

УДК 632.54;633.16: 577, 164.2

**ІНТЕНСИВНІСТЬ ПРОЦЕСІВ ЛІПОПЕРОКСИДАЦІЇ ТА СТАН
АНТИОКСИДАНТНИХ СИСТЕМ ЗАХИСТУ ЯЧМЕНЮ ЯРОГО ЗА ДІЇ
ГЕРБІЦИДУ ГРАНСТАР 75 І РЕГУЛЯТОРА РОСТУ РОСЛИН
ЕМІСТИМ С**

В.П.КАРПЕНКО, кандидат сільськогосподарських наук

Приводяться результати досліджень про вплив різних норм гербіциду Гранстару 75 (10; 15; 20 і 25 г/га), внесеного роздільно і в сумішах із регулятором росту рослин Емістимом С, на інтенсивність проходження процесів ліпопероксидації в рослинах ячменю ярого та функціонування антиоксидантних систем захисту (активність ферментів – глутатіон-S-трансферази, супероксиддисмутази та вміст у рослинах сполук-антиоксидантів – глутатіону і аскорбінової кислоти).

Гербіциди, як фізіологічно активні речовини, здатні швидко проникати в рослини, де вони піддаються метаболічній трансформації (детоксикації). Значну роль в цих процесах відіграють ферментативні системи. Так, детоксикація більшості гербіцидів, у тому числі й сульфонілсечовин, відбувається у результаті взаємодії з цитохром Р₄₅₀ залежними монооксигеназами (Сyt Р₄₅₀), які є не тільки конституційними, але й спроможними до індукції з ферментами, активність яких може посилюватись [1].

Серед однієї з причин, яка зумовлює зміну активності ферментів під дією гербіцидів, вчені називають продукування активних форм кисню (АФК), які утворюються в результаті діяльності Р₄₅₀ – монооксигеназної системи [2]. Комплекс Сyt Р₄₅₀ є інтегрованим у мембрани ендоплазматичного ретикулуму, де за його участі здійснюється первинна модифікація ксенобіотика. В результаті багатогранних реакцій частина електронів може перехоплюватись киснем, що спонукає до утворення супероксидрадикалів. Така особливість дії ферментного комплексу сприяє накопиченню в клітині АФК [3].

Окрім Сyt Р₄₅₀ джерелами АФК в клітині можуть бути хлоропласти, в яких у процесі фотосинтезу утворюється синглетний кисень, супероксидрадикал і в подальшому – пероксид водню; мітохондрії, де в результаті функціонування дихального електротранспортного ланцюга продукується супероксидрадикал, а потім – пероксид водню; пероксисоми та гліоксисоми, в яких проходять реакції з утворенням пероксиду водню.

На утворенні АФК в рослинах ґрунтується дія таких гербіцидів як Паракват, Дикват, Норфлуразон, а також грамініцидів [4, 5]. Однак, в культурних рослинах продукування АФК за дії гербіцидів може мати негативні наслідки, оскільки при цьому запускаються реакції пероксидного окиснення ліпідів (ПОЛ), які викликають порушення процесів метаболізму і призводять до

пошкодження мембран, нуклеїнових кислот і білків [6,7]. Активні радикали, головним чином HO^\cdot , взаємодіючи з органічними речовинами, утворюють гідропероксиди ДНК, білків і ліпідів (ROOH). Такі окиснювальні модифікації негативно позначаються на фізіолого-біохімічних процесах у рослинах, функціонуванні окремих їх тканин і органів, що в цілому призводить до порушення продукційного процесу. У зв'язку з цим у рослинах існують системи антиоксидантного захисту, представлені ферментами-антиоксидантами та низькомолекулярними антиоксидантними сполуками [8].

Найбільш важливу роль в антиоксидантному захисті рослин за дії гербіцидів відіграє фермент глутатіон-S-трансфераза (GST), який є посередником у нуклеофільній атаці відновленого глутатіону на електрофільні зони ксенобіотиків з утворенням нетоксичних гідроксильних кон'югатів. Вважають, що цей фермент може каталізувати детоксикацію пероксидів ліпідів, зв'язуючи глутатіон з гідрофобними електрофілами, а також діяти як пероксидаза проти гідропероксидів вільних жирних кислот, захищаючи клітинні мембрани від ушкоджень, пов'язаних з пероксидацією ліпідів [9,10].

На сьогодні доведеним залишається той факт, що за дії гербіцидів активність GST значно зростає, що є наслідком кон'югування токсикантів із глутатіоном та пояснюється участю фермента в нейтралізації АФК [11,12].

Для ліквідації АФК в рослинах функціонують й інші специфічні ферментні системи (супероксиддисмутаза (СОД), пероксидаза, каталаза, аскорбатоксидаза, глутатіонпероксидаза й ін.) [10,13]. Однак, щодо зміни активності даних ферментів за дії гербіцидів у літературі зустрічається обмежена кількість публікацій, у переважній більшості з яких учені вказують на підвищення активності ферментів, зокрема СОД, як важливої складової нейтралізації АФК.

Важливу роль в антиоксидантному захисті рослин відіграють низькомолекулярні сполуки такі як глутатіон (GSH) і аскорбінова кислота [3,14,15]. Завдяки їм у рослинах функціонує аскорбат-глутатіоновий цикл, в якому відбувається відновлення субстратів антиоксидантів за використання НАДФ·Н, як головного донора електронів. Та, загалом, роль і стан низькомолекулярних антиоксидантів у рослинах за дії гербіцидів є мало вивченими. Тому, в останній час увагу вчених все більше привертає питання вивчення механізмів підвищення антиоксидантного захисту рослин. З цією метою пропонується застосовувати регулятори росту рослин (PPR) та інші як синтетичні, так і природні сполуки [16]. Встановлено, що екзогенні антиоксиданти підвищують стійкість рослин до стресів біотичної і абіотичної природи шляхом активізації антиоксидантного захисту рослин до окисного стресу та інших ефектів, пов'язаних із генерацією АФК [17]. Так, встановлено, що за використання екзогенних PPR в рослинах суттєво знижуються реакції ПОЛ, збільшується вміст антиоксидантів (аскорбату, GSH, вітаміну Е та ін.) [18–20], підвищується активність основних антиоксидантних ферментів [21]. Однак, зважаючи на вищенаведені дані можна відмітити, що реакція антиоксидантних ферментних систем у рослинах на застосування різних видів гербіцидів і біологічних препаратів є більш вивченою розрізнено, у той же час

питання сумісної дії препаратів на активність і стан антиоксидантних систем у рослинах ячменю ярого залишається практично не дослідженим.

З огляду на це, метою наших досліджень було встановити, як за сумісної та розрізної дії гербіциду і РРР змінюються процеси ліпопероксидації в рослинах ячменю ярого, та як при цьому на дію препаратів реагують основні антиоксидантні системи захисту.

Методика досліджень. Досліди виконували в лабораторних умовах кафедри біології Уманського ДАУ в 2006 році. Об'єктом досліджень слугували рослини ячменю ярого (*Hordeum vulgare* L.) сорту Звершення, які вирощували в пластикових посудинах з чорноземом опідзоленим важкосуглинковим з дотриманням вимог вегетаційного методу [22]. Внесення препаратів виконували, починаючи від появи в рослин третього листка, за схемою: обробка водою (контроль), РРР Емістим С 10 мл/га, Гранстар 75 у нормах 10; 15; 20 і 25 г/га окремо і в комплексі з РРР Емістимом С у нормі 10 мл/га. Норми внесення препаратів розраховували на відповідну площу з врахуванням норми витрати води 300 л/га. Повторність досліду – чотириразова. Аналізи в дослідах виконували на третій і десятій день після внесення препаратів.

Інтенсивність реакцій ПОЛ у листках ячменю ярого вивчали за накопиченням продукту пероксидного окиснення ліпідів – малонового діальдегіду (МДА) – за реакцією із тіобарбітуровою кислотою (ТБК) при 532 нм, $E = 155 \text{ мм}^{-1}\text{см}^{-1}$ згідно методики, викладеної Ю.А.Владимировим та А.І.Арчаковим [23] у модифікації В.В.Рогожина [24]. Активність GST оцінювати за швидкістю утворення глутатіон – S – кон'югатів між відновленим глутатіоном і 1-хлор-2,4-динітробензолом, концентрацію яких реєстрували спектрофотометрично при 340 нм [25]. Вміст глутатіону визначали за реакцією взаємодії із ДТНБК (5,5-дітіо-біс-2-нітробензойною кислотою) та утворенням забарвленого в жовтий колір 2-нітро-5-тіобензоата, збільшення концентрації якого відмічали при 412 нм [26], враховуючи модифікації для рослинних об'єктів [27]. Вміст аскорбінової кислоти визначали спектрофотометрично при 530 нм за реакцією з 2,6 – дихлорфеноліндофенолом [28].

Результати досліджень. У результаті проведених досліджень встановлено, що на третій день після внесення гербіциду Гранстару 75 як роздільно, так і в комплексі з Емістимом С вміст ТБК-активних продуктів (МДА) в листках ячменю ярого значно збільшувався, особливо це прослідковувалось у варіантах із внесенням Гранстару 75 без РРР (рис. 1). Очевидно, активація процесів ПОЛ є наслідком інтенсивного утворення активних форм кисню [4], особливо за участі комплексу Сут P_{450} , який приймає безпосередню участь в детоксикації сульфонілсечовинних препаратів [1, 2], до яких належить Гранстар 75. В той же час, у варіантах досліду, де Гранстар 75 застосовували сумісно з Емістимом С вміст МДА знижувався, зокрема за внесення Гранстару 75 у нормі 10 і 15 г/га вміст МДА був нижчим або близьким до контрольного значення (19,4 і 24,3 мкМоль/г сирової маси відповідно проти 22,3 мкМоль/г сирової маси в контролі), а у варіантах із Гранстаром 75 20 і 25 г/га сумісно з Емістимом С ці показники були на 7,0 і 4,7 мкМоль/г сирової маси нижчими проти показників у відповідних варіантах без застосування РРР та $НІР_{01} 1,92$. Ці дані узгоджуються з

експериментальними даними інших учених [19–21], які за використання екзогенних РРР відмічали зниження або стабілізацію процесів ПОЛ у рослинах.

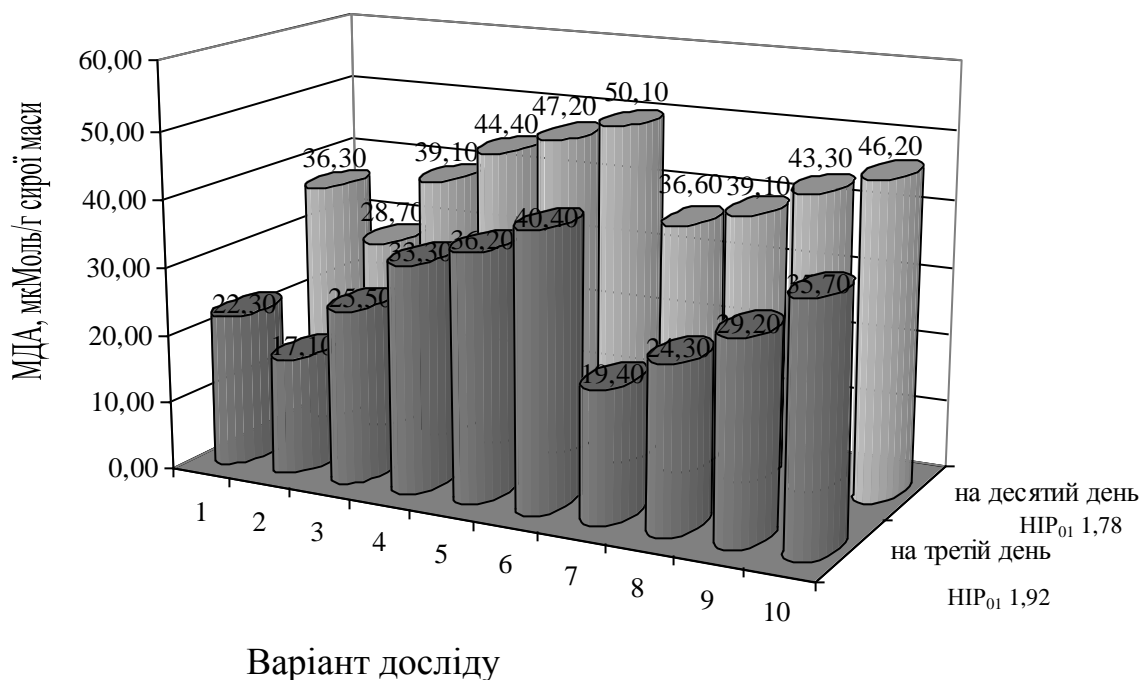


Рис. 1. Вплив різних норм гербіциду Гранстару 75, внесених роздільно і в комплексі з РРР Емістимом С, на пероксидне окиснення ліпідів у листках ячменю ярого :

- | | |
|-------------------------------|---|
| 1 – Обробка водою (контроль); | 6 – Гранстар 75 – 25 г/га; |
| 2 – Емістим С; | 7 – Гранстар 75 – 10 г/га + Емістим С; |
| 3 – Гранстар 75 – 10 г/га; | 8 – Гранстар 75 – 15 г/га + Емістим С; |
| 4 – Гранстар 75 – 15 г/га; | 9 – Гранстар 75 – 20 г/га + Емістим С; |
| 5 – Гранстар 75 – 20 г/га; | 10 – Гранстар 75 – 25 г/га + Емістим С. |

На десятий день після застосування препаратів спостерігалось загальне підвищення рівня ПОЛ в рослинах ячменю ярого. Так, якщо на третій день вміст МДА в контролі складав 22,3, то на десятий – 36,3 мкМоль/г сирової маси, що може бути свідченням активізації ростових та обмінних процесів у рослинах (перехід до фази кущіння), невід’ємним продуктом яких є генерування АФК. Однак, в цілому, в варіантах досліджу прослідковувалась така ж закономірність, як і на третій день визначення. Зокрема, найнижчий рівень ПОЛ спостерігався у варіантах досліджу, де Гранстар 75 застосовували сумісно з Емістимом С.

Для з’ясування причин зниження рівня ПОЛ за сумісного використання гербіциду з РРР нами було проведено визначення активності GST і СОД.

Відомо, що GST каталізують один із шляхів біодеградації токсикантів у рослинах, а СОД – реакцію дисмутації супероксиданіона з утворенням менш реакційного пероксиду водню. Як показали результати досліджень (табл.), у всіх варіантах досліджу активність GST і СОД як на третій, так і на десятий день визначення значно перевищувала контрольні показники (обробка водою),

однак, при цьому були відмічені такі особливості: активність GST у варіантах Гранстар 75 у нормах 10 – 25 г/га на десятий день перевищувала відповідні показники у цих же варіантах на третій день визначення, тоді як активність GST у варіантах Гранстар 75 10 – 25 г/га сумісно з PPP на десятий день дещо знижувалась проти показників на третій день визначення; активність же СОД як на третій, так і на десятий день у всіх варіантах дослідів була високою, однак, активність СОД у варіантах із внесенням гербіциду в комплексі з PPP перевищувала аналогічні показники у варіантах із внесенням гербіциду без PPP. Підвищена активність GST і СОД в рослинах ячменю ярого може свідчити про інтенсифікацію реакцій детоксикації та дисмутації, особливо у випадку сумісного застосування гербіциду й PPP, що в свою чергу, забезпечує більш активне знешкодження токсиканта і АФК (супероксиданіона) та в цілому знижує рівень ПОЛ у рослинах.

Активність GST і СОД у листках ячменю ярого за дії різних норм гербіциду Гранстарту 75, внесених роздільно і в комплексі з PPP Емістимом С

Варіант дослідів	GST, мкМоль/г сирової маси за 1 хв.		СОД, ум.од./г сирової маси	
	на третій день	на десятий день	на третій день	на десятий день
Обробка водою (контроль)	4,60	5,13	1,13	1,93
Емістим С	5,04	5,77	1,86	2,35
Гранстар 75 10 г/га	4,91	5,43	1,42	2,14
Гранстар 75 15 г/га	5,16	5,81	1,83	2,78
Гранстар 75 20 г/га	5,43	6,13	2,13	3,01
Гранстар 75 25 г/га	4,88	5,97	2,56	3,12
Гранстар 75 10 г/га + Емістим С	5,33	5,31	1,87	2,68
Гранстар 75 15 г/га + Емістим С	5,78	5,62	2,34	3,12
Гранстар 75 20 г/га + Емістим С	6,41	6,0	2,68	3,43
Гранстар 75 25 г/га + Емістим С	5,92	5,17	3,01	3,78
НІР ₀₁	0,12	0,19	0,25	0,23

Очевидно, що відчутне зниження рівня ПОЛ у варіантах дослідів з комплексним застосуванням гербіциду й PPP та більш швидкі темпи детоксикації токсиканта обумовлюють в подальшому стабілізацію та незначне зниження активності GST.

З даних літератури [3] відомо, що відповідною реакцією рослинного організму на окиснювальний стрес є посилений синтез GSH, аскорбінової кислоти та інших антиоксидантів. Зокрема, GSH приймає безпосередню участь в реакціях кон'югації з органічними ксенобіотиками, що каталізуються GST.

Тому, вміст ГSH у рослинах може свідчити про направленість детоксикаційних процесів.

Як показали результати експерименту (рис. 2), найвищий вміст ГSH у листках ячменю ярого було відмічено як на третій, так і на десятий день визначення у варіантах дослід з сумісним застосуванням Гранстару 75 і PPP, що може бути пов'язано зі стимулюючим впливом PPP на синтез даного

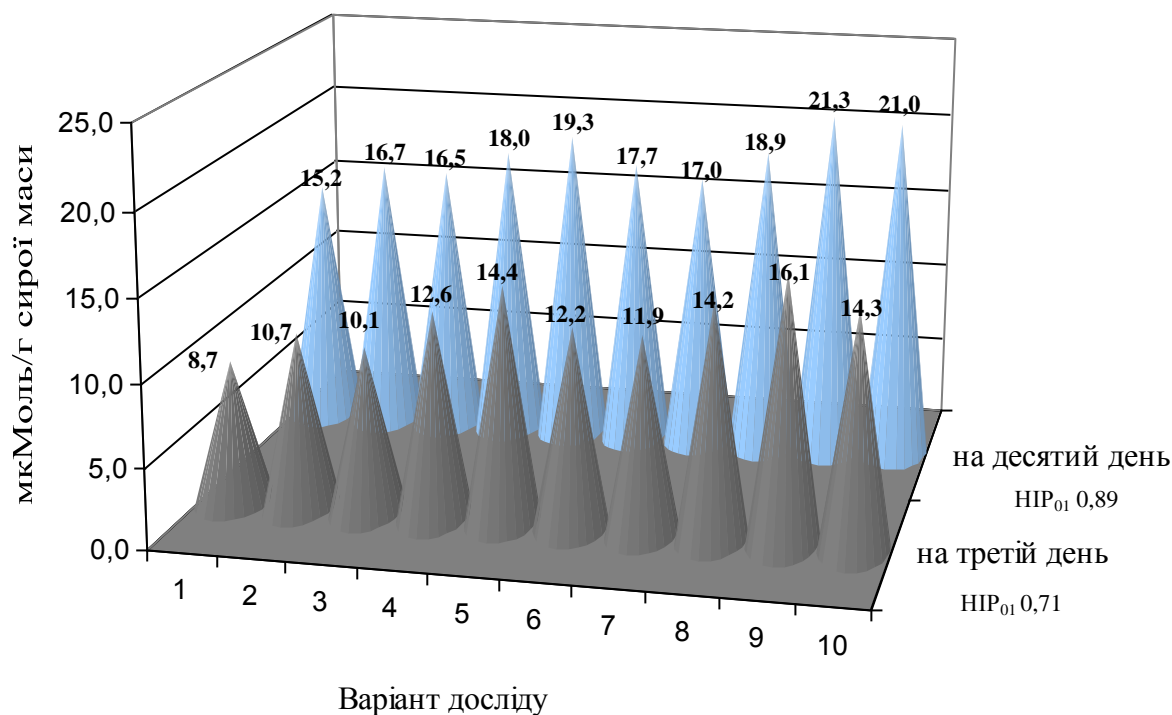


Рис. 2. Вплив різних норм гербіциду Гранстару 75, внесених роздільно і в комплексі з PPP Емістимом С, на вміст у листках ячменю ярого ГSH.

* назви варіантів як на рис.1.

антиоксиданта та з меншою його витратою на ліквідацію АФК, у результаті послаблення в рослинах реакцій ПОЛ. Дещо меншим вміст ГSH був у варіантах дослід, де гербіцид застосовували без PPP, що, очевидно, може свідчити про більш активну витрату антиоксиданта в реакціях, направлених як на детоксикацію ксенобіотика, так і в реакціях ліквідації АФК, які зумовлюють підвищений рівень ПОЛ у рослинах в цих варіантах дослід.

При визначенні вмісту в листках ячменю ярого аскорбінової кислоти встановлено (рис. 3), що на третій день після внесення гербіциду Гранстару в нормах 10;15;20 і 25 г/га її вміст із збільшенням норм використання препарату знижувався і складав відповідно 130,2; 119,3; 114,1 і 108,8 мкг/г

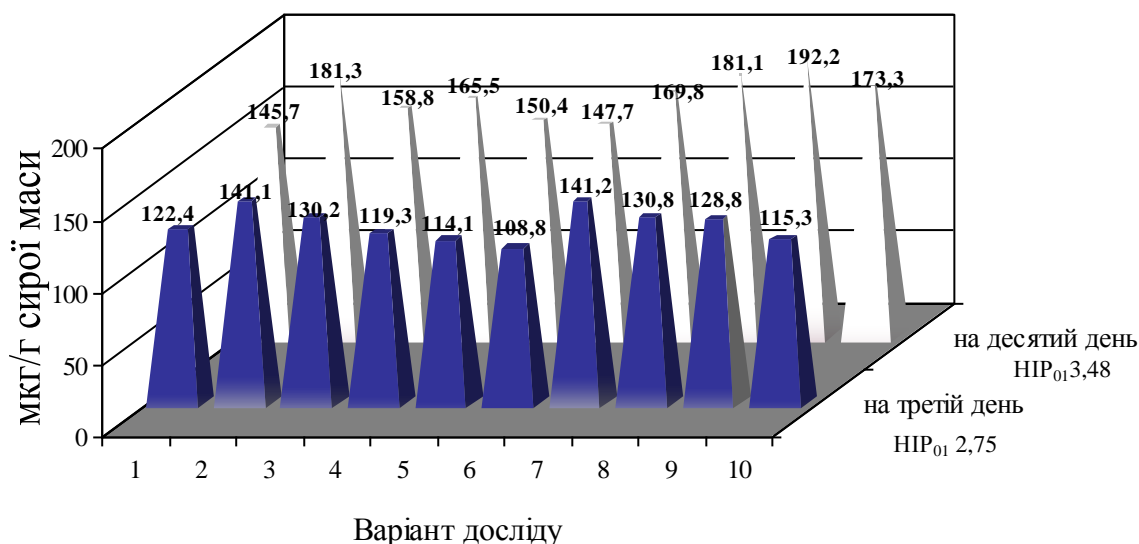


Рис. 3. Вплив різних норм гербіциду Гранстару 75, внесених роздільно і в комплексі з РРР Емістимом С, на вміст у листках ячменю ярого аскорбінової кислоти.

* назви варіантів як на рис. 1.

сирової маси при 122,4 мкг/г сирової маси в контролі. У варіантах досліджу, де Гранстар 75 вносили в тих же нормах, але сумісно з Емістимом С вміст аскорбінової кислоти був вищим, однак, із наростанням норм препарату також знижувався і складав відповідно 141,2; 130,8; 128,8 і 115,3 мкг/г сирової маси при НІР₀₅ 2,75. Ймовірно, це є наслідком інтенсивного використання антиоксиданту в реакціях знешкодження вільних радикалів, на що вказують й інші вчені [20].

На десятій день вміст аскорбінової кислоти в листках ячменю ярого значно збільшувався і суттєво перевищував контрольний показник як у варіантах із самостійним внесенням Гранстару 75, так і в варіантах, де гербіцид вносили в комплексі з Емістимом С. Водночас, більш високий вміст аскорбінової кислоти в варіантах досліджу із сумісним внесенням Гранстару 75 і Емістиму С вказує на стабілізацію детоксикаційних процесів у рослинах та послаблення процесів ПОЛ.

Висновки. За використання гербіциду Гранстар 75 у комплексі з РРР Емістимом С у рослинах ячменю ярого суттєво знижуються процеси ліпопероксидації ліпідів, що обумовлюється підвищеною активністю ферментів-антиоксидантів – GST і СОД та інтенсифікацією накопичення в листках основних низькомолекулярних антиоксидантних сполук – GSH і аскорбінової кислоти. Все це свідчить про позитивний вплив Емістиму С на функціонування основних захисних систем ячменю ярого, що в цілому забезпечує підвищення антиоксидантного статусу рослин та дає можливість цілеспрямовано керувати процесами ліпопероксидації у рослинах в сторону зменшення їх негативної дії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мережинський Ю.Г. Сучасні досягнення та перспективи розвитку досліджень по проблемі фізіології дії гербіцидів / Ю.Г. Мережинський, Є.Ю.

- Мордерер // Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліть. – К., 2001. – Т. 1. – С. 345 – 361.
2. Foyer C.H. The function of inter and intracellular glutathione transport systems in plants / C.H.Foyer, F.L. The odoulou, S.Delrot // Trends in plant Science. – 2001. – V. 6. – № 10. – P. 486 – 492.
 3. Полесская О.Г. Растительная клетка и активные формы кислорода / О.Г. Полесская. – М. : КДУ, 2007. – 140 с.
 4. Мерзляк М.Н. Активированный кислород в жизнедеятельности растений / М.Н.Мерзляк // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – № 9. – С. 20 – 26.
 5. Можлива участь активних форм кисню у розвитку фітотоксичної дії грамініцидів / М.П. Паланиця, В.В.Трач, О.П. Роздевич [та ін.] // Физиология и биохимия культурных растений. – 2008. – Т. 40. – № 4. – С. 355 – 361.
 6. Ftidovich I. Fundamental aspects of reactive oxygen species or what's the matter with oxygen? / I.Fridovich // Ann. N.Y. Acad. Sci. – 1999. – V. 893. – P. 13 – 18.
 7. Шевченко Н.В. Перекисное окисление мембранных липидов при действии на растения галоидфеноксикислот / Н.В.Шевченко, С.И.Погосян, М.Н.Мерзляк // Физиология растений. – 1980. – Т.27. – № 2. – С. 363 – 369.
 8. Стороженко В.О. Ключові антиоксидантні ферменти фотосинтетичного апарату вищих рослин за дії стресових чинників / В.О. Стороженко // Физиология и биохимия культурных растений. – 2004. – Т. 36. – № 1. – С. 36 – 42.
 9. Lamaorex G.L. The role of glutathion and glutathion – S – transferase in pesticide metabolism, selectivity and mode of action in plants and insect / Lamourex G.L., Rusness D.G. ; Eds. D.Dolphin [et al.] // Glutathion chemical, biochemical and medical aspects. – New York : Wiley and Sons, 1989. – V. III B. – P. 154 – 196.
 10. Вторинний оксидний стрес як елемент загальної адаптивної відповіді рослин на дію несприятливих факторів довкілля / Н.Ю.Таран, О.А. Оканенко, Л.М.Бацманова [та ін.] // Физиология и биохимия культурных растений. – 2004. – Т. 36. – № 1. – С. 3 – 13.
 11. Komives A. Effects of thiocarbamate herbicides on the activity of glutathione–S–trasferase in maize / A. Komives, T.Komives, F.Dutka // Cereal Res. Communic. Szeged. – 1985. – V.13. – 213. – P. 253 – 257.
 12. Хромих Н.О. Зміни активності антиоксидантних ферментів у листках оброблених гербіцидами рослин амброзії полинолістої / Н.О.Хромих // Фізіологія рослин : проблеми та перспективи розвитку. – К. : Логос, 2009. – Т. 1. – С. 73 – 77.
 13. Романова Е.В. Ферменты в антиокислительной системе растений : супероксиддисмутаза / Е.В.Романова // Агро XXI. – 2008. – № 7 – 9. – С. 27 – 29.
 14. Smifnoff N. Ascorbic acid: metabolism and functions of a multi-facetted molecule / N.Smfifnoff // Curr. Opin. In Plant Biol. – 2000. – V. 3. – P. 229 – 235.
 15. Микієвич І.М. Роль аскорбінової кислоти та ферментів її метаболізму в адаптації рослин до токсичної дії іонів свинцю: автореферат дис. на

- здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : спец. 03.00.12 «Фізіологія рослин» / І.М.Микієвич. – Львів, 2003. – 21 с.
16. Вержук В.Г. Усиление защитных свойств растений с использованием нового регулятора роста / В.Г.Вержук, С.В.Мурашев, Л.А.Бурмистров // Мат. межд. конференции [Современная физиология растений от молекулы до экосистем], (Сыктывкар, 18 – 24 июня 2007г.). – Сыктывкар, 2007. – Ч. 2. – С. 63 – 64.
 17. Лукаткин А.С. Окислительный стресс как универсальное звено действия неблагоприятных факторов среды на растительный организм / А.С.Лукаткин // Мат. межд. конференции [Современная физиология растений от молекулы до экосистем], (Сыктывкар, 18 – 24 июня 2007г.). – Сыктывкар, 2007. – Ч. 2. – С. 239 – 240.
 18. Деева В.П. Регуляторы роста растений: механизмы действия и использование в агротехнологиях / В.П.Деева. – Минск : Белорус. наука, 2008. – 133 с.
 19. Влияние препарата рифтал на морфофизиологические параметры проростков пшеницы при нормальном и дефицитном минеральном питании / С.Р. Рахматуллина, В.В.Федяев, Р.Ф.Талипов [и др.] // Агротехнология. – 2007. – № 5. – С. 42. – 48.
 20. Гришко В.М. Вплив регуляторів росту на стійкість проростків кукурудзи, розвиток процесів пероксидного окиснення ліпідів і вміст аскорбінової кислоти за сумісної дії кадмію і нікелю // В.М.Гришко, Т.А.Демура // Физиология и биохимия культурных растений. – 2009. – Т. 41. – № 4. – С. 335 – 343.
 21. Нижник Т.П. Вплив івіну і потейтину на пероксидне окиснення ліпідів, проникність мембран, активність антиоксидантних ферментів та продуктивність сортів картоплі в умовах посухи / Т.П.Нижник, І.П.Григорюк // Физиология и биохимия культурных растений. – 2006. – Т. 38. – № 3. – С. 248 – 254.
 22. Журбицкий З.И. Теория и практика вегетационного метода / Журбицкий З.И. – М.: Наука, 1968. – 268 с.
 23. Владимиров Ю.А. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах / Ю.А.Владимиров, А.И.Арчаков. – М. : Наука, 1972. – 273 с.
 24. Рогожин В.В. Практикум по биологической химии / В.В.Рогожин. – СПб. : Издательство «Лань», 2006. – С. 132 – 134.
 25. Habig W.H. Glutathione-S-transferases. The first enzymes step mercapturic acid formation / W.H.Habig, M.J.Pabst, W.B.Jacoby // J.Biol. Chem. – 1974. – V. 249. – Issue 22. – P. 7130 – 7139.
 26. Beutler E. Red cell metabolism a manual of biochemical methods / E. Beutler. – Grune & Station, Orlando, 1990. – P. 131 – 134.
 27. Гришко В.Н. Метод определения восстановленной формы глутатиона в вегетативных органах растений / В.Н.Гришко, Д.В.Сыщиков // Укр. біохім. журнал. – 2002. – Т. 74. – № 46. – С. 123 – 124.
 28. Чупахина Г.Н. Физиологические и биохимические методы анализа растений / Чупахина Г.Н. – Калининград, 2000. – С. 7 – 9.

Карпенко В.П. Интенсивность процессов липопероксидации и состояние антиоксидантных систем защиты ячменя ярового при действии гербицида Гранстар 75 и регулятора роста растений Эмистим С

В результате проведенных исследований установлено, что при совместном использовании гербицида Гранстара 75 с регулятором роста растений Эмистимом С в растениях ярового ячменя существенно снижаются процессы липопероксидации липидов, повышается активность ферментов-антиоксидантов (супероксиддисмутазы и глутатион-S-трансферазы) и более интенсивно происходит накопление основных антиоксидантных соединений – глутатиона и аскорбиновой кислоты.

Ключевые слова: яровой ячмень, гербицид, регулятор роста растений, перекисное окисление липидов, антиоксидантные системы.