




original article | UDC 632.95:581.132:633.34 | doi: 10.31210/visnyk2020.01.09

INFLUENCE OF SOIL AND POST-EMERGENCE HERBICIDES ON THE CONTENT OF PLASTID PIGMENTS AND PRODUCTIVITY OF SOYBEAN PHOTOSYNTHETIC POTENTIAL


O. V. Dykun^{1*}

ORCID  [0000-0001-8378-8646](https://orcid.org/0000-0001-8378-8646)

V. M. Zherebko¹

ORCID  [0000-0001-9988-1837](https://orcid.org/0000-0001-9988-1837)

M. O. Dykun²

ORCID  [0000-0003-4187-0865](https://orcid.org/0000-0003-4187-0865)

¹ National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15, Heroiv Oborony st., Kyiv, 03041, Ukraine

² Institute of Plant Physiology and Genetics of NAS of Ukraine, 31/17, Vasylykivska st., Kyiv, 03022, Ukraine

*Corresponding author

E-mail: allasaker823@gmail.com

The purpose of the research was to find out the nature of the effect of herbicide mixtures on soybean photosynthetic mechanism and the productivity of sowing. The experiment options included: control without weeding; control with two hand weeding; Primexstra TZ Gold (*S*-metolachlor, 312.5 g/l + terbuthylazine, 187.5 g/l), 4.5 l/ha; Zencor (metribuzin, 700 g/l) + Command (clomazone, 480 g/l), 0.4 l/ha+0.2 l/ha; Bazagran (bentazone, 480 g/l) + Harmony (thifensulfuron-methyl, 750 g/kg), 2.5 l/ha+0.008 kg/ha. The effectiveness of the preparations was researched in the field experiment at the separated subdivision of NUBiP of Ukraine "Agronomic Research Station" using the traditional technology for the Forest-Steppe zone of Ukraine. Soil herbicides were applied before seedlings' emergence, and after it – when the first true leaf appeared. The pigment content was determined spectrophotometrically after extraction with DMSO (dimethyl sulfoxide) according to the method of A. Wellburn (1994). Statistical processing of received values was performed by using Excel 2016 software package. It was found that under the action of herbicides, the content of total chlorophyll in soybean leaves was by 15–20 % higher than in the control without weeding. At the same time, the phytotoxic effect of herbicides led to a decrease in the content of chlorophylls in comparison with the non-herbicidal control at double hand weeding. Furthermore, a simultaneous increase in the content of carotenoids was fixed, and it was obviously a reaction of the plants to the induced oxidative stress, resulting in inhibiting pigments' biosynthesis. However, stress factors ensured a significant activation of photosynthetic processes, which was confirmed by the increase in a ratio of basic photosynthetic pigments. Using tank mixtures of herbicides, the ratio of *a*, *b* chlorophylls was twice as much as in both controls. The activation of the plants' photosynthetic apparatus under the action of herbicides led to the accumulation of optimal photosynthetic potential (PP) of sown areas and ensured their higher productive capabilities. In the variant where tank mixtures of Zencor + Command and Bazagran + Harmony were used, the productivity of the PP (PPP) made 1.16 and 1.45 kg of yield per 1,000 of PP units, which was higher than the control without weeding by 28 % and 42 %, respectively. Thus, the applying of tank mixtures of selective soil and post-emergence herbicides favored the activation of photosynthetic processes in soybean plants and ensured productivity indices at the level of non-herbicidal background with hand weeding.

Key words: soybean, soil and post-emergence herbicides, tank mixtures, plastid pigments, photosynthetic potential, productivity.

ВПЛИВ ҐРУНТОВИХ І ПІСЛЯСХОДОВИХ ГЕРБИЦИДІВ НА ВМІСТ ПЛАСТИДНИХ ПІГМЕНТІВ ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ ФОТОСИНТЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ СОЇ

О. В. Дикун¹, В. М. Жеребко¹, М. О. Дикун²

¹ Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

² Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, м. Київ, Україна

Мета досліджень полягала у з'ясуванні характеру впливу гербицидних сумішей на фотосинтетичний апарат сої та продуктивні можливості посіву. Варіанти досліду включали: Контроль без прополовань; Контроль з 2-ма ручними прополованнями; Примекстра TZ Голд (к.с., 312,5 г/л S-метолахлору + 187,5 г/л тербутилазину), 4,5 л/га; Зенкор (к.с., 700 г/л метрибузину) + Комманд (к.е., 480 г/л кломазону), 0,4 л/га + 0,2 л/га; Базагран (в.р., 480 г/л бентазону) + Хармоні (в.д.г., 750 г/кг тифенсульфурон-метилу), 2,5 л/га + 0,008 кг/га. Ефективність препаратів досліджували в умовах польового досліду в ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» за традиційної технології вирощування для Лісостепової зони України. Ґрунтові гербициди вносили до появи сходів, післясходові – за появи першого справжнього листка. Вміст пігментів визначали спектрофотометрично після екстракції з ДМСО (диметилсульфоксидом) за методикою А. Wellburn (1994). Встановлено, що за дії гербицидів вміст сумарного хлорофілу в листках сої був на 15–20 % вищим, ніж на контролі без прополовань. Водночас фітотоксичний вплив гербицидів призводив до зниження вмісту хлорофілів при порівнянні з безгербицидним контролем за використання дворазового ручного прополовання. При цьому фіксувалось одночасне зростання вмісту каротиноїдів, що, очевидно, є реакцією організму на індукований окислювальний стрес, наслідком якого є гальмування біосинтезу пігментів. Втім, стресові чинники забезпечили суттєву активізацію фотосинтетичних процесів, що підтверджується ростом співвідношення основних фотосинтетичних пігментів. За використання бакових сумішей гербицидів відношення хлорофілів а і b в двічі перевищувало цей показник на обох контролях. Активізація роботи фотосинтетичного апарату рослин за дії гербицидів обумовила накопичення оптимального фотосинтетичного потенціалу (ФП) посіву та забезпечила його вищі продуктивні можливості. На варіанті із застосуванням сумішей Зенкор+Комманд та Базагран+Хармоні продуктивність ФП склала 1,16 та 1,45 кг господарського врожаю на 1 тис. одиниць ФП, що вище контролю без прополовань відповідно на 28 % та 42 %. Отже, застосування бакових сумішей селективних ґрунтових та післясходових гербицидів сприяло активізації фотосинтетичних процесів у рослин сої та забезпечувало продуктивні показники на рівні безгербицидного фону із застосуванням ручних прополовань.

Ключові слова: соя, ґрунтові та післясходові гербициди, бакові суміші, пластидні пігменти, фотосинтетичний потенціал, продуктивність.

ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННЫХ И ПОСЛЕВСХОДОВЫХ ГЕРБИЦИДОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ПЛАСТИДНЫХ ПИГМЕНТОВ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА СОИ

А. В. Дыкун¹, В. М. Жеребко¹, М. О. Дыкун²

¹ Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев, Украина

² Институт физиологии растений и генетики НАН Украины, г. Киев, Украина

Изучалось влияние гербицидов на содержание фотосинтетических пигментов и продуктивные возможности сои. Установлено, что под влиянием баковых смесей почвенных и послеवсходовых гербицидов – Зенкора (к.с., метрибузин, 0,4 л/га) и Комманда (к.э., кломазон, 0,2 л/га), а также Базагранна (в.р, бентазон, 2,5 л/га) и Хармони (в.д.г., тифенсульфурон-метил, 0,008 кг/га) уровень суммарного хлорофилла увеличивался на 15–20 % по сравнению с контролем без прополк. Активизация фотосинтетических процессов в растениях способствовала накоплению оптимального фотосинтетического потенциала (ФП) посева и увеличению его продуктивности (ПФП) на 28–42 %.

Ключевые слова: соя, почвенные и послевсходовые гербициды, баковые смеси, пластидные пигменты, фотосинтетический потенциал, продуктивность.

Вступ

Відомо, що урожайність сільськогосподарських культур істотно залежить від ефективності фотосинтетичної діяльності посівів [5]. Інтенсивність фотосинтетичних процесів у рослинах визначається кількістю синтезованих у хлоропластах пігментів, що беруть безпосередню участь у виробництві енергії для росту й розвитку рослин [1]. Найважливішими фотосинтетичними пігментами є хлорофіли, а тому позитивна кореляція між їх вмістом у листках і фотосинтезом призводить до росту продуктивності рослин [13].

Важливим елементом сучасних інтенсивних технологій вирощування сої є застосування гербіцидів [8], що здатні активно впливати на утворення, функціонування та розпад пластидних пігментів [12]. Значне зниження вмісту хлорофілу в листках за дії різноманітних чинників є важливим індексом стресу [16]. Доведено, що пігментний комплекс є також одним із дієвих механізмів протидії фітотоксичним впливам на клітинному рівні [21]. Суттєву роль у цих процесах відіграють каротиноїди, що є структурними компонентами фотосинтетичних систем і беруть участь у механізмах захисту від окислювального стресу [24, 28]. Стресові умови спричиняють виробництво АФК (активних форм кисню), таких як супероксид та пероксид водню, що можуть призводити до руйнування фотосинтетичних пігментів [17]. Знешкодження і детоксикація сполук АФК забезпечує захист рослин від окислювального стресу [14, 19]. Отже, вміст і співвідношення пластидних пігментів є ґрунтовним показником фізіологічного стану рослин, індикатором захисних і адаптивних можливостей рослинного організму та потенційної продуктивності культури.

У літературі є достатньо наукових даних, що підтверджують різносторонній вплив гербіцидів на вміст фотосинтетичних пігментів і їх роль у визначенні рівня такого впливу на продуктивність культури [3, 6, 15, 22]. Водночас це питання залишається недостатньо вивченим і потребує подальших досліджень у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах.

У цьому аспекті вивчення особливостей функціонування пігментного комплексу рослин за дії гербіцидних сумішей є важливим і дає змогу виявити рівень впливу хімічних стресорів на потенційні продуктивні можливості агроценозу.

Метою наших досліджень було з'ясувати характер впливу бакових сумішей ґрунтових та післясходових гербіцидів на накопичення пластидних пігментів у листках сої як фактора фотосинтетичної продуктивності посіву.

Завдання дослідження. Зважаючи на вищевикладене, було поставлене завдання відслідкувати кількісні взаємозв'язки накопичення фотосинтетичних пігментів за дії бакових гербіцидних сумішей, виявити та проаналізувати можливості використання стресових реакцій сої як показників фізіологічного стану рослин та індикаторів стресу.

Матеріали і методи досліджень

Вивчення впливу гербіцидних сумішей проводили в умовах польового досліді впродовж 2017–2018 рр. на дослідному полі лабораторії селекції та насінництва ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» в селі Пшеничне Васильківського району Київської області. Ґрунт – чорнозем типовий малогумусний середньосуглинковий з вмістом гумусу 4,43 % (за Тюрнімом), рН сольової витяжки – 6,1–7,0, ємність поглинання – 319 мг-екв на 1 кг ґрунту, вміст легкогідролізованого азоту (за Корнфільдом) – 106–114 мг на 1 кг ґрунту.

Схема досліді:

1. Контроль – без гербіцидів.
2. Контроль – з 2-ма ручними прополюваннями.
3. Примекстра TZ Голд (к.с., 312,5 г/л S-метолахлору + 187,5 г/л тербутилазину), 4,5 л/га.
4. Зенкор (к.с., 700 г/л метрибузину) + Комманд (к.е., 480 г/л кломазону), 0,4 л/га + 0,2 л/га.
5. Базагран (в.р., 480 г/л бентазону) + Хармоні (в.д.г., 750 г/кг тифенсульфурон-метилу), 2,5 л/га + 0,008 кг/га.

Розміщення ділянок – систематичне. Повторність триразова. Облікова площа ділянок – 25 м². Іноккульоване насіння сої сорту Медісон висівали в першій декаді травня сівалкою Great Plains 3P606NT зі встановленою нормою близько 500 тис. схожих насінин на 1 гектар. Агротехніка в досліді загальноприйнята для зони Лісостепу України.

Гербіциди вносили ручним ранцевим оприскувачем Foresta BS-125 з нормою витрати робочої рідини 300 л/га згідно зі схемою досліді у два періоди:

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. РОСЛИННИЦТВО

- Грунтові гербіциди – через 3–4 дні після сівби під досходове боронування;
- Післясходові – з появою першого справжнього листка в рослин сої.

Відбір зразків для лабораторних аналізів проводили двічі за вегетацію у фазах цвітіння та наливу бобів. Вміст фотосинтетичних пігментів визначали методом їх екстракції за допомогою ДМСО (диметилсульфоксиду) з подальшою спектрометрією та перерахунком за відповідними формулами [27]. Площу загальної асиміляційної поверхні листків визначали за методикою А. Н. Ничипоровича [4]. Продуктивність фотосинтетичного потенціалу визначали за методикою В. Т. Синеговської та М. В. Толмачова [7]. Статистичну обробку отриманих даних проводили методом дисперсійного аналізу однофакторного досліду за Б. О. Доспеховим [2] з використанням пакету програм MS Excel-2016.

Результати досліджень та їх обговорення

Гербіциди як біологічно активні речовини вчиняють подвійну дію на культурні рослини – позитивну (через знищення бур'янів і створення більш сприятливих умов для росту й розвитку) і негативну (безпосередній фітотоксичний вплив на життєві функції організму). Застосування сучасних високоселективних гербіцидів сприяє суттєвому зростанню врожайності за мінімального рівня інтоксикації.

Як свідчать результати досліджень, внесення ґрунтових і післясходових гербіцидів забезпечувало ефективний захист посівів сої, знижуючи загальну чисельність бур'янової популяції на 83–86 %, що майже рівноцінно дворазовому ручному прополюванню (табл. 1).

1. Ефективність дії гербіцидів на забур'яненість та урожайність сої (середнє за 2017–2018 рр.)

Варіанти	Загибель бур'янів, %			Урожайність, т/га	Збережений урожай	
	всього	зокрема			т/га	%
		злакових	дводольних			
Контроль без прополок	51,6 0	15,8 0	35,8 0	1,84	-	-
Ручні прополки	92	84	95	3,05	1,21	66
Примекстра TZ Голд	83	74	87	2,63	0,79	43
Зенкор+Комманд	86	79	90	3,08	1,24	67
Базагран+Хармоні	86	76	91	3,28	1,44	78
НІР05				0,41		

За ефективного контролювання бур'янів продуктивність сої на гербіцидних варіантах була вищою обох контролів зі збереженням 67–78 % потенційного урожаю.

Продуктивність посіву залежить від ефективності функціонування фотосинтетичного апарату, вмісту і співвідношення фотосинтетичних пігментів, на які істотно впливають умови вирощування культури. За дії агротехнічних факторів відбуваються відповідні зміни в біосинтезі пігментів, що може використовуватися як чутливий індикатор фізіологічного стану рослин. Значні зміни у співвідношенні біохімічних сполук в організмі можуть призводити до зниження урожайності та якості сільськогосподарської продукції [26].

Основними фотосинтетично дієвими компонентами листків є хлорофіли, а їх вміст та співвідношення є важливим показником фотохімічної активності пігментного комплексу [6]. Результатами визначення вмісту зелених пігментів у листках сої встановлено, що в разі зменшення забур'яненості кількість хлорофілів а і b була достовірно вищою контрольного варіанту без прополювань (табл. 2).

У фазу цвітіння сумарний вміст хлорофілів на гербіцидних варіантах на 6–16 % перевищував аналогічний показник у контролі.

Зростання сумарного вмісту хлорофілу відбувалося через синтез хлорофілу а, рівень хлорофілу b значно менше залежав від присутності бур'янів.

Загальний вміст пластидних пігментів суттєво залежав від періоду вегетації культури. З початком наливу бобів метаболізм рослин перебудовується з одночасним зниженням вмісту фотосинтетичних пігментів.

Незважаючи на деяку активізацію утворення і накопичення хлорофілів за дії гербіцидів, максимальні їх кількості фіксували на безгербіцидному фоні за механічного контролювання бур'янів, що, очевидно, пояснюється їх певним токсичним впливом на рослини. Такі висновки цілком узгоджуються з результатами багатьох дослідників, що вказують на достовірне зниження вмісту хлорофілів у ли-

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. РОСЛИНИЦТВО

стках сої за гербіцидного впливу [15, 22, 25], трактуючи отримані дані гальмуванням біосинтезу пігментів та їх руйнуванням за дії окислювального стресу.

2. Вміст фотосинтетичних пігментів у листках сої за дії гербіцидів (середнє за 2017–2018 рр.)

Варіант досліджу	Вміст фотосинтетичних пігментів, мг/г сирової речовини							
	Фаза цвітіння і формування бобів				Фаза наливу бобів			
	Хлорофіл		Σ хлорофілів	Каротиноїди	Хлорофіл		Σ хлорофілів	Каротиноїди
	a	b			a	b		
Без гербіцидів	1,69	0,49	2,18	0,54	1,70	0,51	2,21	0,38
Ручні прополки	2,15	0,73	2,88	0,62	1,77	0,57	2,34	0,36
Примекстра TZ Голд	2,00	0,60	2,60	0,66	1,59	0,37	1,96	0,35
Зенкор + Комманд	1,84	0,49	2,33	0,56	2,50	0,43	2,93	0,41
Базагран + Хармоні	1,82	0,49	2,31	0,62	2,27	0,38	2,65	0,40
НІР ₀₅	0,05	0,04	-	0,02	0,02	0,04	-	0,03

Виникнення в рослин індукованого окислювального стресу підтверджується й підвищеними рівнями каротиноїдів, що беруть участь в адаптивно-захисних реакціях організму [1]. Збільшення вмісту β-каротину нейтралізує руйнівну дію високоактивного синглетного кисню, що неконтрольовано зростає під впливом хімічних стресорів, та захищає хлорофіл від фотоокислення [18]. Доказове кількісне збільшення каротиноїдів фіксували за внесення гербіциду Примекстра TZ Голд як еталонного препарату для встановлення ефективності гербіцидних сумішей. Відчутне пригнічення сої за фітотоксичної дії цього гербіциду не лише помітно вплинуло на вміст пластидних пігментів, а й призводило до морфологічних змін рослин: зменшення висоти й підвищення галузнення. Однак завдяки активній детоксикації препарату це істотно не вплинуло на продуктивність культури. Отже, підвищення рівня каротиноїдів указує на активне функціонування фотосинтетичного апарату рослин, що й забезпечує їх резистентність.

В оцінюванні ефективності фотосинтетичних процесів і, зокрема, функціонування пігментного комплексу, дуже інформативним є співвідношення зелених пігментів, що пов'язане з активністю основного фотопігменту – хлорофілу а: чим воно вище, тим вища інтенсивність фотосинтезу [9]. Дослідження свідчать про позитивний вплив гербіцидів на співвідношення хлорофілів і активність продуктивних процесів у сої (рис. 1).

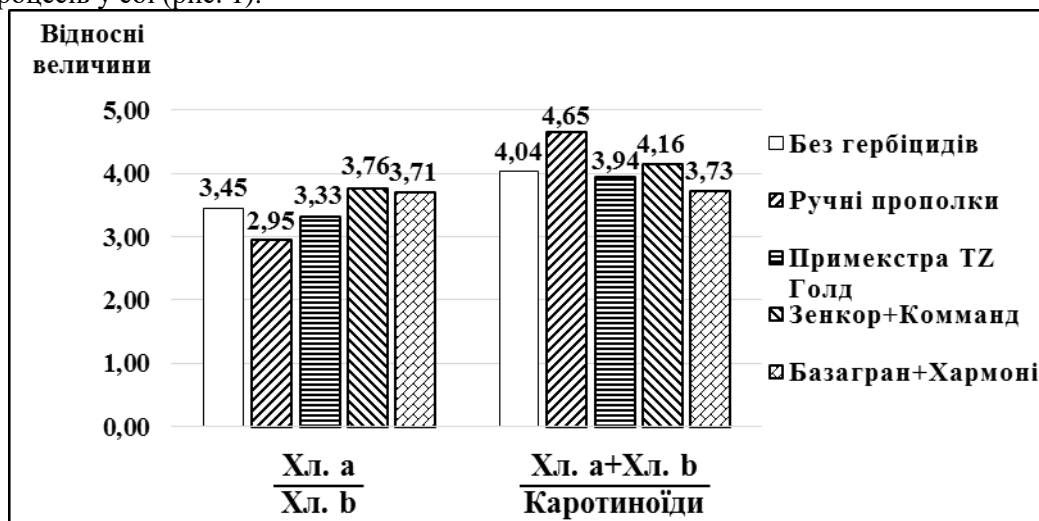


Рис. 1. Співвідношення вмісту фотосинтетичних пігментів у листках сої за дії гербіцидів у фазі цвітіння (середнє за 2017–2018 рр.)

На всіх гербіцидних варіантах інтенсивність асиміляційних процесів була вищою в обох контрольних варіантах, зокрема й у разі ручних прополовань.

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. РОСЛИННИЦТВО

Особливо відчутною ця різниця була у фазу наливу бобів, де відношення Хл. а : Хл. б за використання бакових сумішей перевищувало контрольні показники на 43–48 % (рис. 2).

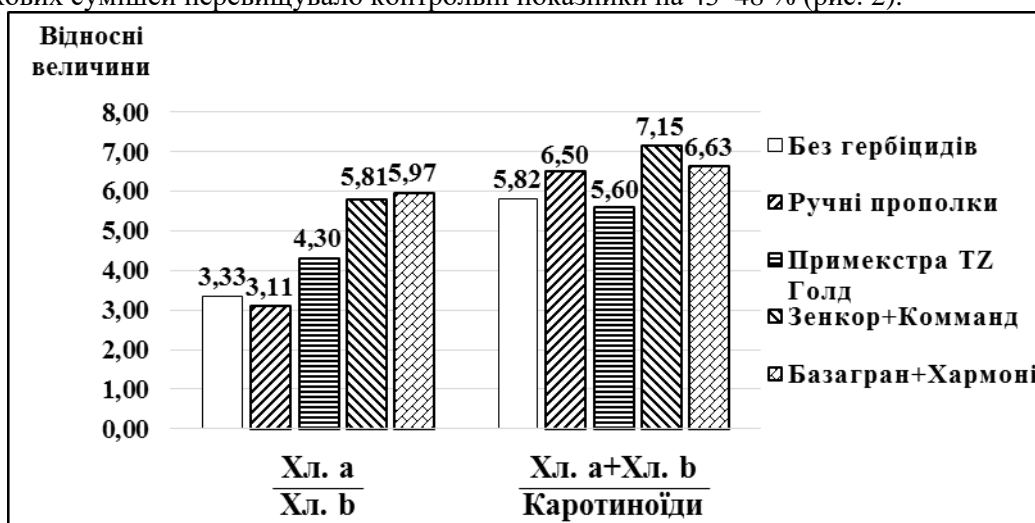


Рис. 2. Співвідношення вмісту фотосинтетичних пігментів у листках сої за дії гербіцидів у фазі наливу бобів (середнє за 2017–2018 рр.)

Підвищення співвідношення хлорофілів за дії гербіцидів може трактуватися, як зростання функціональної активності фотосинтетичного апарату [11]. Варто зазначити, що за стрімкого зниження рівня основних фотосинтетичних пігментів у цю фазу, активність фотосинтетичних процесів не тільки не знизилась, а й дещо підвищилася порівняно з періодом цвітіння.

Не менш важливим для характеристики фізіологічного стану рослин і їх здатності протистояти дії стресових чинників є співвідношення хлорофілів і каротиноїдів. За нормальних умов цей показник досить стабільний, однак чутливо реагує на екстремальні фактори середовища [10]. У фазу цвітіння максимальне співвідношення хлорофілу і каротиноїдів відмічали на контролі з ручними прополюваннями. Близьким до контролю був цей показник за внесення бакової суміші Зенкору та Комманду, проте істотно нижчим за використання суміші Базаграну і Хармоні (на 20 %) і Примекстра ТЗ Голд (на 15 %), що вказує на вищу інтоксикацію рослин та збільшення відносного рівня каротиноїдів для нейтралізації окислювального стресу. З наливом бобів співвідношення пігментів вирівнялось і наблизилось до контролю, однак значно (в 1,3–1,6 раза) виросли абсолютні показники цього співвідношення, що свідчить про зниження захисних можливостей організму в період активного формування урожаю і, зокрема, надійності захисту хлорофілів від фотоокислення. При покращенні умов для росту й розвитку сої за використання гербіцидів спостерігалось збільшення відношення хлорофілу до каротиноїдів. У разі ефективного знищення бур'янів гербіцидами цей показник досяг рівня контролю з ручними прополюваннями, що свідчить про високі адаптивні можливості сої, з однієї сторони, і зниження надійності захисту хлорофілів від фотодеструкції, з іншої. Мінімального рівня цей показник досяг у варіанті із внесенням гербіциду Примекстра ТЗ Голд, де відношення хлорофілу до каротиноїдів виявилось на 4 % меншим контролю без прополювань. Указане співвідношення зменшилось через суттєве підвищення рівня каротиноїдів у разі токсичного впливу гербіциду.

Фотосинтетична продуктивність посіву суттєво залежить від його загальної асиміляційної поверхні і тривалості її активного функціонування. Обидва показники об'єднує фотосинтетичний потенціал (ФП), що характеризує потужність асиміляційного апарату за певний період вегетації і є дуже важливим для оцінки потенційної продуктивності посіву [20, 23]. Нагромадження оптимального ФП залежить від низки факторів, серед яких важливе місце відводиться ефективності системи захисту культури від бур'янів.

Бакові гербіцидні суміші сприяли формуванню значного ФП, близького до контролю з ручними прополюваннями (рис. 3).

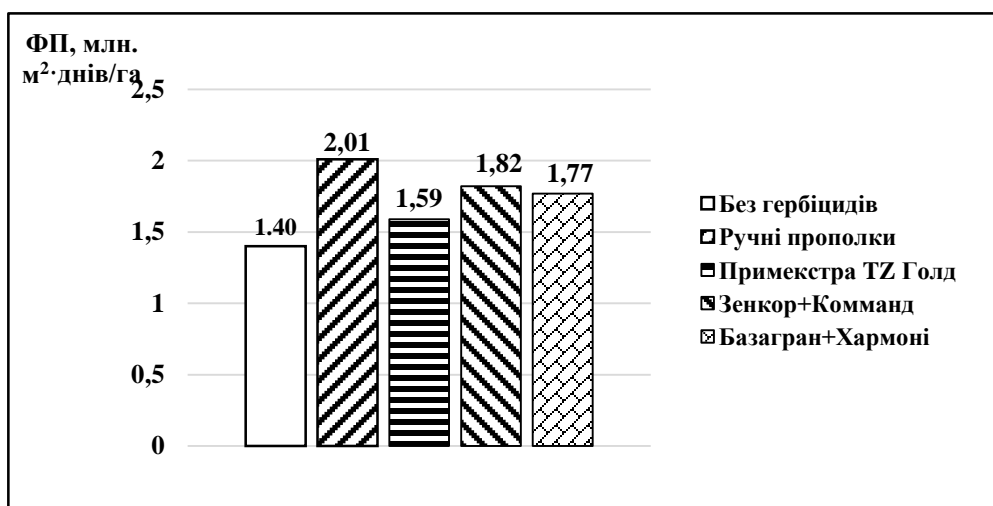


Рис. 3. Фотосинтетичний потенціал (ФП) посіву сої за дії гербіцидів (середнє за 2017–2018 рр.)

Зокрема, застосування суміші Зенкор+Комманд забезпечило нагромадження ФП на рівні 1,82 млн м²·днів/га, що становить 91% від контролю, а суміші Базагран+Хармоні – 1,77 млн м²·днів/га і 88%, і свідчить про високий продуктивний потенціал рослин, втім реалізація якого неможлива без ефективної роботи фотосинтетичного апарату. Об’єктивну оцінку ефективності його функціонування встановлюють за продуктивністю фотосинтетичного потенціалу (ПФП), що характеризує величину накопичення органічної речовини в репродуктивних органах рослин на одиницю фотосинтетичного потенціалу [7] і дає змогу виявити агротехнічні заходи, що забезпечують максимальну продуктивність ФП.

Для визначення ПФП використовували господарську продуктивність сої, виражену в кілограмах.

Отримані результати свідчать, що ефективність продукційних процесів значною мірою визначається ступенем захисту посівів сої від негативного впливу бур’янів. Ефективний контроль сегетальної рослинності за використання гербіцидних сумішей забезпечив показники ПФП на рівні 1,58–1,76 кг на 1 тис. одиниць ФП (рис. 4).

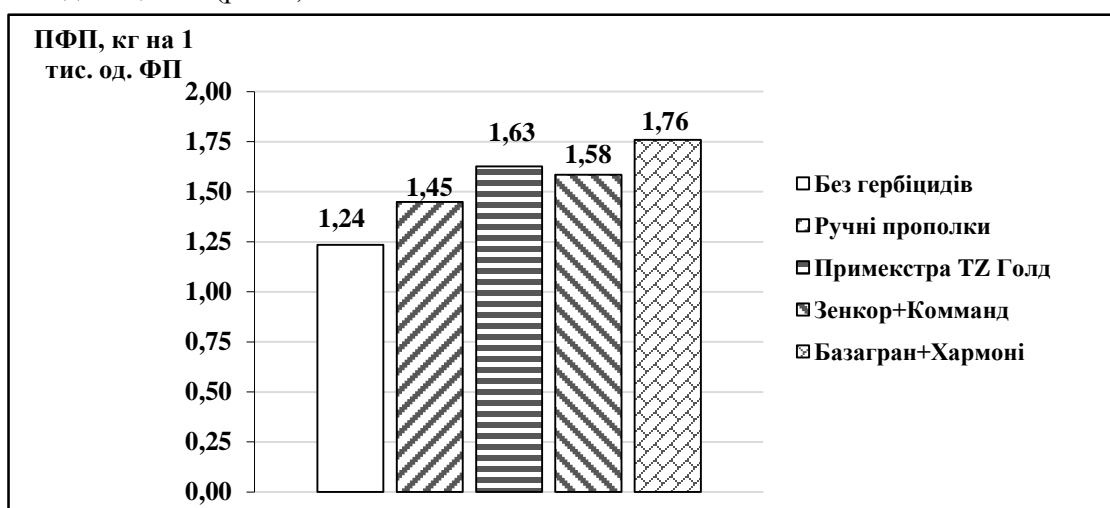


Рис. 4. Продуктивність фотосинтетичного потенціалу (ПФП) сої при застосуванні гербіцидів (середнє за 2017–2018 рр.)

У разі використання бакової суміші Зенкору та Комманду цей показник був на 22% вищий контролю без прополювань і на 8% контролю з ручним прополюванням, а суміші Базаграну і Хармоні – відповідно 30 і 18%.

Висновки

Потрібно вважати раціональним застосування бакових сумішей селективних гербіцидів для ефективного захисту від бур'янів у посівах сої. Для повноцінного аналізу їх впливу варто брати до уваги індикативні фізіологічні показники фотосинтетичної продуктивності рослин, серед яких найбільш інформативними та надійними є вміст і співвідношення фотосинтетичних пігментів, які характеризують пластичність і стійкість фотосинтетичного апарату рослин за дії стресових агентів та дають змогу точно й об'єктивно оцінити рівень їх фітотоксичного впливу на культурні рослини.

Перспективами подальшої роботи в цьому напрямі є вивчення дво- та багатокомпонентних гербіцидних композицій, зокрема з мікродобривами та біостимуляторами росту рослин з метою більш ефективного захисту посівів сої від бур'янів та зменшення токсичного впливу на агрофітоценоз.

References

1. Veselovska, L. I., & Кос, S. Ya. (2014). Vpliv riznih sposobiv zastosuvannya lektinu na simbiotichni sistemi soya – *Bradyrhizobium japonicum*, sformovani v umovah optimalnogo ta nedostatnogo vodozabezpechennya. *Fiziologiya Rastenij i Genetika*, 46 (5), 437–446 [In Russian].
2. Dosepov, B. A. (1985). *Metodika polevogo opyta*. Moskva: Agropromizdat [In Russian].
3. Karpenko, V. P. (Ed.). (2012). *Biologichni osnovy intehrovanoi dii herbitsydiv i rehuliatoriv rostu roslyn*. Uman: Vydavets «Sochinskyi» [In Ukrainian].
4. Nichiporovich, A. A., Strogonova, L. E., Chmora, S. N., & Vlasova, G. P. (1961). *Fotosinteticheskaya deyatel'nost rastenij v posevah*. Moskva: Izdatelstvo AN SSSR [In Russian].
5. Pashchenko, O. I. (2009). Formuvannya asymiliatsiinoi lystkovoї poverkhni zalezno vid sposobiv osnovnogo obrobittu gruntu ta rivnia mineralnogo zhyvlennia. *Biuletyn Instytutu Zernovoho Hospodarstva UAAN*, 37, 1–5 [In Ukrainian].
6. Pidan, L. F. (2017). Fiziologichne obgruntuvannya zastosuvannya herbitsydiv i rehuliatora rostu roslyn u posivakh soniashnyka v Pravoberezhnomu Lisostepu Ukrainy. *Extended abstract of candidate's thesis*. Uman [In Ukrainian].
7. Sinegovskaya, V. T., & Tolmachev, M. V. (2015). Patent № 2013129655/13 RF. № 2539634. Moskva: Federalnaya sluzhba po intelektualnoj sobstvennosti [In Russian].
8. Tanchyk, S. P., & Myhlovets, O. P. (2015). Optyimizatsiia kontroliu zaburianenosti posiviv soi za riznykh system zemlerobstva u Pravoberezhnomu Lisostepu Ukrainy. *Visnyk Poltavskoi Derzhavnoi Ahrarnoi Akademii*, 4, 22–28. doi: 10.31210/visnyk2015.04.05 [In Ukrainian].
9. Tarasenko, S. A., & Karpach, E. B. (2016). Izmenenie fiziologicheskikh pokazatelej rastenij yarovykh zernovykh kultur pri intensivnykh tehnologiyah vozdeleyvaniya. In V. K. Pestisa (Red.) *Selskoe hozyajstvo – problemy i perspektivy: sbornik nauchnykh trudov Tom 1. Agronomiya*. (s. 499–503). Grodno: Grodnenskiy Gosudarstvennyy Agrarnyj Universitet [In Russian].
10. Tarchevskij, I. A., & Andrianova, Yu. E. (1980). *Soderzhanie pigmentov kak pokazatel moshnosti razvitiya fotosinteticheskogo apparata u pshenicy*. *Fiziologiya rastenij: Tom 27 (2)*. Moskva: Nauka [In Russian].
11. Tyutyayev, E. V., Shutova, V. V., Maksimov, G. V., Radenovich, Ch.N., & Grodzinskiy, D. M. (2015). Sostoyanie fotosinteticheskikh pigmentov v listyakh inbrednykh liniy i gibridov kukuruzy. *Fiziologiya Rastenij i Genetika*, 47 (2), 147–159 [In Russian].
12. Chumak, A. (2017). Pryntsypy dii herbitsydiv, abo yak zrobyty pravylnyi vybir. *Propozytsiia*, 12, 126–128 [In Ukrainian].
13. Cannella, D., Möllers, K. B., Frigaard, N.-U., Jensen, P. E., Bjerrum, M. J., Johansen, K. S., & Felby, C. (2016). Light-driven oxidation of polysaccharides by photosynthetic pigments and a metalloenzyme. *Nature Communications*, 7 (1). doi: 10.1038/ncomms11134.
14. Cheynier, V., Comte, G., Davies, K. M., Lattanzio, V., & Martens, S. (2013). Plant phenolics: recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology. *Plant Physiology and Biochemistry*, 72, 1–20. doi: 10.1016/j.plaphy.2013.05.009.
15. Darwish, M., Lopez-Lauri, F., & Sallanon, H. (2013). Study of photosynthesis process in the presence of low concentrations of clomazone herbicide in tobacco (*Nicotiana tabacum*). *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 9, 229–245.

16. Dehshiri, O., & Paknyat, H. (2014). Evaluation of Oilseed Rape Genotypes (*Brassica napus* L.) Based on Chlorophyll and Carotenoids Contents and Antioxidant Enzymes under Drought Stress Conditions. *Journal of Crop Production and Processing*, 3 (10), 69–77.
17. Esfandiari, E., Shekari, F., Shekari, F., & Esfandiari, M. (2007). The effect of salt stress on antioxidant enzymes activity and lipid peroxidation on the wheat seedling. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj Napoca*, 35, 48–56. doi: 10.15835/nbha.35.1.251.
18. Foyer, C. H., & Shigeoka, S. (2010). Understanding Oxidative Stress and Antioxidant Functions to Enhance Photosynthesis. *Plant Physiology*, 155 (1), 93–100. doi: 10.1104/pp.110.166181.
19. Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48 (12), 909–930. doi: 10.1016/j.plaphy.2010.08.016.
20. Gitelson, A. A., Keydan, G. P., & Merzlyak, M. N. (2006). Three-band model for noninvasive estimation of chlorophyll, carotenoids, and anthocyanin contents in higher plant leaves. *Geophysical Research Letters*, 33 (11). doi: 10.1029/2006gl026457.
21. Miller, G., Suzuki, N., Ciftci-Yilmaz, S., & Mittler, R. (2010). Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant, Cell & Environment*, 33 (4), 453–467. doi: 10.1111/j.1365-3040.2009.02041.x.
22. Fakhari, R., Tobeh, A., Alebrahim, M., Mehdizadeh, M., Karbalaee Khiavi, H. (2020). Study of Changes in Activity of Wheat Antioxidant Enzymes under Stress Residue of Imazethapyr Herbicide. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 8 (2), 165–179. doi: 10.33945/SAMI/IJABBR.2020.2.7.
23. Sanglard, L. M. V. P., Martins, S. C. V., Detmann, K. C., Silva, P. E. M., Lavinsky, A. O., Silva, M. M., Detmann, E., Araújo, W. L., & DaMatta, F. M. (2014). Silicon nutrition alleviates the negative impacts of arsenic on the photosynthetic apparatus of rice leaves: an analysis of the key limitations of photosynthesis. *Physiologia Plantarum*, 152 (2), 355–366. doi: 10.1111/ppl.12178.
24. Santabarbara, S., Casazza, A. P., Ali, K., Economou, C. K., Wannathong, T., Zito, F., Redding, K. E., Rappaport, F., & Purton, S. (2012). The Requirement for Carotenoids in the Assembly and Function of the Photosynthetic Complexes in *Chlamydomonas reinhardtii*. *Plant Physiology*, 161 (1), 535–546. doi: 10.1104/pp.112.205260.
25. Silva, K. S., Tabaldi, L. A., Rossato, L. V., Cavichioli, B. M., Basílio, V. B., & Machado, S. L. O. (2019). Contents of Pigments and Activity of Antioxidant Enzymes in Rice Plants Pre-Treated with Sodium Nitroprusside and Exposed to Clomazone. *Planta Daninha*, 37, 1–10. doi: 10.1590/s0100-83582019370100032.
26. Tripathi, A. K., & Gautam, M. (2007). Biochemical parameters of plants as indicators of air pollution. *Journal of Environmental Biology*, 28, 127–132. Retrieved from: <https://www.researchgate.net>.
27. Wellburn, A. R. (1994). The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. *Journal of Plant Physiology*, 144 (3), 307–313. doi: 10.1016/s0176-1617(11)81192-2.
28. Zakar, T., Laczko-Dobos, H., Toth, T. N., & Gombos, Z. (2016). Carotenoids assist in cyanobacterial photosystem II assembly and function. *Frontiers in Plant Science*, 7. doi: 10.3389/fpls.2016.00295.

Стаття надійшла до редакції 19.02.2020 р.

Бібліографічний опис для цитування:

Дикун О. В., Жеребко В. М., Дикун М. О. Вплив ґрунтових і післясходових гербіцидів на вміст пластидних пігментів та продуктивність фотосинтетичного потенціалу сої. *Вісник ПДАА*. 2020. № 1. С. 81–89.

© Дикун Олексій Васильович, Жеребко Володимир Михайлович, Дикун Марія Олегівна, 2020