

АСПЕКТИ АДАПТАЦІЇ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ДО НЕГАТИВНИХ ЧИННИКІВ ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ЗА ДІЇ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ РОСЛИН

¹Б. В. Матвійчук, ¹Н. Г. Матвійчук, ¹В. З. Панчишин, ²В. М. Савченко

¹Житомирський державний університет імені Івана Франка (м. Житомир, Україна)

²Поліський національний університет (м. Житомир, Україна)

Мета. Дослідити вплив різних гербіцидів та їх комбінацій на білковий склад і ферментну активність пшениці озимої сорту Кришталева після різних попередників. **Методи.** Дослідження проводились протягом 2020–2022 рр. на чорноземах опідзолених середньосуглинкової структури. В орному шарі: гумусу – 3,1%, валового азоту – 0,18–0,19%, фосфору – 0,13–0,14%, калію – 2,0–2,1%. Обробку проводили гербіцидами: дербі (70 г/га), старане преміум (0,5 л/га), лонтрел гранд (120 г/га) і діален супер (0,8 л/га). Контролем слугувала пшениця без гербіцидів із ручним виконанням бур'янів. **Результати.** Встановлено, що більшість гербіцидів сприяли зростанню загального вмісту білка в зерні, найвищий рівень якого зафіксовано після застосування препарату гранстар (25 г/га) – на 138,4 % більше порівняно з контролем. Усі варіанти обробки зумовили зміни в поліпептидному складі зерна: виявлено 15 білкових компонентів з молекулярною масою 14,8–51,3 кДа, крім того, кількісні зміни білків спостерігались у всіх дослідних варіантах. Особливу активність виявили білки з Mr 23,04 28,9; 35,5; 42,7; 46,8 та 49,0 кДа. Фракційний склад білків також зазнав змін – найбільші зміни відзначено за внесення гербіцидів гранстар (Rf 0,50–22,4 кДа) та суміші естерон + пума супер (Rf 0,14–58,9 кДа). Паралельно оцінено ферментну активність у проростках пшениці другої генерації, де виявлено істотне зростання активності супероксиддисмутази (в 1,8–4,1 раза) та менш значні зміни активності каталази й пероксидази. Це вказує на післядію гербіцидної обробки на метаболічні процеси в наступному поколінні рослин. **Висновки.** Отримані результати свідчать, що гербіциди впливають на стійкість рослин пшениці озимої до умов навколишнього середовища, а це, своєю чергою, впливає на врожайність та, в кінцевому результаті, на вміст і якісний склад білка.

Ключові слова: гербіциди, білковий склад, поліпептиди, фракційний склад білків, молекулярна маса, супероксиддисмутаза, каталаза, пероксидаза, ферментна активність, якість зерна.

Вступ. Однією з глобальних проблем сучасності є дефіцит білка. Незважаючи на зростання валового збору зерна завдяки впровадженню у виробництво високоврожайних сортів пшениці, вміст білка в ньому істотно знизився [10; 11]. У світовому масштабі попит на продовольчу пшеницю невіддільно зростає. Водночас в Україні лише 10–12 % пшениці, що вирощується, є продовольчою, тоді як решта – кормова. Підвищення виробництва високоякісної пшениці є важливим завданням державного рівня [12].

У сучасному землеробстві спостерігається інтенсивне зростання об'ємів застосування комплексних препаратів захисту рослин, зокрема гербіцидів.

Галузь захисту рослин у світі є однією з найбільш розвинутих [17]. Гербіциди дають можливість одержати значну кількість додаткової продукції, підвищити економічну ефективність обробки пшениці озимої. Виробники гербіцидних препаратів акцентують увагу на відсутності токсичного ефекту під час їх застосування на сільськогосподарські культури. Однак, за їх внесення на посівах сільськогосподарських культур, зокрема пшениці вони можуть чинити неспрямований стрес на саму культуру, змінюючи метаболічні процеси, зокрема білковий обмін.

Зміни у поліпептидному складі зерна пшениці озимої під впливом гербіцидів – це досить специфічна тема,

пов'язана з впливом хімічних засобів захисту рослин на білковий склад зерна. Гербіциди можуть впливати на експресію генів, які кодують білки в зерні пшениці. Це призводить до зміни співвідношення і кількості основних білкових фракцій (глютенінів, гліадинів тощо). Під впливом стресу, спричиненого гербіцидами, може знижуватися синтез певних білків, особливо складних структурних поліпептидів, що формують глютен, що насамперед негативно впливатиме на якість борошна. Також гербіциди здатні викликати зміну амінокислотного профілю білків, що може впливати на поживність зерна. Під їх дією в рослині активуються стресові механізми, які можуть призводити до синтезу білків захисного типу (теплошоківі білки, детоксикаційні білки). В деяких випадках їх застосування здатне зумовити зниження загального вмісту білка в зерні через пригнічення метаболізму рослини [15].

У дослідженнях, як правило, вивчається стан чисельності бур'янів, а реакція культурних рослин на дію гербіцидів при цьому враховується недостатньо і фрагментарно [7; 8].

Проблема впливу гербіцидів на онтогенез культурних рослин, зокрема пшениці озимої, досліджена не достатньо і потребує більш глибокого аналізу.

Мета. Дослідити вплив різних гербіцидів та їх комбінацій на білковий склад і ферментну активність пшениці озимої сорту Кришталева після різних попередників.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Хоча пестициди сприяють збереженню врожаю, вони можуть впливати на хімічний склад і якість зерна. Їхня дія на вміст білка та інші якісні показники залежить насамперед від хімічної природи препарату. Причому ступінь впливу одного й того самого засобу обумовлюється чинниками, що впливають на врожайність культури [9]. Тому ключовими вимогами до засобів захисту рослин є не лише їх технічна ефективність та екологічна безпечність, а й збереження якості врожаю.

Дослідження багатьох вчених підтверджують, що гербіциди діють на якісні характеристики зерна. Так, згідно з результатами досліджень, проведених Шкатулою Ю.М. та Мандриком Ю.Ю. у Вінницькому національному аграрному університеті, застосування гербіцидів сприяє не лише зниженню забур'яненості посівів, а й впливає на агрономічні та якісні показники зерна пшениці озимої – зокрема, підвищується вміст білка й клейковини, покращується натура зерна [18]. У низці досліджень встановлено, що за дії цих фізіологічно-активних речовин на культури відбуваються

зміни окисно-відновного метаболізму клітин, зокрема активності антиоксидантних ферментів [5; 14–16], зниження мітотичної активності меристем коренів і хромосомні аберації [7], зниження життєздатності пилку [13], схожості та енергії проростання насіння [5; 16], пригнічення ростових процесів і, як наслідок – падіння насіннєвої продукції рослин [16].

Зниження врожайності посівів пшениці корелює з накопиченням залишкових кількостей гербіцидів у стиглому зерні культури. Ксенобіотики, змінюючи фотосинтез, впливають на спряжені метаболічні процеси, і передусім на білковий обмін і поліпептидний склад розчинних білків [7; 15]. У відповідь на абіотичні, біотичні та антропогенні чинники синтезується специфічний набір стресових білків [5; 15; 16].

Різні гербіциди не однаково впливають на вміст білка у зерні пшениці. Так, у дослідженнях за вирощування трьох сортів пшениці Селкірк, Маніту та Пембіна застосовували гербіциди 2,4-D, бромоксиніл і піклорам у фазі 4 листків. Експерименти проводили у випадковій блочній структурі. 2,4-D і піклорам продемонстрували низьку концентрацію стимуляції та значне підвищення врожайності сорту Селкірк. Маніту та Пембіна не показали певних тенденцій із цими двома гербіцидами. Бромоксиніл знизив урожай у всіх сортів пшениці, бо це єдиний гербіцид, який підвищував відсоток білка у всіх трьох сортах. Спостерігалось зворотне співвідношення між відсотком білка та врожаєм у сортів Selkirk, Manitou та Pembina оброблених Бромоксинілом. Обробка пшениці гербіцидом 2,4-Д знижувала вміст білка у зерні приблизно на 10–15%, тоді як Бромоксиніл підвищував його на 5–7% [2].

У дослідженнях, де вивчали дію післясходових гербіцидів на вміст амінокислот у різних сортах пшениці *Triticum aestivum* L. виявили значні зміни в амінокислотному складі зерна, що свідчить про вплив гербіцидів на білковий обмін рослини [1]. Під час дослідження впливу сульфонілсечовинних гербіцидів на вміст білка та антиоксидантну активність у пшениці в напівпосушливому регіоні результати показали, що застосування гербіцидів може впливати на вміст білка та антиоксидантну активність у зерні пшениці [4].

Результати досліджень щодо дії передзбирального внесення гліфосату на хімічний склад білків пшениці засвідчили, що амінокислотний склад і вторинна структура білків залишалися незмінними. Водночас спостерігалось зниження їх молекулярної маси, що

Таблиця 1. Зміни вмісту загального білка у зерні пшениці озимої (сорт Кришталева) за дії гербіцидів, середнє за 2020 – 2022 рр.

Показники	Варіант обробки				
	Контроль (без гербіцидів)	Гранстар – 25 г/га	Гранстар + + голд (18 г/га) + + Естерон (0,6 л/га)	Гроділ Максі (100 мл/га)	Естерон – (0,8 л/га) + + Пума Супер (0,8 л/га)
Вміст білка, мг/г	6,72 ± 0,06	9,29 ± 0,07	8,69 ± 0,09	6,55 ± 0,05	7,33 ± 0,06
% до контролю	–	138,4	129,4	97,5	109,1

потенційно може впливати на функціональні властивості білків [3].

Перспективним напрямом є поєднане використання гербіцидів із регуляторами росту рослин (РРР), що дає змогу повністю реалізувати потенціал сорту, зменшити норми використання хімікатів та знизити їх негативну дію на довкілля [10; 11].

Отримані дані свідчать про складний і неоднозначний вплив гербіцидів на фізіолого-біохімічні показники рослин, зокрема на білковий обмін та репродуктивну здатність. Враховуючи різноманітність механізмів дії препаратів, відмінності між культурами та вплив екологічних умов, існує потреба у подальших комплексних дослідженнях. Особливу увагу слід приділити вивченню довготривалих ефектів гербіцидів, впливу сублетальних доз, а також можливості використання регуляторів росту для зменшення негативних наслідків хімічного стресу.

Матеріали та методи досліджень. Об'єктом наших досліджень було стигле зерно пшениці сорту Кришталева, яке одержали в польових експериментах, проведених у 2020–2022 рр. у СФГ «Енеїда» Любарського р-ну, попередники – кукурудза та люцерна. Грунтовий покрив на дослідних ділянках – опідзолений чорнозем середньосуглинкової текстури. В орному шарі вміст гумусу становить 3,1%, валового азоту – 0,18–0,19, фосфору – 0,13–0,14, калію – 2,0–2,1%. Обробку ділянок проводили препаратами дербі (70 г/га), старане преміум (0,5 л/га), лонтрел гранд (120 г/га) та діален супер (0,8 л/га). За контрольний варіант брали насіння пшениці, вирощене без гербіцидної обробки, з ручним викопуванням бур'янів. Посівна площа ділянок у досліді становила 115 м², а збиральна – 42 м² за триразової повторності. Всі лабораторні дослідження проводили згідно з чинними методиками та ДСТУ у сертифікованій лабораторії. Статистичну та математичну обробку експериментальних даних виконували за

допомогою стандартного пакета Microsoft Statistika 6,0, розбіжності між вибірками при цьому вважали значущими за $p \leq 0,05$.

Результати та їх обговорення. За дії гербіцидів вміст білків у стиглого зерна пшениці може змінюватися. Деякі гербіциди здатні незначно знижувати вміст білка, а інші – навпаки, підвищувати його, порівнюючи з контролем [3; 14; 18].

Порівняльний аналіз вмісту загального білка у стиглому зерні пшениці озимої впродовж 2020–2022 рр. виявив помітні відмінності (табл. 1). За дії більшості гербіцидних препаратів виявлено підвищення цього показника. Найбільший вміст білка (138,4% вище за контроль) відзначений за дії гербіциду гранстар (25 г/га). Обробка посівів гербіцидом гроділ максі (100 мл/га) спричиняла неістотне зменшення вмісту загального білка порівняно з контролем.

Паралельно із вмістом білка у насінні пшениці було досліджено його якісний склад, і загалом у контрольних та дослідних зразках виявлено 15 білкових компонентів з молекулярною масою (M_r) від 14,8 до 51,3 кДа. Встановлено, що активні зміни у поліпептидному складі насіння пшениці відмічались в усіх розглянутих варіантах гербіцидної обробки (табл. 2).

За дії гербіциду гранстар (25 г/га) встановлено підвищення вмісту білкових компонентів з M_r 23,0 та 49,0 кДа (відповідно, на 37 і 63% порівняно з контролем). За впливу суміші гранстар (18 г/га) + естерон (0,6 л/га) виявлено збільшення вмісту компонентів з M_r 23,0, 28,9, 42,7 та 46,8 кДа. Гроділ максі (100 мл/га) викликав підвищення вмісту поліпептидів з молекулярними масами в області середніх значень (42,7, 49,0 та 51,3 кДа). За сумісної дії гербіцидів естерон (0,8 л/га) + пума супер (0,8 л/га) відбувалось підвищення вмісту компонентів з M_r 28,9, 35,5 та 46,8 кДа. Для поліпептидів з M_r 14,8, 15,2 (крім дії гроділ максі – 100 мл/га) та 20,0 кДа визначено стабільне збільшення вмісту в дослідних зразках порівняно з контролем.

Таблиця 2. Зміни вмісту білків стиглого зерна пшениці (сорт Кришталева) за дії гербіцидів, середнє за 2020 – 2022 рр., %

Мол. маса (M _r), кДа	Вміст білкових компонентів, %				
	Контроль (без гербіцидів)	Гранстар – 25 г/га	Гранстар + голд (18 г/га) + + Естерон (0,6 л/га)	Гроділ Максї (100 мл/га)	Естерон – (0,8 л/га) + + Пума Супер (0,8 л/га)
51,3	2,91	2,16	2,15	5,17	2,47
49,0	17,54	28,59	13,98	19,41	15,76
46,8	3,56	2,34	3,74	3,37	3,67
42,7	7,97	6,40	9,19	8,23	2,13
40,8	0,99	0,34	0,52	0,84	0,55
38,9	1,98	0,32	2,54	2,09	2,21
37,2	0,87	0,74	0,46	0,48	0,50
35,5	4,23	2,58	4,20	4,16	4,58
30,9	3,45	2,41	3,21	2,67	2,92
29,5	1,74	2,04	1,57	1,27	1,75
28,9	8,76	6,63	9,55	7,55	11,37
27,0	1,21	2,53	3,08	2,48	2,51
23,0	3,09	4,23	4,11	2,31	1,00
21,4	1,50	1,71	1,64	2,68	1,51
20,0	1,83	2,69	2,73	2,38	2,09
17,8	17,54	10,36	16,16	16,30	18,13
17,0	12,30	8,23	8,09	9,03	10,73
16,6	0,15	0,21	0,15	0,17	0,20
15,9	0,85	2,15	0,81	1,71	1,54
15,2	6,78	8,76	7,70	5,08	10,12
14,8	0,75	4,58	4,43	2,63	4,26

Дослідження інших науковців також підтверджують, що застосування післясходових гербіцидів призводить до значних змін в амінокислотному складі та загальному вмісті білка у зерні пшениці. Це пов'язано з пригніченням фотосинтезу та змінами у метаболізмі рослини [1].

За всіх досліджених варіантів гербіцидної обробки визначено стабільне зниження вмісту білкових компонентів із молекулярними масами 17,0, 17,8 та 30,9 кДа. За впливу сумішки гербіцидів естерон + пума супер (по 0,8 л/га) виявлено підвищення вмісту поліпептиду з M_r 35,5 кДа на фоні зниження його вмісту в інших варіантах обробки. Тому, впродовж 2020 – 2022 рр. у зерні пшениці за дії всіх досліджених гербіцидів визначено різнобічні зміни вмісту білкових компонентів порівняно з контрольним зерном.

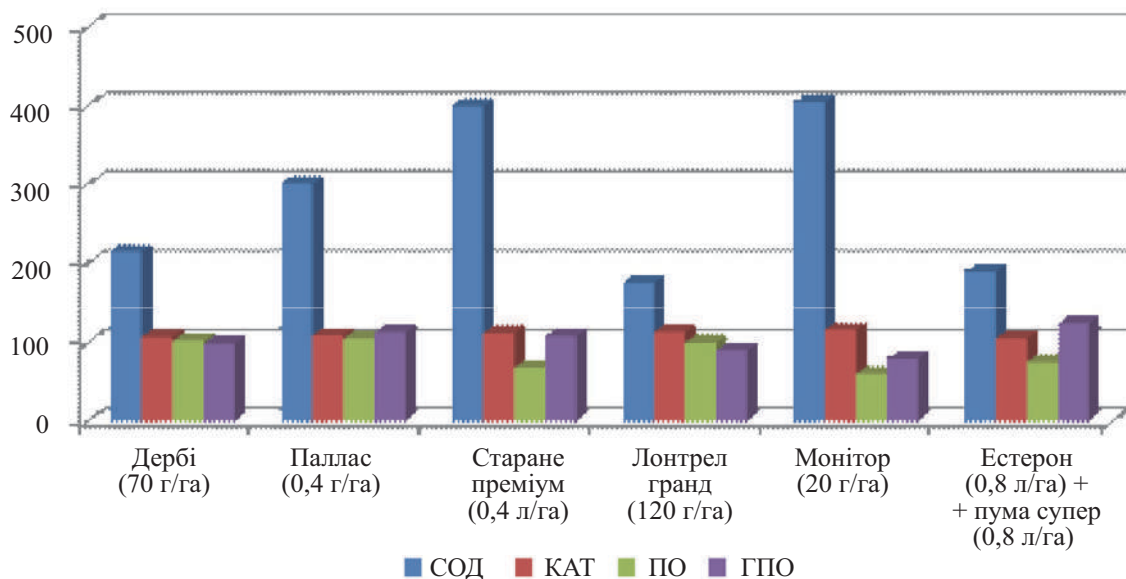
Рослинні організми реагують на дію різноманітних стресових чинників змінами в експресії білків [6]. У результаті проведених досліджень у поліпептидному

складі зерна пшениці озимої під впливом гербіцидів не знайдено якісних перебудов, проте виявлено кількісні зміни зі збільшенням вмісту розчинних білків у зонах з молекулярними масами 14,8 кДа, 16,6 кДа, 20,0 кДа, 21,4 кДа, 27,0 кДа, 21,4 кДа та ін.

Аналіз даних, представлених на рис. свідчить, що за внесення гербіциду гранстар у дозі 25 г/га найбільший фракційний склад сумарних білків відмічали за Rf 0,50 – 22,4 кДа. За дії сумішки гранстар голд (18 г/га) + естерон (0,6 л/га) відмічали збільшення складу сумарних білків за Rf 0,14 – відповідно 58,9 кДа.

У варіантах застосування гроділу максї у дозі 100 мл/га фракційний склад сумарних білків взагалі було зафіксовано лише у 6 компонентах, а найбільшим останній виявився за Rf 0,55 – 20,0 кДа.

Паралельно проводили дослідження з визначення фракційного складу сумарних білків насіння пшениці озимої за дії різних гербіцидів та на контрольному варіанті.



Активність ферментів (% до контролю) супероксиддисмутази (СОД), каталази (КАТ), пероксидази (ПО) та глутатіон-пероксидази (ГПО) у листках 10-добових необроблених проростків пшениці озимої (сорт Кришталева), вирощених з насіння материнських рослин, оброблених гербіцидами в агроценозі

За внесення бакової суміші гербіцидів естерон + пума супер (0,8 л/га) відмічали збільшення фракційного складу сумарних білків за (Rf 0,14) – 58,9 кДа.

Найбільш істотних змін зазнав рівень активності супероксиддисмутази в усіх досліджених проростках культури (в 1,8 – 4,1 раза більше, ніж у контрольних зразках), що прямо вказує на інтенсифіковані процеси дисмутації супероксидних аніонів із подальшим утворенням перекису водню у клітинах паростків пшениці озимої. Тобто, у необроблених рослинах пшениці озимої другої генерації виявлено ознаки потужної активації початкової ланки антиоксидантної ферментної системи, що свідчить про післядію гербіцидної обробки материнських рослин в агроценозі.

Щодо змін активності ферментів, які знешкоджують перекис водню, то в проростках пшениці озимої сорту Кришталева вони виявилися набагато менш

значними. Так, активність каталази у листках дослідних проростків зростала порівняно з контрольними рослинами у середньому на 9 – 13%, найбільшим чином внаслідок ефекту післядії препарату старане преміум (0,5 л/га) та бакової сумішки гербіцидів естерон (0,8 л/га) + пума супер (0,8 л/га).

Пероксидазна активність у листках паростків пшениці озимої перебільшувала контрольні показники на 7,6% тільки у варіанті, де для обробки материнських рослин застосували паллас у дозі 0,4 л/га. Обробка посівів пшениці озимої гербіцидом дербі (70 г/га) не позначилась на рівні пероксидазної активності у рослин другої генерації. У всіх інших варіантах післядії гербіцидної обробки призвела до зниження активності ферменту на 12 – 34% порівняно з контрольними зразками.

Аналіз даних, що представлений у табл. 3 засвідчує, що обробка посівів пшениці озимої різними

Таблиця 3. Вплив гербіцидів на масу 1000 зерен та вміст загального білка стиглого зерна пшениці озимої (сорт Кришталева), середнє за 2020–2022 рр.

№ п/п	Варіант досліджу	Маса 1000 зерен, г	До контролю, %	Вміст білка, г/100 г зерна	До контролю, %
1	Контроль (без гербіцидів)	30,60	–	1,8±0,004	–
2	Гранстар – 25 г/га	31,94	104,4	2,0±0,005	111,1
3	Гранстар голд – 18 г/га + + естерон – 0,6 л/га	31,88	104,2	1,9±0,008	105,5
4	Гроділ максі – 100 мл/га	32,12	104,9	2,0±0,007	111,1
5	Естерон – 0,8 л/га + + пума супер – 0,8 л/га	32,27	105,4	2,1±0,006	116,7

гербіцидами спричиняє у підсумку деяке збільшення ваги насіння та вмісту білка порівняно з контрольним варіантом (без гербіцидів).

Стосовно вмісту білка (г/100 г) у розмеленому зерні культури, то найбільше його виявилось на контрольних ділянках (без гербіцидів) та у варіантах внесення гербіциду лонтрел гранд – 120 г/га та діален супер – 0,8 л/га – по 1,8 г/100 г.

Узагальнюючи дані, можна стверджувати, що гербіциди самі по собі не впливають на вміст білка в зерні пшениці, але можуть позначитись на загальному стані рослини, а також і на врожайність та, в кінцевому рахунку, на вміст білка.

Висновки

У результаті досліджень, проведених у 2020–2022 рр., встановлено, що гербіциди чинять різноспрямований вплив на вміст загального білка в зерні пшениці озимої сорту Кришталева. Найбільше зростання цього показника зафіксовано після внесення препарату гранстар (25 г/га), де вміст білка перевищив контрольні значення на 138,4%.

Поліпептидний аналіз виявив 15 білкових компонентів із молекулярною масою від 14,8 до 51,3 кДа, до того ж у всіх варіантах гербіцидної обробки спостерігались кількісні зміни білкових фракцій без якісних перебудов. Зокрема, стабільне підвищення вмісту виявлено для білків з Mr 14,8; 15,2; 20,0; 23,0; 28,9; 35,5; 42,7, 46,8, 49,0 та 51,3 кДа.

Фракційний склад сумарних білків зазнав помітних змін під дією гербіцидів. Найбільше накопичення білкових фракцій спостерігалось за внесення гранстар (Rf 0,50 – 22,4 кДа) та суміші естерон + пума супер (Rf 0,14 – 58,9 кДа), що свідчить про вплив препаратів на білковий склад зерна.

У листках паростків пшениці озимої, що вирощені з насіння, яке було зібране в оброблених різними гербіцидами агроценозах, спостерігали досить інтенсивне функціонування різних ланок антиоксидантного захисту (глутатіон-пероксидаза, каталаза, супероксиддисмутаза), а також уповільнене накопичення продуктів пероксидного окислення ліпідів.

Вплив досліджених гербіцидів не спричинив появи нових компонентів в електрофоретичному спектрі білків насіння пшениці, однак викликав інтенсифікацію біосинтезу існуючих білкових компонентів. Такі зміни характерні для посилення захисних властивостей рослин, які зумовлені впливом середовища протягом онтогенезу. Виявлені у стиглому насінні пшениці озимої комплексні зміни поліпептидного складу розчинних білків – результат відновлення та підтримання гомеостазу рослинного організму за стресового впливу гербіцидних препаратів.

Кореляційний зв'язок рівнів активності СОД, КАТ, ПО у листках дослідних паростків знижувався більшою мірою внаслідок післядії полікомпонентних препаратів та обробки баковою сумішкою, в той час як накопичення пероксидів ліпідів залишалося досить істотним.

У проростках другого покоління визначено значне зростання активності супероксиддисмутази (в 1,8–4,1 раза), що свідчить про інтенсифікацію антиоксидантного захисту у відповідь на післядію гербіцидів. До того ж активність каталази та пероксидази змінилася меншою мірою, з незначним підвищенням або зниженням залежно від гербіцидного варіанта.

Обробка гербіцидами також вплинула на масу 1000 зерен, загальний вміст розчинних білків та вміст білка в розмеленому зерні, що вказує на загальне поліпшення якості зерна у більшості варіантів.

Отримані результати підтверджують, що гербіцидне навантаження на пшеницю озиму впливає не лише на кількісні характеристики врожаю, а й на якісні та біохімічні параметри насіння, включаючи білковий склад і ферментну активність наступного покоління рослин.

Для глибшого розуміння дії гербіцидів на поліпептидний склад зерна пшениці озимої в перспективі необхідно провести додаткові дослідження, визначити механізми, через які гербіциди впливають на білковий склад зерна. Також необхідно вивчити, як застосування гербіцидів на різних стадіях розвитку рослини впливає на білковий склад зерна.

Література

1. Ahmed E. El-Sobki, Ahmed M. Saad, Mohamed T. El-Saadony, Amira M. El-Tahan, Ayman E. Taha, Bandar S. Aljuaid, Ahmed M. El-Shehawi, Rehab E.M.E. Salem a Fluctuation in amino acids content in *Triticum aestivum* L. cultivars as an indicator on the impact of post-emergence herbicides in controlling weeds. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2021. 28(11). P. 6332–6338 . DOI: 10.1016/j.sjbs.2021.06.097.
2. Desai P.D. Effect of herbicides on proteins in spring wheat». University of British Columbia, 1969. DOI: 10.14288/1.0102104.

3. Johnson B.L., Anderson J.A., Keeling D.J.H. Effects of pre-harvest glyphosate use on protein composition and shikimic acid accumulation in spring wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020. 68 (25). P. 6942–6950. DOI: 10.1021/acs.jafc.0c02276.
4. Mohamed T. El-Saadony, Ahmed M. El-Shehawi, Amira M. El-Tahan, Ayman E. Taha, Bandar S. Aljuaaid, Rehab E.M.E. Salem. Effects of Sulfonylurea Herbicides on Protein Content and Antioxidants Activity in Wheat in Semi-Arid Region. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*. 2016. 2 (4). P. 292–298. DOI: 10.22161/ijaems.2.4.6.
5. Більчук В.С., Россихіна Г.С., Ткаліч Ю.І. Фізіолого-морфологічні особливості репродуктивних органів озимої пшениці за дії гербіцидів різних класів. *Наук. вісник МДУ ім. В.О. Сухомлинського*. 2009. Вип. 24. С. 21–23.
6. Біологічні основи інтегрованої дії гербіцидів і регуляторів росту рослин. Карпенко В.П., Грицаєнко З.М., Притуляк Р.М. [та ін.] ; за ред. В.П. Карпенка. Умань: Видавець „Сочінський”, 2012. 357 с.
7. Богуславська Л.В., Вінниченко О.М., Варданян С.В. Реакція білкової системи зони розтягу коренів кукурудзи на дію ксенобіотиків. *Наук. вісн. МДУ ім. В.О. Сухомлинського*. 2009. Вип. 24, № 4 (1). С. 35–38.
8. Богуславська Л.В., Шупранова Л.В., Садоха О.В. Особливості цитогенетичних показників апікальної кореневої меристеми кукурудзи за дії хімічних агентів. *Наук. вісн. МДУ ім. В.О. Сухомлинського*. 2009. Вип. 24 (1). С. 32–35.
9. Гойстер О.С., Дзядевич С.В., Мінченко О.Г. Застосування сучасних біосенсорних технологій в еко-токсикологічному моніторингу деяких токсикантів природного (мікотоксини) та антропогенного (пестициди) походження. *Біосенсори*. 2013. 10 (4). С. 40–59. DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2013.4.110704>.
10. Карпенко В.П., Притуляк Р.М. Урожайність і якість зерна тритикале озимого за дії гербіцидів та їх бакових сумішей з регулятором росту. *Збірник. наук. пр. Переяслав-Хмельницький*, 2015. 1(1). С. 117–119.
11. Карпенко В.П., Притуляк Р.М., Чернега А.О. Вміст білка і клейковини у зерні тритикале озимого за використання біологічно активних речовин. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. Умань, 2013. Вип. 82. С. 14–19.
12. Ларченко К.А., Моргун Б.В. Ознаки якості зерна пшениці та методи їх поліпшення. *Фізіологія і біохімія культурних рослин*. 2010. 42 (6). С. 463–474.
13. Огінова І.О. Адаптивні реакції репродуктивної сфери сорго до дії гербіцидів. *Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Біологія. Екологія*. 2006. 3(1). С. 135–140.
14. Россихіна Г.С. Особливості впливу гербіцидної обробки на процеси перекисного окислення. *Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. Біологія*. 2006. Вип. 18. С. 76–79.
15. Россихіна Г.С., Лашко В.В. Активність ферментів переамінування в стиглому зерні рослин гібридної кукурудзи за дії гербіцидних препаратів. *Вісн. Львів. ун-ту. Сер.: Біологія*. 2011. Вип. 56. С. 234–238.
16. Хромих Н.О., Россихіна Г.С., Лашко В.В. Вплив гербіцидів нового покоління на фізіолого-біохімічні показники кукурудзи. *Вісник ХНАУ. Сер.: Біологія*. 2011. Вип. 3. С. 50–55.
17. Швартау В.В. Регуляція активності гербіцидів за допомогою хімічних сполук. Київ: Логос, 2003. 267 с.
18. Шкатула Ю.М., Мандрик Ю.Ю. Формування урожайності зерна пшениці озимої залежно від хімічних заходів. *Аграрні інновації*. 2024. № 26. С. 132–137. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.26.19>.

REFERENCES

1. Ahmed E. El-Sobki, Ahmed M. Saad, Mohamed T. El-Saadony, Amira M. El-Tahan, Ayman E. Taha, Bandar S. Aljuaaid, Ahmed M. El-Shehawi, Rehab E.M.E. Salem. (2021). Fluctuation in amino acids content in *Triticum aestivum* L. cultivars as an indicator on the impact of post-emergence herbicides in controlling weeds. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28 (11), 6332–6338. DOI: 10.1016/j.sjbs.2021.06.097. [in English].
2. Desai P.D. (1969). Effect of herbicides on proteins in spring wheat. University of British Columbia. DOI: 10.14288/1.0102104 [in English].
3. Johnson B.L., Anderson J.A., Keeling D.J.H. (2020). Effects of pre-harvest glyphosate use on protein composition and shikimic acid accumulation in spring wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(25), 6942–6950. DOI: 10.1021/acs.jafc.0c02276 [in English].
4. Mohamed T. El-Saadony, Ahmed M. El-Shehawi, Amira M. El-Tahan, Ayman E. Taha, Bandar S. Aljuaaid, Rehab E.M.E. Salem. (2016). Effects of Sulfonylurea Herbicides on Protein Content and Antioxidants Activity in Wheat in Semi-Arid Region. *International Journal of Advanced Engineering*,

- Management and Science*, 2(4), 292–298. DOI: 10.22161/ijaems.2.4.6 [in English].
5. Bilchuk V.S., Rossykhina H.S., Tklich Yu.I. (2009). Fiziolo-ho-morfolohichni osoblyvosti reproduktyvnykh orhaniv ozymoї pshenytsi za dii herbitysydiv riznykh klasiv [Physiological and morphological features of reproductive organs of winter wheat under the action of herbicides of different classes]. *Nauk. visnyk MDU im. V.O. Sukhomlynskoho – Scientific Bulletin of Moscow State University named after V.O. Sukhomlynsky*, 24, 21–23 [in Ukrainian].
 6. Biolo-hichni osnovy intehrovanoi dii herbitysydiv i rehuliatoriv rostu roslyn [Biological basis of integrated action of herbicides and plant growth regulators]. Karpenko V. P., Hrytsaienko Z.M., Prytuliak R.M. [ta in.] ; za red. V. P. Karpenka (2012). Uman: Vydavets „Sochynskyi” [Publisher «Sochinsky»]. 357 p. [in Ukrainian].
 7. Bohuslavskaya L.V., Vinnychenko O.M., Vardanyan S.V. (2009). Reaktsiia bilkovoi systemy zony rostiagu koreniv kukurudzy na dii ksenobiotykyv [The reaction of the protein system of the tension zone of corn roots to the action of xenobiotics]. *Nauk. visn. MDU im. V.O. Sukhomlynskoho – Scientific Bulletin of Moscow State University named after V.O. Sukhomlynsky*, 24, 4 (1), 35–38 [in Ukrainian].
 8. Bohuslavskaya L.V., Shupranova L.V., Sadova O.V. (2009). Osoblyvosti tsytopenetychnykh pokaznykyv apikalnoi korenevoi merystemy kukurudzy za dii khimichnykh ahentiv [Peculiarities of cytogenetic indicators of the apical root meristem of corn under the action of chemical agents]. *Nauk. visn. MDU im. V.O. Sukhomlynskoho – Scientific Bulletin of Moscow State University named after V.O. Sukhomlynsky*, 24 (1), 32–35 [in Ukrainian].
 9. Hoister O.S., Dziadevych S.V., Minchenko O.H. (2013). Zastosuvannya suchasnykh biosensornykh tekhnolohii v ekotoksikolohichnomu monitoryngu deiaknykh toksykantiv pryrodnoho (mikotoksyny) ta antropohenoho (pestytsydy) pokhodzhennia [Application of modern biosensor technologies in ecotoxicological monitoring of some toxicants of natural (mycotoxins) and anthropogenic (pesticides) origin]. *Biosensory – Biosensors*, 10(4), 40–59. DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2013.4.110704> [in Ukrainian].
 10. Karpenko V.P., Prytulyak R.M. (2015). Urozhainist i yakist zerna trytykale ozymoho za dii herbitysydiv ta yikh bakovykh sumishei z rehuliatorom rostu [Yield and quality of winter triticale grain under the action of herbicides and their tank mixtures with a growth regulator]. *Zbirnyk naukovykh prats. Pereiaslav-Khmelnytskyi – Collection of scientific works of the Pereiaslav-Khmelnytskyi*, 1 (1), 117–119 [in Ukrainian].
 11. Karpenko V.P., Prytuliak R.M., Cherneha A.O. (2013). Vmist bilka i kleikovyiny u zerni trytykale ozymoho za vykorystannia biolo-hichno aktyvnykh rehovyn [Protein and gluten content in winter triticale grain using biologically active substances]. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho NUS – Collection of scientific works of Uman NUS*, 82, 14–19 [in Ukrainian].
 12. Larchenko K.A., Morhun B.V. (2010). Oznaky yakosti zerna pshenytsi ta metody yikh polipshennia [Characteristics of wheat grain quality and methods of their improvement]. *Fiziolo-hiia i biokhimiia kul'turnykh roslyn – Physiology and biochemistry of cultivated plants*, 42(6), 463–474 [in Ukrainian].
 13. Ohinova I.O. (2006). Adaptivni reaktsii reproduktyvnoi sfery sorho do dii herbitysydiv [Adaptive reactions of the reproductive sphere of sorghum to the action of herbicides]. *Visn. Dnipropetr. un-tu. Biolo-hiia. Ekologiia – Visn. Dnipropetrovsk University. Biology. Ecology*, 3(1), 135–140 [in Ukrainian].
 14. Rossykhina H.S. (2006). Osoblyvosti vplyvu herbitydnoi obrobky na protsesy perekysnoho okyslennia [Peculiarities of the influence of herbicide treatment on peroxidation processes]. *Nauk. visn. Uzhhorod. un-tu. Biolo-hiia – Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Biology*, 18, 76–79 [in Ukrainian].
 15. Rossykhina H.S., Lashko V.V. (2011). Aktyvnist fermentiv pereaminuvannia v stihlomu zerni roslyn hybridnoi kukurudzy za dii herbitysydivnykh preparativ [Activity of transamination enzymes in ripe grain of hybrid corn plants under the action of herbicides]. *Visn. Lviv. un-tu. Serii biol – Visn. Lviv. Univ. Series Biol.*, 56, 234–238 [in Ukrainian].
 16. Khromykh N.O., Rossykhina H.S., Lashko V.V. (2011). Vplyv herbitysydiv novoho pokolinnia na fiziolo-ho-bikhemichni pokaznyky kukurudzy [The influence of new generation herbicides on physiological and biochemical parameters of corn]. *Visnyk KhNAU. Serii Biolo-hiia – Bulletin of the KhNAU. Biology Series*, 3, 50–55 [in Ukrainian].
 17. Shvartau V.V. (2003). Rehuliatyia aktyvnosti herbitysydiv za dopomohoiu khimichnykh spoluk [Regulation of herbicide activity using chemical compounds]. Kyiv. 267 p. [in Ukrainian].
 18. Shkatula Yu.M., Mandryk Yu.Yu. (2024). Formuvannia urozhainosti zerna pshenytsi ozymoї zalezho vid khimichnykh zakhodiv [Formation of winter wheat grain yield depending on chemical measures]. *Ahrarni innovatsii – Agrarian innovations*, 26, 132–137. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.26.19> [in Ukrainian].

Matviichuk B.V., Matviichuk N.H., Panchyshyn V.Z., Savchenko V.M.

Aspects of adaptation of winter wheat to negative factors of the natural environment under the action of plant protection measures

Aim. To investigate the effect of various herbicides and their combinations on the protein composition and enzyme activity of winter wheat of the “Kryshtaleva” variety after various predecessors. **Methods.** The studies were conducted during 2020–2022 on podzolized chernozems of medium loamy structure. In the arable layer: humus – 3.1%, gross nitrogen – 0.18–0.19%, phosphorus – 0.13–0.14%, potassium – 2.0–2.1%. Treatment was carried out with herbicides: Derby (70 g/ha), Starane Premium (0.5 l/ha), Lontrel Grand (120 g/ha) and Dialen Super (0.8 l/ha). Wheat without herbicides with manual weeding served as the control. **Results.** It was found that most herbicides contributed to an increase in the total protein content in grain, the highest level of which was recorded after the use of the drug Granstar (25 g/ha) – 138.4% more compared to the control. All treatment options caused changes in the polypeptide composition of the grain: 15 protein components with a molecular weight of 14.8–51.3 kDa were identified, while quantitative changes in proteins were observed in all experimental options. Proteins with Mr 23.04, 28.9, 35.5, 42.7, 46.8 and 49.0 kDa showed particular activity. The fractional composition of proteins also underwent changes – the largest changes were noted with the application of herbicides Granstar (Rf 0.50 – 22.4 kDa) and the mixture of Esterone + Puma Super (Rf 0.14 – 58.9 kDa). In parallel, enzyme activity was assessed in second-generation wheat seedlings, where a significant increase in superoxide dismutase activity (by 1.8–4.1 times) and less significant changes in catalase and peroxidase activity were detected. This indicates the after-effect of herbicide treatment on metabolic processes in the next generation of plants. **Conclusions.** The results obtained indicate that herbicides affect the resistance of winter wheat plants to environmental conditions, which in turn affects yield and, ultimately, the content and qualitative composition of protein.

Key words: herbicides, protein composition, polypeptides, fractional analysis of proteins, molecular weight, superoxide dismutase, catalase, peroxidase, enzyme activity, grain quality.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Матвійчук Б.В., кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття, Житомирський державний університет імені Івана Франка, e-mail: bogdanmatviychuk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-7872-2420.

Матвійчук Н.Г., кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття, Житомирський державний університет імені Івана Франка, e-mail: natamatviychuk400@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2226-814X.

Панчишин В.З., кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття, Житомирський державний університет імені Івана Франка, e-mail: panch22@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5256-5052.

Савченко В.М., кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу, Поліський національний університет, e-mail: dgs-ua@ukr.net, ORCID: 0000-0002-0921-1424.

Matviichuk B.V., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Botany, Bioresources and Biodiversity Conservation, Zhytomyr Ivan Franko State University, e-mail: bogdanmatviychuk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-7872-2420.

Matviichuk N.H., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Botany, Bioresources and Biodiversity Conservation, Zhytomyr Ivan Franko State University, e-mail: natamatviychuk400@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2226-814X.

Panchyshyn V.Z., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Botany, Bioresources and Biodiversity Conservation, Zhytomyr Ivan Franko State University, e-mail: panch22@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5256-5052.

Savchenko V.M., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Agroengineering and Technical Service, Polissia National University, e-mail: dgs-ua@ukr.net, ORCID: 0000-0002-0921-1424.