АГРОНОМІЯ

УДК: 577.152.1:[633.174:632.954:631.811.98]

АКТИВНІСТЬ АНТИОКСИДАНТНИХ ФЕРМЕНТІВ У РОСЛИНАХ СОРГО ЗЕРНОВОГО ЗА ДІЇ ГЕРБІЦИДУ, РЕГУЛЯТОРА РОСТУ РОСЛИН І БІОПРЕПАРАТУ

В.П. Карпенко

доктор сільськогосподарських наук, професор

Уманський національний університет садівництва (м. Умань, Україна)

e-mail: unuh1844@gmail.com; ORCID: 0000-0001-5607-7371

В.І. Красноштан

аспірант

Уманський національний університет садівництва (м. Умань, Україна)

e-mail: wasia1995@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8572-5008

Р.М. Притуляк

кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Уманський національний університет садівництва (м. Умань, Україна)

e-mail: radak7484402@ukr.net

І.І. Мостов'як

кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Уманський національний університет садівництва (м. Умань, Україна)

e-mail: zahist@udau.edu.ua; ORCID: 0000-0003-4585-3480

М.Г. Гнатюк

старший викладач

Уманський національний університет садівництва (м. Умань, Україна)

e-mail: pmoapv@udau.edu.ua

Гербіциди, будучи речовинами з високою фізіологічною активністю, здатні впливати не лише на бур'яни, а й на культурні рослини. В той же час, зустрічаються свідчення, що застосування регуляторів росту рослин та передпосівної обробки насіння біологічними препаратами здатне нівелювати потенційну негативну дію гербіциду. Одними із перших на потрапляння екзогенних фізіологічно-активних речовин до організму реагують *антиоксидантні системи. Саме тому, одним із ефективних шляхів оцінки впливу різних видів препаратів на стан рослин є визначення активності антиоксидантних ферментів, зокрема – каталази, пероксидази і поліфенолоксидази.*

Для вивчення ферментативної активності сорго зернового було закладено польовий дослід в умовах сівозміни кафедри біології Уманського НУС у 2019–2020 роках. У дослідах вивчали сорго зернове (Sorghum bicolor (L.) Moench) гібриду Майло В, гербіцид Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га, регулятор росту рослин Ендофіт L1 (30 мл/га) і біопрепарат Біоарсенал (800 г/100 кг). Активність ферментів вивчали у фази кущення та викидання волоті. Встановлено, що ферментативна активність рослин сорго зернового залежала від норми внесення гербіциду і зростала при її збільшенні. Проте, використання гербіциду сумісно з регулятором росту рослин Ендофіт L1, а також по фону передпосівної обробки насіння Біоарсеналом, призводило до більш істотної активізації досліджуваних ферментів порівняно з варіантами самостійного внесення гербіциду. Найбільшу активність антиоксидантних ферментів було виявлено за сумісного застосування гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га з регулятором росту рослин Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння Біоарсеналом, що може свідчити про зростання антиоксидантного статусу рослин за даного поєднання препаратів.

Ключові слова: *антиоксидантні ферменти, сорго зернове, регулятор росту рослин, гербіцид, біопрепарат*

ВСТУП

Культурні рослини зазнають постійного впливу різних чинників, у тому числі й хімічних, обумовлених дією гербіцидів, фунгіцидів чи інсектицидів. Проникаючи до організму рослини, хімічні речовини провокують утворення активних форм кисню, що руйнують молекули ДНК, білкові та ліпідні структури тощо, тим самим, призводячи до оксидативного стресу [1, 2]. У відповідь на такі умови у рослинах активізуються антиоксидантні системи, функціонування яких реалізується, перш за все, за рахунок ферментів, здатних нейтралізувати активні форми кисню. Існують свідчення [3–5], що використання хімічних речовин, наприклад, гербіцидів у сумішах з регуляторами росту рослин здатне підвищувати активність основних антиоксидантних ферментів і, як наслідок, стійкість рослин до оксидативного стресу. При цьому характер змін ферментативної активності залежить від багатьох чинників, у тому числі від виду й сорту рослин, типу й норм використання препаратів, способів їх поєднання тощо.

Одним із найважливіших класів ферментів, що нейтралізують активні форми кисню в рослинному організмі є оксидоредуктази [3]. До типових представників ферментів цього класу належать: каталаза – розкладає пероксид водню на воду й кисень [6], пероксидаза – виступає посередником у реакції окиснення фенольних сполук пероксидом водню з утворенням фенокси-радикалів і води [7] та поліфенолоксидаза – каталізує реакцію між дифенольним субстратом і киснем [8].

Мета статті – визначити характер впливу різних композицій гербіциду, регулятора росту рослин і біопрепарату на активність окремих ферментів класу оксидоредуктаз у рослинах сорго зернового.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Результати досліджень L. Jiang [1] із вивчення активності антиоксидантних ферментів методом гельного поліакриламідного електрофорезу показали, що активність каталази та пероксидази у листках пшениці за дії гербіциду Прометрин зазнавала істотних змін. Так, за вмісту Прометрину у ґрунті 4–8 мг/кг активність обох ферментів зростала порівняно із контролем, проте подальше збільшення вмісту гербіциду в ґрунті до 10–20 мг/кг призводило до пригнічення ферментативної активності. За максимальної ж концентрації гербіциду (24 мг/кг ґрунту) активність каталази та пероксидази була мінімальною.

За даними N. K. Hemanth Umar et al. [7], гербіцид Алахлор у різних концентраціях призводив до зростання в проростках кукурудзи активності ферментів класу оксидоредуктаз. Так, на 15 добу досліду, за концентрацій гербіциду 1,0; 2,5; 5,0; 7,5 і 10,0 мг/л, активність каталази у тканинах проростків збільшувалась на 7,8–41,5 %, активність пероксидази та поліфенолоксидази – на 18,8–68,4 % і 15,8–115,8 % відповідно.

I. Panfili et al. [8], у своїх дослідженнях зазначає, що обробка рослин кукурудзи гербіцидом Метолахлор у нормах 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 і 8,0 мг/л призводила до зростання активності каталази і пероксидази відносно варіантів без внесення гербіциду. В той же час, за сумісного внесення гербіциду з регулятором росту рослин природного походження Мегафол, показники активності обох ферментів були істотно вищими від показників тотожних варіантів, де даний препарат не застосовувався.

За даними З. М. Грицаєнко [9], застосування мікробіологічного препарату Діазобактерин, у нормах 150, 175 і 200 мл/т для передпосівної обробки насіння гречки призводило до зростання активності каталази, пероксидази і поліфенолоксидази порівняно з контролем на 13,6 %, 4,9 % і 9,3 %. Поєднання ж передпосівної обробки насіння Діазобактерином із подальшою обробкою вегетуючих рослин регулятором росту рослин Радостим призводило до зростання активності каталази на 33,3 %, пероксидази – на 15,0 %, і поліфенолоксидази – на 19,9 %.

Аналіз літературних джерел свідчить, що питання впливу хімічних і біологічних препаратів на антиоксидантні системи культурних рослин вивчалося як вітчизняними, так і зарубіжними вченими. Проте, у літературі практично не зустрічається повідомлень стосовно комплексного впливу гербіцидів, регуляторів росту рослин і мікробних препаратів на активність антиоксидантних ферментів сорго зернового, що й обумовило актуальність даного дослідження.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Активність окремих ферментів класу оксидоредуктаз визначали у тканинах листків рослин сорго зернового (*Sorghum bicolor (L.) Moench*) гібриду Майло В (*Milo W*) [12] за дії гербіциду Цитадель 25 OD, МД (діюча речовина – пенокссулам 25 г/л), регулятора росту рослин (РРР) Ендофіт L1 (ауксини, гібереліни, цитокініни – 0,26 – 0,52%) і біопрепарату Біоарсенал (гриби *Beauveria Bassiana*, штам MG 301 (GHA), КУО $2x10^{10}$; *Beauveria Bassiana*, штам MG 302 (DB-1), КУО $2x10^{10}$; бактерії *Azospirillum spp*. – MG 401, КУО $1,5x10^{10}$ та *Azotobacter spp.* – MG 402, КУО $1,5x10^{10}$ на 100 г препарату) [13].

Досліди проводили в умовах сівозміни кафедри біології Уманського НУС впродовж 2019–2020 років. Схема досліду включала варіанти без застосування препаратів (контроль I), ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II), Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га окремо і в сумішах з РРР Ендофіт L1 (30 мл/га) на фоні передпосівної обробки насіння біопрепаратом Біоарсенал (800 г/ 100 кг) та без неї.

Внесення препаратів проводили у фазу 3–6 листків культури. Визначення активності ферментів проводили у фази кущення та викидання волоті сорго зернового, зокрема, активність каталази (КФ. 1.11.1.6) визначали йодометричним методом, порівнюючи кількість H_2O_2, що не розклався у контрольному і досліджуваному розчинах; активність пероксидази (КФ. 1.11.1.7) визначали за кількістю гваяколу, що окислився пероксидом водню в присутності пероксидази. Оптичну густину робочих розчинів визначали при температурі 20˚С з використанням спектрофотометра Visible Spectrophotometer 721G при довжині хвилі 440 нм і товщині оптичного шару 10 мм. Активність поліфенолоксидази (КФ. 1.14.18.1) встановлювали, визначаючи кількість розкладеної аскорбінової кислоти, шляхом титрування робочого розчину 0,01 Н розчином йодату калію в присутності 0,5% розчину крохмалю до появи синього забарвлення [14].

Статистичний аналіз одержаних результатів проводили за загальноприйнятими методиками [15] з використанням програмного забезпечення Microsoft Office Excel.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Аналіз результатів виконаних досліджень показав значні зміни у ферментативній активності листків сорго зернового за дії різних норм та комбінацій досліджуваних препаратів (табл. 1). Так, у фазу кущення за норм внесення гербіциду Цитадель 25 OD 0,6; 0,8 і 1,0 л/га активність каталази перевищувала контроль на 14,2; 21,6 і 37,7 %, пероксидази – на 12,0; 18,2 і 28,2 %, поліфенолоксидази – 14,0; 20,4 і 29,9 %.

Таблиця 1. **Активність ферментів класу оксидоредуктаз у листках сорго зернового дії гербіциду Цитадель 25 OD, РРР Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (фаза кущення)**

Варіант досліду	Каталаза, мкМоль розкладеного H_2O_2/г сирої речовини за 1 хв.	Пероксидаза, мкМоль окисненого гваяколу/г сирої речовини за 1 хв.	Поліфенолоксидаза, мкМоль окисненої аскорбінової кислоти/г сирої речовини за 1 хв.
Без застосування препаратів (контроль I)	97,9	125,4	15,7
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	103,1	132,2	16,9
Цитадель 0,6 л/га	111,8	140,5	17,9
Цитадель 0,8 л/га	119,1	148,3	18,9
Цитадель 1,0 л/га	134,8	160,8	20,4
Ендофіт L1 30 мл/га	106,4	135,3	17,1
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	121,9	148,8	19,2
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	133,1	159,0	21,5
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	153,9	175,6	23,6
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	105,1	134,2	17,0
Фон + ручні прополювання	108,3	137,8	17,3
Фон + Цитадель 0,6 л/га	120,4	148,5	18,9
Фон + Цитадель 0,8 л/га	130,8	157,6	20,7
Фон + Цитадель 1,0 л/га	153,2	173,1	22,9
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	111,4	142,0	17,7
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	128,6	163,9	20,8
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	139,9	174,2	22,8
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	162,5	190,1	25,1
HIP_{05}^{*}	3,9–6,1	4,7–8,1	0,8–0,9

Примітка: * – наведено мінімальні і максимальні значення за роки досліджень

Така активізація ферментативної системи узгоджується з результатами дослідів інших вчених [3, 16] і, очевидно, є наслідком посилення детоксикаційних процесів у рослинах у відповідь на проникнення ксенобіотика.

Однак, за тих же норм гербіциду внесених сумісно з РРР Ендофіт L1 активність каталази, пероксидази і поліфенолоксидази перевищувала відповідні показники у варіантах із самостійним внесенням гербіциду на 9,0–14,2; 5,9–9,2 і 7,3–15,7 % відповідно. Подібний ефект спостерігався і за внесення гербіциду у вказаних нормах по фону передпосівної обробки насіння Біоарсеналом, де активність даних ферментів зростала відносно варіантів де вносили лише гербіцид на 7,7–13,6; 5,7–7,6 і 5,6–12,2 % відповідно для каталази, пероксидази і поліфенолоксидази. Ймовірно, зростання активності досліджуваних ферментів у варіантах досліду з використанням РРР і біопрепарату пояснюється здатністю складових даних препаратів активізувати фізіолого-біохімічні процеси в рослинах, у тому числі й пов’язані з нейтралізацією активних форм кисню (АФК).

Найвищу активність досліджуваних ферментів було відмічено за внесення гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га сумісно з РРР Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння Біоарсеналом. За даного поєднання препаратів активність каталази перевищувала показники варіантів із самостійним внесенням гербіциду на 15,0–20,5 %, пероксидази – 16,6–18,2 %, поліфенолоксидази – 16,2–23,0 %.

У фазу викидання рослинами волоті (табл. 2) в листках сорго було відмічено загальне зниження активності ферментів порівняно з фазою кущення, проте, як і в попередню фазу, вона залежала від норм застосування гербіциду окремо і в комплексі з РРР та біопрепаратом. Так, у варіантах із самостійним внесенням гербіциду в нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га показники активності каталази в середньому знижувались на 3,9; 3,7 і 3,0 % відносно тотожних варіантів у фазу кущення. Активність пероксидази і поліфенолоксидази при цьому знижувалась у межах 2,7–4,6 % і 9,8–15,0 % відповідно. Подібний результат імовірно пояснюється тим, що за період між досліджуваними фазами відбулась стабілізація детоксикаційних процесів, у результаті чого знизилась кількість утворюваних АФК, що в цілому зумовило зниження активності ферментів. Проте за сумісного внесення гербіциду Цитадель 25 OD у зазначених нормах сумісно з РРР Ендофіт L1 зниження активності ферментів було більш відчутним порівняно з варіантами самостійного внесення гербіциду, що може свідчити про вищу інтенсивність детоксикаційних процесів у рослинах.

Таблиця 2. **Активність ферментів класу оксидоредуктаз у листках сорго зернового за дії гербіциду Цитадель 25 OD, РРР Ендофіт L1 і біопрепарату Біоарсенал (фаза викидання волоті)**

Варіант досліду	Каталаза, мкМоль розкладеного H_2O_2/г сирої речовини за 1 хв.	Пероксидаза, мкМоль окисненого гваяколу/г сирої речовини за 1 хв.	Поліфенолоксидаза, мкМоль окисненої аскорбінової кислоти/г сирої речовини за 1 хв.
Без застосування препаратів (контроль I)	102,6	121,0	14,2
Ручні прополювання впродовж вегетації (контроль II)	98,3	111,2	13,6
Цитадель 0,6 л/га	107,4	134,1	15,2
Цитадель 0,8 л/га	114,7	143,2	16,6
Цитадель 1,0 л/га	130,7	156,4	18,4
Ендофіт L1 30 мл/га	99,7	112,3	13,5
Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	113,1	139,8	16,2
Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	124,8	150,6	18,4
Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	145,9	167,9	20,8
Біоарсенал 800 г/100 кг (фон)	99,3	111,6	13,5
Фон + ручні прополювання	92,2	104,4	12,6
Фон + Цитадель 0,6 л/га	112,2	140,1	16,1
Фон + Цитадель 0,8 л/га	123,0	149,7	17,9
Фон + Цитадель 1,0 л/га	144,9	165,8	20,4
Фон + Ендофіт L1 30 мл/га	95,9	108,5	13,1
Фон + Цитадель 0,6 л/га + Ендофіт L1	115,2	147,7	16,8
Фон + Цитадель 0,8 л/га + Ендофіт L1	127,3	159,4	18,8
Фон + Цитадель 1,0 л/га + Ендофіт L1	149,8	176,6	21,6
HIP_{05}^{*}	3,7–5,6	4,6–7,9	0,7–0,8

Примітка: * – наведено мінімальні і максимальні значення за роки досліджень

Так, активність каталази при цьому знижувалась на 5,2–7,2 % порівняно з попередньою фазою досліджень, пероксидази – 4,4–6,0 %, поліфенолоксидази – 11,8–15,6 %. Варіанти, де гербіцид вносили по фону передпосівної обробки насіння Біоарсеналом, виявили подібну тенденцію – активність каталази, пероксидази і поліфенолоксидази знижувалась відносно показників у фазу кущення на 5,4–6,8; 4,2–5,6 і 10,9–14,8 % відповідно.

Досить високою залишалася активність ферментів у варіантах із внесенням гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га сумісно з РРР Ендофіт L1 на фоні передпосівної обробки насіння Біоарсеналом. При цьому активність каталази, порівняно з варіантами самостійного внесення гербіциду була вищою на 7,3–14,6 %, пероксидази – на 10,1–12,9 %, поліфенолоксидази – на 10,5–17,4 %. У цих же варіантах спостерігалося найбільше зниження активності ферментів порівняно з попередньою фазою досліджень. Так, активність каталази знижувалась на 7,8–10,4 %, пероксидази – на 7,1–9,9 %, поліфенолоксидази – на 13,9–19,2 %.

ВИСНОВКИ

Таким чином, застосування гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га призводить до зростання активності окремих ферментів класу оксидоредуктаз у листках сорго зернового. Водночас, за сумісного внесення гербіциду з РРР Ендофіт L1, а також за внесення його по фону передпосівної обробки насіння Біоарсеналом, відбувається більш виражене зростання активності каталази, пероксидази і поліфенолоксидази, ніж у варіантах із самостійним внесення гербіциду.

Встановлено, що максимальна ферментативна активність у листках сорго зернового спостерігається за використання гербіциду Цитадель 25 OD у нормах 0,6; 0,8 і 1,0 л/га сумісно з РРР Ендофіт L1 (30 мл/га) на фоні передпосівної обробки насіння Біоарсеналом (800 г/ 100 кг). За таких умов активність каталази, пероксидази і поліфенолоксидази у листках сорго зернового зростає відносно контролю у середньому за роками та фазами розвитку на 37,1; 36,8 і

40,1 %, що забезпечує посилення здатності рослин нейтралізувати шкодочинні метаболіти гербіцидного препарату.

ЛІТЕРАТУРА

1. Jiang L., Yang H. Prometryne-induced oxidative stress and impact on antioxidant enzymes in wheat. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2009. Vol. 72, № 6. P. 1687–1693. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2009.04.025.
2. Defenses against ROS in crops and weeds: the effects of interference and herbicides / A. Caverzan et al. *International journal of molecular sciences*. 2019. Vol. 20, № 5. 1086 P. DOI: 10.3390/ijms20051086.
3. Біологічні основи інтегрованої дії гербіцидів і регуляторів росту рослин / Карпенко В. П. та ін. ; за ред. В. П. Карпенка. Умань, 2012. 357 с.
4. Antioxidative defense activation in soybean cells / O. C. Knorzer et al. *Physiologia Plantarum*. 1999. Vol. 107, № 3. P. 294–302. DOI: 10.1034/j.1399-3054.1999.100306.x.
5. Влияние регуляторов роста на биометрические показатели и активность оксидоредуктаз сои / В. И. Разанцвей и др. *Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки*. 2016. Т. 2. С. 65–72. DOI: 10.18384/2310-7189-2016-2-65-72
6. KEGG ENZYME: 1.11.1.6. URL: https://www.genome.jp/dbget-bin/www_bget?ec:1.11.1.6 (дата звернення 11.09.2020).
7. KEGG ENZYME: 1.11.1.7. URL: https://www.genome.jp/dbget-bin/www_bget?enzyme+1.11.1.7 (дата звернення 11.09.2020).
8. KEGG ENZYME: 1.14.18.1. URL: https://www.genome.jp/dbget-bin/www_bget?ec:1.14.18.1 (дата звернення 11.09.2020).
9. Oxidative stress and antioxidant metabolic enzymes response of maize (Zea mays L.) seedlings to a biotic stress (Alachlor) condition / N. K.

Hemanth Kumar et al. *International Journal of Agriculture Sciences*. 2016. Vol. 8, № 51. P. 2227–2231.

10. Application of a plant biostimulant to improve maize (*Zea mays*) tolerance to Metolachlor / I. Panfili et al. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2019. Vol. 67, № 44. P. 12164–12171. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b04949.
11. Грицаєнко З. М., Даценко А. А. Активність антиоксидантних ферментів у рослинах гречки за дії біологічних препаратів. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2014. № 84. С. 38–44.
12. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2020 рік / Міністерство аграрної політики та продовольства України. URL: https://sops.gov.ua/reestr-sortiv-roslin. (дата звернення 20.02.2020)
13. Перелік пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні / Міністерство екології та природних ресурсів України : Київ, 2018. 1040 с.
14. Починок Х. Н. Методы биохимического анализа растений. Киев : Наукова думка, 1976. С. 165–178.
15. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва : Агропромиздат, 1985. 351 с.
16. A comparative study on the interference of two herbicides in wheat and Italian ryegrass and on their antioxidant activities and detoxification rates / D. Del Buono et al. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2011. Vol. 59, № 22. P. 12109-12115. DOI: 10.1021/jf2026555.

REFERENCES

1. Jiang, L., & Yang H. (2009). Prometryne-induced oxidative stress and impact on antioxidant enzymes in wheat. *Ecotoxicology and*

Environmental Safety, 72(6), 1687–1693. doi: 10.1016/j.ecoenv.2009.04.025 [in English].

2. Caverzan, A., Piasecki, C., Chavarria, G., Stewart, C., & Vargas, L. (2019). Defenses against ROS in crops and weeds: the effects of interference and herbicides. *International journal of molecular sciences*, 20(5), 1086. doi: 10.3390/ijms20051086 [in English].
3. Karpenko V. P. (Ed.). (2012). *Biolohichni osnovy intehrovanoi dii herbicydiv i rehuliatoriv rostu roslyn* [*Biological basis of integrated action of herbicides and plant growth regulators*]. Uman: Sochinskyi [in Ukrainian].
4. Knorzer, O. C., Lederer, B., Durner, J., & Boger, P. (1999). Antioxidative defense activation in soybean cells. *Physiologia Plantarum*, 107(3), 294–302. doi: 10.1034/j.1399-3054.1999.100306.x [in English].
5. Razantsvey, V. I., Ivachenko, L. Ye., Razantsvey, P. N., & Konichev, A. S. (2016). Vliyanie regulyatorov rosta na biometricheskie pokazateli i aktivnost oksidoreduktaz soi [*Influence of growth regulators on biometric parameters and activity of soya oxidoreductase*]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Yestestvennye nauki* [*Bulletin of the Moscow state regional university. Series: Natural sciences*], 2, 65–72. doi: 10.18384/2310-7189-2016-2-65-72 [in Russian].
6. Kanehisa Laboratories. (n.d.). *KEGG ENZYME: 1.11.1.6.* Retrieved from https://www.genome.jp/dbget-bin/www_bget?ec:1.11.1.6
7. Kanehisa Laboratories. (n.d.). *KEGG ENZYME: 1.11.1.7.* Retrieved from https://www.genome.jp/dbget-bin/www_bget?enzyme+1.11.1.7
8. Kanehisa Laboratories. (n.d.). *KEGG ENZYME: 1.14.18.1*. Retrieved from https://www.genome.jp/dbget-bin/www_bget?ec:1.14.18.1
9. Hemanth Kumar, N. K., Meena, S. K., Meena, S. V., & Jagannath, S. (2016). Oxidative stress and antioxidant metabolic enzymes response of maize (Zea mays L.) seedlings to a biotic stress (Alachlor) condition.

International Journal of Agriculture Sciences, 8(51), 2227–2231 [in English].

10. Panfili, I., Bartucca, M.L., Marrollo, G., Povero, G., & Buono, D.D. (2019). Application of a plant biostimulant to improve maize (Zea mays) tolerance to metolachlor. *Journal of agricultural and food chemistry*, 67(44), 12164–12171. doi: 10.1021/acs.jafc.9b04949 [in English].
11. Hrytsaienko, Z. M. & Datsenko, A. A. (2014) Aktyvnist antyoksydantnykh fermentiv u roslynakh hrechky za dii biolohichnykh preparativ [*Activity of antioxidant enzymes in the plants of buckwheat under the action of biological preparations*]. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva* [*Collected Works of Uman National University of Horticulture*], 84, 38–44 [in Ukrainian].
12. Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. (2020). *Derzhavnyi reiestr sortiv roslyn, prydatnykh dlia poshyrennia v Ukraini na 2020 rik* [*State Register of Plant Varieties Suitable for Distribution in Ukraine for 2020*]. Retrieved from https://sops.gov.ua/reestr-sortiv-roslin [in Ukrainian].
13. Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. (2018). *Perelik pestytsydiv i ahrokhimikativ, dozvolenykh do vykorystannia v Ukraini* [*List of pesticides and agrochemicals approved for use in Ukraine*]. Uman [in Ukrainian].
14. Pochinok, Kh. N. (1976). *Metody biokhimicheskogo analiza rasteniy* [*Methods of biochemical analysis of plants*]. Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian].
15. Dospehov, B. A. (1985). *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoj obrabotki rezultato vissledovanija* [*Methods of field experiments (with the basics of statistical processing of the results)*]. Moscow. Agropromizdat [in Russian].
16. Del Buono, D., Ioli, G., Nasini, L., & Proietti, P. (2011). A comparative study on the interference of two herbicides in wheat and italian ryegrass

and on their antioxidant activities and detoxification rates. *Journal of agricultural and food chemistry*, 59(22), 12109–12115. doi: 10.1021/jf2026555 [in English].

ANTIOXIDANT ENZYMES ACTIVITY IN GRAIN SORGHUM PLANTS UNDER THE ACTION OF A HERBICIDE, A PLANT GROWTH REGULATOR AND A BIOPREPARATION

Karpenko V.
Doctor of agricultural sciences, professor
Uman national university of horticulture (Uman, Ukraine)
e-mail: unuh1844@gmail.com; ORCID: 0000-0001-5607-7371
Krasnoshtan V.
Postgraduate student
Uman national university of horticulture (Uman, Ukraine)
e-mail: wasia1995@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8572-5008
Prytuliak R.
Candidate of agricultural sciences, associate professor
Uman national university of horticulture (Uman, Ukraine)
radak7484402@ukr.net
Mostoviak I.
Candidate of agricultural sciences, associate professor
Uman national university of horticulture (Uman, Ukraine)
e-mail: zahist@udau.edu.ua; ORCID: 0000-0003-4585-3480
Hnatiuk M
Senior lecturer
Uman national university of horticulture (Uman, Ukraine)
e-mail: pmoapv@udau.edu.ua

Herbicides, being substances with a high physiological activity, can affect not only weeds but also cultural plants. At the same time, there are many evidences that usage of plant growth regulators and pre-sowing seeds treatment by biological preparations can reduce the potential harmful impact of herbicides. Antioxidant systems are one of the first plant systems which react to the permeation of exogenous physiologically active substances. Therefore, one of the effective ways to estimate the influence of different preparations on plants condition is estimation of the antioxidant enzymes activity, particularly - catalase, peroxidase and polyphenoloxidase. To estimate enzymes activity in leaves of grain sorghum, a field experiment has been laid. It was conducted in crop rotation of the biology department of Uman national university of horticulture during 2019–2020. In the experiments were used: grain sorghum (*Sorghum bicolor (L.) Moench*) of the Milo W hybrid, herbicide Cytadel 25

OD in rates of 0,6; 0,8 and 1,0 l/ha, plant growth regulator Endofit L1 (30 ml/ha) and biopreparation Bioarsenal (800 g/ 100 kg). Enzymes activity was estimated in phases of tillering and throwing panicles. It was established that the enzymes activity of grain sorghum depended on the herbicide rate and raised simultaneously with its increasement. However, application of the herbicide in conjunction with the plant growth regulator Endofit L1 caused more significant increasement of the investigated enzymes compared to the variants where only herbicide was applied. The similar effect established in variants where the herbicide was applied on the background of pre-sowing seeds treatment by the biopreparation Bioarsenal. The highest activity of the antioxidant enzymes established in the variants where the herbicide Citadel 25 OD in rates of 0,6; 0,8 and 1,0 l/ha was applied in conjunction with the plant growth regulator Endofit L1 on the background of pre-sowing seeds treatment by the biopreparation Bioarsenal. It indicates increasement of the plant's antioxidant status in case of using this combination of preparates.

***Key words*:** antioxidant enzymes, grain sorghum, plant growth regulator, herbicide, biopreparate

Відомості про авторів

Карпенко Віктор Петрович, доктор сільськогосподарських наук, професор; Уманський національний університет садівництва (вул. Інститутська 1, м. Умань, Черкаська обл., 20300; e-mail: unuh1844@gmail.com; тел.: +380979637730; ORCID: 0000-0001-5607-7371)

Красноштан Василь Ігорович, аспірант; Уманський національний університет садівництва (вул. Інститутська 1, м. Умань, Черкаська обл., 20300; e-mail: wasia1995@gmail.com; тел.: +380501696905; ORCID: 0000-0001-8572-5008)

Притуляк Руслан Миколайович, кандидат сільськогосподарських наук, доцент; Уманський національний університет садівництва (вул. Інститутська 1, м. Умань, Черкаська обл., 20300; e-mail: radak7484402@ukr.net; тел.: +380679601502)

Мостов'як Іван Іванович, кандидат сільськогосподарських наук, доцент; Уманський національний університет садівництва (вул. Інститутська 1, м. Умань, Черкаська обл., 20300; e-mail: zahist@udau.edu.ua; тел.: +380635634435; ORCID: 0000-0003-4585-3480)

Гнатюк Михайло Григорович, старший викладач; Уманський національний університет садівництва (вул. Інститутська 1, м. Умань, Черкаська обл., 20300; тел.: (04744) 3-98-93)