка площа листкової поверхні становила 26,9–34,3 тис. м²/га, у ранньостиглих сортів Писанка, Софія – 34,0–38,5 тис. м²/га, у середньоранніх сортів Святогор, Еввідіка площа листкової поверхні становила 43,2–48,1 тис. м²/га.

Існує сильна позитивна залежність між площею листкової поверхні у фазу максимальної її прояву та урожайності насіння сої за різних строків сівби. Коефіцієнти кореляції знаходились в межах $r=0,822-0,855$ за всіх строків сівби. Екстраполяція площі листкової поверхні за межі експериментальних даних (максимальна площа у досліджах 49,7 тис. м²/га) дозволяє прогнозувати урожайність насіння сої понад 4,5 т/га.

За різних варіантів густоти посіву спостерігалась сильна і середня залежність площі листкової поверхні та урожайності насіння. Густота рослин 700 тис. росл./га є найбільш універсальною для різних сортових ресурсів та строків сівби.

Розрахунки кореляційно-регресійних моделей залежності фотосинтетичного потенціалу та урожайності насіння сої за різних строків сівби показало, що існує сильна позитивна залежність між цими показниками. За всіх строків сівби спостерігалась сильна кореляція урожайності фотосинтетичним потенціалом у сукупності досліджуваних сортів. Коефіцієнти кореляції знаходились в межах $r=0,744-0,889$, що вказує на необхідність підвищувати технологічними заходами площу листкової поверхні сої.

Кореляційно-регресійні залежності урожайності насіння сої та фотосинтетичного потенціалу за різної щільності ценозу носили однозначний характер. За різних варіантів густоти посіву спостерігалась середня залежність фотосинтетичного потенціалу та урожайності насіння. Найбільш універсальною щільністю ценозу була густота рослин 700 тис. росл./га, фотосинтетичний потенціал в середньому у сортів перевищував 3,2 млн м² *діб/га, що дозволяло формувати урожайність насіння понад 3,5 т/га. Густота рослин 700 тис. росл./га є найбільш універсальною для різних сортових ресурсів та строків сівби.

Отримані експериментальні дані свідчать про ефективність застосування таких елементів технології, як строки сівби та густота рослин задля розкриття потенціалу сортових ресурсів сої.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Гангур В. В., Єремко Л. С., Саєнко В. О. Динаміка формування листкової поверхні чини посівної та продуктивність її фотосинтетичної діяльності залежно від рівня мінерального живлення. *Аграрні інновації*. 2021. № 8. С. 23–28. <https://doi.org/10.32848/agraar.innov.2021.8.3>
2. Ткачук О. П., Дідур І. М., Мазур О. В. Адаптивність, стійкість і продуктивність середньо ранньостиглих сортів сої. *Аграрні інновації*. 2022. № 16. С. 70–79. <https://doi.org/10.32848/agraar.innov.2022.16.12>
3. Srinivasan V., Kumar P., Long S. P. Decreasing, not increasing, leaf area will raise crop yields under global atmospheric change. *Global change biology*. 2017. Vol. 23, Iss. 4. P. 1626–1635.
4. Wu Y., Gong W., Wang Y., Yong T., Yang F., Liu W., Yang, W. Leaf area and photosynthesis of newly emerged trifoliolate leaves are regulated by mature leaves in soybean. *Journal of Plant Research*. 2018. Vol. 131. P. 671–680.
5. Gong W. Z., Jiang C. D., Wu Y. S., Chen H. H., Liu W. Y., Yang W. Y. Tolerance vs. avoidance: Two strategies of soybean (*Glycine max*) seedlings in response to shade in intercropping. *Photosynthetica*. 2015. Vol. 53. P. 259–268.
6. Tagliapietra E.L., Streck N.A., da Rocha T.S.M., Richter G.L., da Silva M.R., Cera J.C., Zanon A.J. Optimum leaf area index to reach soybean yield potential in subtropical environment. *Agronomy Journal*. 2018. Vol. 110, Iss. 3. P. 932–938.
7. Yang F., Fan Y., Wu X., Cheng Y., Liu Q., Feng L., Chen J., Wang Z., Wang X., Yong T., Liu W., Du J., Shu K., Yang, W. Auxin-to-gibberellin ratio as a signal for light intensity and quality in regulating soybean growth and matter partitioning. *Front. Plant. Sci.* 2018a. Vol. 9. 56. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00056>
8. Wu Y., Gong W., Yang, W. Shade inhibits leaf size by controlling cell proliferation and enlargement in soybean. *Sci. Rep.* 2017. Vol. 7. 9259. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10026-5>
9. Yang F., Huang S., Gao R., Liu W., Yong T., Wang X., Wu X., Yang W. Growth of soybean seedlings in relay strip intercropping systems in relation to light quantity and red:far-red ratio. *Field Crop Res.* 2014. Vol. 155. P. 245–253. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.08.011>
10. Yang F., Liao D., Wu X., Gao R., Fan Y., Raza M.A., Wang X., Yong T., Liu W., Liu J., Du J., Shu K., Yang W. Effect of aboveground and belowground interactions on the intercrop yields in maize-soybean relay intercropping systems. *Field Crop Res.* 2017. Vol. 203. P. 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.12.007>
11. Kong D.-X., Li Y.-Q., Wang M.-L., Bai M., Zou R., Tang H., Wu H. Effects of light intensity on leaf photosynthetic characteristics, chloroplast structure, and alkaloid content of *Mahonia bodinieri* (Gagnep.) Laferr. *Acta Physiol. Plant.* 2016. Vol. 38. P. 120. <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2147-1>
12. Wu Y., Gong W., Wang Y., Yong T., Yang F., Liu W., Wu X., Du J., Shu K., Liu J., Liu C., Yang W. Leaf area and photosynthesis of newly emerged trifoliolate leaves are regulated by mature leaves in soybean. *J. Plant. Res.* 2018. Vol. 131. P. 671–680. <https://doi.org/10.1007/s10265-018-1027-8>

13. Yang F., Feng L., Liu Q., Wu X., Fan Y., Raza M.A., Cheng Y., Chen J., Wang X., Yong T., Liu W., Liu J., Du J., Shu K., Yang W. Effect of interactions between light intensity and red-to-far-red ratio on the photosynthesis of soybean leaves under shade condition. *Environ. Exp. Bot.* 2018b. Vol. 150. P. 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.envenxpbot.2018.03.008>
14. Yang F., Wang X., Liao D., Lu F., Gao R., Liu W., Yong T., Wu X., Du J., Liu J., Yang W. Yield response to different planting geometries in maize-soybean relay strip intercropping systems. *Agron. J.* 2015. Vol. 107. P. 296. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0263>
15. Wu Y., Gong W., Yang F., Wang X., Yong T., Yang W. Responses to shade and subsequent recovery of soya bean in maize-soya bean relay strip intercropping. *Plant Prod. Sci.* 2016. Vol. 15. P. 1–9. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2015.1128095>
16. Su B.Y., Song Y.X., Song C., Cui L., Yong T.W., Yang W.Y. Growth and photosynthetic responses of soybean seedlings to maize shading in relay intercropping system in Southwest China. *Photosynthetica.* 2014. Vol. 52. P. 332–340. <https://doi.org/10.1007/s11099-014-0036-7>
17. Slewinski T. L., Braun, D. M. Current perspectives on the regulation of whole-plant carbohydrate partitioning. *Plant Science.* 2010. Vol. 178, Issue 4. P. 341–349. doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.01.010
18. Rijkers T., Pons T.L., Bongers F. The effect of tree height and light availability on photosynthetic leaf traits of four neotropical species differing in shade tolerance. *Funct. Ecol.* 2010. Vol. 14. P. 77–86. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2000.00395.x>
19. Yao X., Li C., Li S., Zhu Q., Zhang H., Wang H., Yu C., Martin S.K.St., Xie F. Effect of shade on leaf photosynthetic capacity, light-intercepting, electron transfer and energy distribution of soybeans. *Plant Growth Regul.* 2017. Vol. 83. P. 409–416. <https://doi.org/10.1007/s10725-017-0307-y>
20. Вожегова Р.А., Лавриненко Ю.О., Марченко Т.Ю., Клубук В.В., Боровик В.О. Створення вихідного матеріалу для селекції сої на адаптивність в умовах зрошення півдня України. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. 180 с.
21. Ушкаренко В.О., Нікіщенко В.Л., Голобородько С.П., Коковихін С.В. Дисперсійний і кореляційний аналіз у землеробстві та рослинництві. Херсон: Айлант, 2008. 270 с.
22. Вожегова Р. А., Лавриненко Ю. О., Малярчук М. П. Методика польових і лабораторних досліджень на зрошуваних землях. Херсон: Грінь Д.С., 2014. 285 с.
23. Lamichhane J. R., Constantin J., Schoving C., Maury P., Debaeke P., Aubertot J.N., Dürr C. Analysis of soybean germination, emergence, and prediction of a possible northward establishment of the crop under climate change. *European Journal of Agronomy.* 2020. Vol. 113. 125972. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125972>
24. Grabovskiy M., Mostypan O., Fedoruk Y., Kozak L., Ostrenko M. Formation of grain yield and quality indicators of soybeans under the influence of fungicidal protection. *Scientific Horizons.* 2023. Vol. 26, Iss. 2. P. 66–76. [https://doi.org/10.48077/scihor.26\(2\).2023.66-76](https://doi.org/10.48077/scihor.26(2).2023.66-76)
25. Bastidas A. M., Setiyono T. D., Dobermann A., Cassman K. G., Elmore R.W., Graef G. L., Specht J. E. Soybean sowing date: The vegetative, reproductive, and agronomic impacts. *Crop Science.* 2008. Vol. 48, Iss. 2. P. 727–740. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.05.0292>
26. Didora V., Romantschuk L., Kliuchevych M., Vyshnivskiy P., Matviichuk N. Varietal features of elements of organic soybean cultivation technology. *Scientific Horizons.* 2022. Vol. 25, Iss. 12. P. 60–68. [https://doi.org/10.48077/scihor.25\(12\).2022.60-68](https://doi.org/10.48077/scihor.25(12).2022.60-68)

REFERENCES:

- Hanhur, V.V., Yeremko, L.S., & Saienko, V.O. (2021). Dynamika formuvannia lystkovoї poverkhni chyny posivnoi ta produktyvnist yii fotosyntetychnoi diialnosti zalezno vid rivnia mineralnoho zhyvlennia [Dynamics of leaf surface formation of grass pea and productivity of its photosynthetic activity depending on the level of mineral nutrition]. *Ahrarni innovatsii*, 8, 23–28. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.8.3> [in Ukrainian].
- Tkachuk, O.P., Didur, I.M., & Mazur, O.V. (2022). Adaptivnist, stiikist i produktyvnist seredno rannostyhllykh sortiv soi [Adaptability, sustainability and productivity of mid-early soybean varieties]. *Ahrarni innovatsii*, 16, 70–79. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.16.12> [in Ukrainian].
- Srinivasan, V., Kumar, P., & Long, S. P. (2017). Decreasing, not increasing, leaf area will raise crop yields under global atmospheric change. *Global Change Biology*, 23(4), 1626–1635.
- Wu, Y., Gong, W., Wang, Y., Yong, T., Yang, F., Liu, W., & Yang, W. (2018). Leaf area and photosynthesis of newly emerged trifoliolate leaves are regulated by mature leaves in soybean. *Journal of Plant Research*, 131, 671–680.
- Gong, W.Z., Jiang, C.D., Wu, Y.S., Chen, H.H., Liu, W.Y., & Yang, W.Y. (2015). Tolerance vs. avoidance: Two strategies of soybean (*Glycine max*) seedlings in response to shade in intercropping. *Photosynthetica*, 53, 259–268.
- Tagliapietra, E.L., Streck, N.A., da Rocha, T.S.M., Richter, G.L., da Silva, M.R., Cera, J.C., & Zanon, A.J. (2018). Optimum leaf area index to reach soybean yield potential in subtropical environment. *Agronomy Journal*, 110(3), 932–938.
- Yang, F., Fan, Y., Wu, X., Cheng, Y., Liu, Q., Feng, L., Chen, J., Wang, Z., Wang, X., Yong, T., Liu, W., Du, J., Shu, K., & Yang, W. (2018a). Auxin-to-gibberellin ratio as a signal for light intensity and quality in regulating soybean growth and matter partitioning. *Front. Plant Sci.*, 9, 56. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00056>
- Wu, Y., Gong, W., & Yang, W. (2017). Shade inhibits leaf size by controlling cell proliferation and enlargement in soybean. *Sci. Rep.*, 7, 9259. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10026-5>
- Yang, F., Huang, S., Gao, R., Liu, W., Yong, T., Wang, X., Wu, X., & Yang, W. (2014). Growth of soybean seedlings in relay strip intercropping systems in relation to light quantity and red:far-red ratio. *Field Crop Res.*, 155, 245–253. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.08.011>
- Yang, F., Liao, D., Wu, X., Gao, R., Fan, Y., Raza, M.A., Wang, X., Yong, T., Liu, W., Liu, J., Du, J., Shu, K., & Yang, W. (2017). Effect of aboveground and belowground interactions on the intercrop yields in maize-soybean relay intercropping systems. *Field Crop Res.*, 203, 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.12.007>

11. Kong, D.-X., Li, Y.-Q., Wang, M.-L., Bai, M., Zou, R., Tang, H., & Wu, H. (2016). Effects of light intensity on leaf photosynthetic characteristics, chloroplast structure, and alkaloid content of *Mahonia bodinieri* (Gagnep.) Laferr. *Acta Physiol. Plant.*, 38, 120. <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2147-1>
12. Wu, Y., Gong, W., Wang, Y., Yong, T., Yang, F., Liu, W., Wu, X., Du, J., Shu, K., Liu, J., Liu, C., & Yang, W. (2018). Leaf area and photosynthesis of newly emerged trifoliolate leaves are regulated by mature leaves in soybean. *J. Plant. Res.*, 131, 671–680. <https://doi.org/10.1007/s10265-018-1027-8>
13. Yang, F., Feng, L., Liu, Q., Wu, X., Fan, Y., Raza, M.A., Cheng, Y., Chen, J., Wang, X., Yong, T., Liu, W., Liu, J., Du, J., Shu, K., & Yang, W. (2018b). Effect of interactions between light intensity and red-to-far-red ratio on the photosynthesis of soybean leaves under shade condition. *Environ. Exp. Bot.*, 150, 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.03.008>
14. Yang, F., Wang, X., Liao, D., Lu, F., Gao, R., Liu, W., Yong, T., Wu, X., Du, J., Liu, J., & Yang, W. (2015). Yield response to different planting geometries in maize-soybean relay strip intercropping systems. *Agron. J.*, 107, 296. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0263>
15. Wu, Y., Gong, W., Yang, F., Wang, X., Yong, T., & Yang, W. (2016). Responses to shade and subsequent recovery of soya bean in maize-soya bean relay strip intercropping. *Plant Prod. Sci.*, 15, 1–9. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2015.1128095>
16. Su, B.Y., Song, Y.X., Song, C., Cui, L., Yong, T.W., & Yang, W.Y. (2014). Growth and photosynthetic responses of soybean seedlings to maize shading in relay intercropping system in Southwest China. *Photosynthetica*, 52, 332–340. <https://doi.org/10.1007/s11099-014-0036-7>
17. Slewinski, T. L., & Braun, D. M. (2010). Current perspectives on the regulation of whole-plant carbohydrate partitioning. *Plant Science*, 178(4), 341–349. doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.01.010
18. Rijkers, T., Pons, T.L., & Bongers, F. (2010). The effect of tree height and light availability on photosynthetic leaf traits of four neotropical species differing in shade tolerance. *Funct. Ecol.*, 14, 77–86. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2000.00395.x>
19. Yao, X., Li, C., Li, S., Zhu, Q., Zhang, H., Wang, H., Yu, C., Martin, S.K.St., & Xie, F. (2017). Effect of shade on leaf photosynthetic capacity, light-intercepting, electron transfer and energy distribution of soybeans. *Plant Growth Regul.*, 83, 409–416. <https://doi.org/10.1007/s10725-017-0307-y>
20. Vozhehova, R.A., Lavrynenko, Y.O., Marchenko T.Y., Klubuk V.V., & Borovyk V.O. (2021). Stvorennia vykhidnoho materialu dlia selektsii soi na adaptyvnykh v umovakh zroshennia pivdnia Ukrainy [Creation of source material for the selection of soybeans for adaptability in the conditions of irrigation in the south of Ukraine]. Kherson: OLDI-PLUS [in Ukrainian].
21. Ushkarenko, V.O., Nikishenko, V.L., Holoborodko, S.P., & Kokovikhin S.V. (2008). Dyspersiinyi i koreliatsiinyi analiz u zemlerobstvi i roslynnystvi [Dispersion and correlation analysis in agriculture and crop production]. Kherson: Ailant [in Ukrainian].
22. Vozhegova, R.A., Lavrynenko, Yu.O., & Malyarchuk, M.P. (2014). Metodyka polovykh i laboratornykh doslidzhen na zroshuvanykh zemliakh [Methods of field and laboratory research on irrigated lands]. Kherson: Gryn D.S. [in Ukrainian].
23. Lamichhane, J.R., Constantin, J., Schoving, C., Maury, P., Debaeke, P., Aubertot, J.N., & Dürr, C. (2020). Analysis of soybean germination, emergence, and prediction of a possible northward establishment of the crop under climate change. *European Journal of Agronomy*, 113, 125972. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125972>
24. Grabovskiy, M., Mostypan, O., Fedoruk, Y., Kozak, L., & Ostrenko, M. (2023). Formation of grain yield and quality indicators of soybeans under the influence of fungicidal protection. *Scientific Horizons*, 26(2), 66–76. [https://doi.org/10.48077/scihor.26\(2\).2023.66-76](https://doi.org/10.48077/scihor.26(2).2023.66-76)
25. Bastidas, A.M., Setiyono, T.D., Dobermann, A., Cassman, K.G., Elmore, R.W., Graef, G.L., & Specht, J.E. (2008). Soybean sowing date: The vegetative, reproductive, and agronomic impacts. *Crop Science*, 48(2), 727–740. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.05.0292>
26. Didora, V., Romantschuk, L., Kliuchevych, M., Vyshnivskiy, P., & Matviichuk, N. (2022). Varietal features of elements of organic soybean cultivation technology. *Scientific Horizons*, 25(12), 60–68. [https://doi.org/10.48077/scihor.25\(12\).2022.60-68](https://doi.org/10.48077/scihor.25(12).2022.60-68)

Іванів М.О., Возняк В.В. Формування асиміляційної листкової поверхні сортів сої залежно від елементів технології в умовах зрошення

Мета статті – проаналізувати вплив елементів технології на площу листкової поверхні, визначити фотосинтетичний потенціал посівів сої сортів різних груп стиглості та розрахувати кореляційно-регресійні моделі їх впливу на урожайність насіння в умовах зрошення.

Методи. Польові, лабораторні, статистичні. До польових належали розбивка дослідної ділянки та польові роботи. Лабораторний метод застосовували для аналізу рослин. Статистичним методом обчислювали результати досліджень. **Результати.** Сорти сої суттєво різнилися за показником «площа листкової поверхні». У скоростиглих сортів: Монарх, Арніка площа листкової поверхні становила 26,9–34,3 тис. м²/га, у ранньостиглих сортів Писанка, Софія – 34,0–38,5 тис. м²/га, у середньоранніх сортів Святогор, Еввідіка площа листкової поверхні становила 43,2–48,1 тис. м²/га. Існує сильна позитивна залежність між площею листкової поверхні у фазу максимальної її прояву та урожайності насіння сої за різних строків сівби. Коефіцієнти кореляції знаходились в межах $r=0,822-0,855$ за всіх строків сівби. Екстраполяція площі листкової поверхні за межі експериментальних даних (максимальна площа у досліді 49,7 тис. м²/га) дозволяє прогнозувати урожайність насіння сої понад 4,5 т/га. Розрахунки кореляційно-регресійних моделей залежності фотосинтетичного потенціалу та урожайності насіння сої за різних строків сівби показало, що існує сильна позитивна залежність між цими показниками. За всіх строків сівби спостерігалась сильна кореляція урожайності фотосинтетичним потенціалом у сукупності досліджуваних сортів. Коефіцієнти кореляції знаходились в межах $r=0,744-0,889$, що вказує на необхідність підвищувати технологічними заходами площу листкової поверхні сої. Кореляційно-регресійні залежності урожайності насіння сої та фотосинтетичного потенціалу за різної щільності ценозу носили однозначний характер. За різних варіантів густоти посіву спостерігалась середня залежність фотосинтетичного потенціалу та урожайності насіння.

Висновки. Впродовж 2019–2021 років всі елементи технології, що досліджуються, значно впливали на фотосинтетичні показники сортів сої різних груп стиглості. Густота рослин 700 тис. росл./га є найбільш універсальною для різних сортових ресурсів та строків сівби. Отримані експериментальні дані свідчать про ефективність застосування таких елементів технології, як строки сівби та густота рослин задля розкриття потенціалу сортових ресурсів сої.

Ключові слова: строк сівби, густота рослин, групи стиглості, урожайність, площа листової поверхні, фотосинтетичний потенціал.

Ivaniv M.O., Vozniak V.V. Formation of the assimilation leaf surface of soybean varieties depending on the elements of technology under irrigation conditions

Purpose. The purpose of the article is to analyze the influence of technology elements on the leaf surface area, to determine the photosynthetic potential of soybean crops of different maturity groups and to calculate correlation-regression models of their influence on seed yield under irrigation conditions. **Methods.** Field, laboratory, statistical. The field work included the layout of the experimental site and field work. The laboratory method was used for plant analysis. Research results were calculated using a statistical method. **Results.** Soybean varieties differed significantly in terms of "leaf surface area". In early varieties: Monarch, Arnica, the leaf surface area was 26.9–34.3 thousand m²/ha, in early ripening varieties Pysanka, Sofia – 34.0–38.5 thousand m²/ha, in mid-early varieties Svyatogor, Eurydika the leaf surface area was 43.2–48.1 thousand m²/ha. There is a strong positive

relationship between the area of the leaf surface in the phase of its maximum manifestation and the productivity of soybean seeds at different sowing times. The correlation coefficients were within $r=0.822-0.855$ for all sowing periods. Extrapolation of the leaf surface area beyond the limits of experimental data (the maximum area in the experiments is 49.7 thousand m²/ha) allows predicting the yield of soybean seeds of more than 4.5 t/ha. Calculations of correlation-regression models of photosynthetic potential and yield of soybean seeds at different sowing times showed that there is a strong positive relationship between these parameters. A strong correlation of productivity with photosynthetic potential was observed for all sowing periods in the totality of studied varieties. The correlation coefficients were in the range of $r=0.744-0.889$, which indicates the need to increase the area of the soybean leaf surface with technological measures. Correlation-regression dependences of soybean seed yield and photosynthetic potential at different census densities were unambiguous. The average dependence of photosynthetic potential and seed yield was observed for different options of sowing density. **Conclusions.** During 2019–2021, all elements of the researched technology had a significant impact on the photosynthetic performance of soybean varieties of different maturity groups. The plant density of 700,000 plants/ha is the most universal for various varietal resources and sowing periods. The obtained experimental data testify to the effectiveness of the application of such elements of technology as sowing dates and plant density in order to reveal the potential of soybean varietal resources.

Key words: sowing period, plant density, maturity groups, productivity, leaf surface area, photosynthetic potential.