

УДК 577.115:633.13:631.811.98

В.П. Карпенко

доктор сільськогосподарських наук, професор, проректор з наукової та інноваційної діяльності Уманського національного університету садівництва (м. Умань), Україна.

Д.І. Просянкін

аспірант кафедри біології Уманського національного університету садівництва (м. Умань), Україна.

E-mail: denpros@mail.ru

ЛІПОПЕРОКСИДАЦІЙНІ ТА АНТИОКСИДАНТНІ ПРОЦЕСИ В РОСЛИНАХ ВІВСА ГОЛОЗЕРНОГО ЗА ДІЇ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН

Стаття присвячена вивченню впливу біологічно активних речовин (гербіциду і регулятора росту рослин мікробіологічного походження) на ліпопероксидаційні та антиоксидантні процеси у рослинах вівса голозерного. У роботі приводиться обґрунтування можливості зниження негативної дії гербіциду Лонтрел 300 на посіви вівса голозерного та навколишнє природне середовище завдяки поєднаному його застосуванню із біологічним препаратом Альбіт, який в сумішах із гербіцидом виявляє антидотні властивості.

Ключові слова: ліпопероксидація, антиоксиданти, біологічно активні речовини, овес голозерний.

В. П. Карпенко

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, проректор по научной и инновационной деятельности Уманского национального университета садоводства (г. Умань), Украина

Д. И. Просянкин

аспирант кафедры биологии Уманского национального университета садоводства (г. Умань), Украина.

ЛИПОПЕРОКСИДАЦИОННЫЕ И АНТИОКСИДАНТНЫЕ ПРОЦЕССЫ В РАСТЕНИЯХ ОВСА ГОЛОЗЁРНОГО ПРИ ДЕЙСТВИИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Статья посвящена изучению влияния биологически активных веществ (гербицида и регулятора роста растений микробиологического происхождения) на липопероксидационные и антиоксидантные процессы в растениях овса голозерного. В работе приводится обоснование возможности снижения негативного воздействия гербицида Лонтрел 300 на посевы овса голозерного и окружающую среду благодаря совместному его применению с биологическим препаратом Альбит, который в смесях с гербицидом обнаруживает антидотные свойства.

Ключевые слова: липопероксидация, антиоксиданты, биологически активные вещества, овёс голозерный.

V. Karpenko

Doctor of Agricultural Sciences, Vice-Rector for Research and innovation
Uman National University of Horticulture (Uman), Ukraine

D. Prosyankin

Post graduate student, department of biology, Uman National University of
Horticulture (Uman), Ukraine

LIPID PEROXIDATION AND ANTIOXIDANT PROCESSES IN PLANTS OF NAKED OAT APPLYING BIOACTIVE SUBSTANCES

The article is devoted to the study of influence of bioactive substances (herbicide and plant growth regulator of microbiological origin) on lipid peroxidation and antioxidant processes in plants of naked oat. The work is resulted in substantiation of the possibility of reducing negative impact of herbicide Lontrel 300 on crops of naked oat and the environment through its combined use with biological Albite which reveals antidote properties in mixtures with herbicide.

It was established that applied rates of herbicide in combinations with plant growth regulators could be reduced by 8–48% as compared to recommended rates.

Based on the conducted research, biological substantiation for integrated application of herbicide and plant growth regulator was developed. This serves as scientific basis for the elaboration of energy efficient and environmentally safe preparation compositions ensuring an increase in the plantings productivity and quality of naked oat crops.

Keywords: lipid peroxidation, antioxidants, bioactive substances, naked oat.

Постановка проблеми. Біологічно активні речовини нині широко застосовуються у сільському господарстві, але вони не є інертними у відношенні рослинного організму. Більшість із них, наприклад, гербіциди, здатні зумовлювати ушкодження окремих тканин, клітин і органів через індукування ліпопероксидаційних процесів. Разом з тим поодинокі роботи [1, 2] засвідчують можливість зниження негативного впливу ксенобіотиків на рослини за рахунок стимулювання синтезу в них рістрегулюючими препаратами антиоксидатних сполук. Однак фізіолого-біохімічні зміни, що відбуваються при цьому в рослинах та їх вплив на стан перекисного окиснення ліпідів (ПОЛ) повністю не розкриті, особливо в рослинах вівса голозерного, що й визначило актуальність досліджень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Гербіциди належать до ксенобіотиків, що здатні швидко проникати до окремих компартментів клітин рослини, де вони піддаються детоксикації. Роль детоксикантів у рослинах відіграють ферментативні системи, низькомолекулярні антиоксиданти, білки та пептиди [1].

Основними інтермедіатами при детоксикації ксенобіотиків у рослинах виступають такі антиоксиданти як глутатіон і аскорбінова кислота [2]. Завдяки нуклеофільній атаці на електрофільні зони ксенобіотиків відновленого глутатіону, в клітині утворюються нетоксичні гідроксильні кон'югати, які досить легко піддаються метаболічним перетворенням [3]. У низці дослідів, виконаних на прикладі гербіцидів Гранстар 75, Металахлор, Хлорацетанілід, була встановлена залежність між нормами внесення гербіцидів та утворенням метаболітів глутатіону з гербіцидами: зі збільшенням норм препаратів у рослинах зростав вміст глутатіону, разом з тим у стійких до гербіцидів рослин

його вміст був набагато вищим, ніж у чутливих [3–6]. Проте за відсутності достатньої кількості антиоксидантів у клітині продукується надмірна кількість активних форм кисню (АФК). Головною мішенню дії АФК є ліпіди – основні компоненти клітинних мембран та оболонки пігментів. АФК здатні ініціювати їх перекисне окиснення, у результаті чого виникають руйнування, пов'язані з порушенням функцій мембранних білків та транспорту електронів в пігментному комплексі. Це виявляється в явищі "протікання мембран" і дається взнаки у збільшенні проникності для іонів і органічних речовин [7]. Крім того, продукти ПОЛ (МДА та ін.) мають мутагенну активність і блокують поділ клітин [6]. Крім прямої дії на фізіолого-біохімічні реакції в клітині, АФК зумовлюють пошкоджувальні ефекти непрямого характеру: зниження вмісту і співвідношення основних пігментів фотосинтезу, порушення водного обміну, зміни в нуклеїновому обміні [7, 8]. В умовах гербіцидного та інших стресів посилюється утворення в рослинах АФК, що в наступному призводить до "окиснювального стресу" [9].

В останній час увагу вчених все більше привертає питання вивчення механізмів підвищення антиоксидантного статусу рослин. З цією метою пропонується застосовувати регулятори росту рослин та інші засоби, як синтетичні, так і природні сполуки, що мають рістстимулювальні властивості [10]. 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 [11]. Так, за використання екзогенних регуляторів росту в рослинах знижуються реакції пероксидного окиснення ліпідів, збільшується вміст антиоксидантів та підвищується активність основних антиоксидантних ферментів [9]. Однак, зважаючи на вищенаведені дані, слід відмітити, що ліпопероксидаційні та антиоксидантні процеси в рослинах за дії гербіцидів і біологічних препаратів є більш вивченими розрізнено, у той же час питання сумісної дії препаратів на дані фізіологічні реакції у рослинах вівса голозерного залишаються практично не дослідженими.

Мета статті встановити дію різних норм гербіциду Лонтрел 300, внесених за різних способів застосування біологічного препарату Альбіт (передпосівна обробка насіння та вегетуючих рослин), на ліпопероксидаційні та антиоксидантні зміни в рослинах вівса голозерного.

Методика досліджень. Досліди виконували в лабораторних умовах кафедри біології Уманського НУС. Об'єктом дослідження слугували рослини вівса голозерного (*Avena sativa* subsp. *nudisativa*) сорту Скарб України, які вирощували в пластикових посудинах з чорноземом опідзоленим важкосуглинковим з дотриманням вимог вегетаційного методу [12]. Внесення препаратів: Лонтрел 300 (в р. клопіралід 300 г/л, відноситься до похідних хлорфеноксикарбонових кислот) та Альбіт (полі - β -гідроксимаєляна кислота із ґрунтових бактерій *Bacillus megaterium* і *Pseudomonas aureofaciens*, терпенові кислоти хвойного екстракту, збалансований стартовий набір макро- і мікроелементів) виконували, починаючи від появи в рослин третього листка, за схемою, приведеною в таблицях. Норми внесення препаратів розраховували на відповідну площу з врахуванням норми витрати води 300 л/га. Повторність досліду — чотириразова. Аналізи в дослідах виконували на третю і п'яту добу після внесення препаратів.

Інтенсивність реакцій ПОЛ у листках вівса голозерного визначали за накопиченням продукту пероксидного окиснення ліпідів — малонового діальдегіду (МДА), за реакцією із тіобарбітуровою кислотою (ТБК) при 532 нм згідно методики, викладеної у модифікації В. В. Рогожина [13]. Вміст глутатіону у листках вівса голозерного — за реакцією з реактивом Елмана [14].

Основні результати досліджень. У результаті проведених досліджень встановлено, що на третю добу після внесення гербіциду Лонтрел 300 як роздільно, так і в комплексі з біологічним препаратом Альбіт, вміст ТБК-активних продуктів у листках вівса голозерного значно збільшувався, особливо це простежувалось у варіантах із внесенням гербіциду без біологічного препарату (табл. 1). У той же час у варіантах досліду, де Лонтрел 300 застосовували сумісно з Альбітом вміст МДА знижувався, зокрема за внесення

Лонтрелу 300 у нормах 0,16; 0,41 і 0,66 л/га вміст МДА був вищим за контрольний показник на 0,012; 0,023 і 0,031 мкМоль/г сирової маси відповідно. У варіантах із застосуванням Лонтрелу 300 у тих же нормах, але сумісно з Альбітом ці показники перевищували контроль, але зменшувались у відношенні до варіантів без використання Альбіту на 0,05; 0,04 і 0,03 мкМоль/г сирової маси відповідно. У варіантах з передпосівною обробкою насіння біологічним препаратом Альбіт та наступним обприскуванням рослин Лонтрелом 300 у нормах 0,16; 0,41 і 0,66 л/га вміст МДА відносно контролю зростав на 38-46 %. Проте у варіантах передпосівної обробки насіння Альбітом з наступним застосуванням сумішей гербіциду й біологічного препарату ці показники у відношенні контролю знижувались до 8-23 %. Найнижчим рівень ПОЛ був у варіанті досліді, де застосовували гербіцид у нормі 0,16 л/га в суміші з Альбітом за передпосівної обробки цим же препаратом насіння, де вміст МДА становив 0,001 мМоль/ г сирової маси проти 0,013 мкМоль/г сирової маси в контрольному варіанті.

Таблиця 1

Вплив різних норм Лонтрелу 300 та різних способів застосування Альбіту на вміст у листках вівса голозерного малонового дигалдегіду, мкМоль/г сирової маси

Варіант	На третю добу	На п'яту добу
Обробка водою (контроль)	0,013	0,018
Лонтрел 300 0,16 л/га	0,025	0,030
Лонтрел 300 0,41 л/га	0,036	0,031
Лонтрел 300 0,66 л/га	0,044	0,043
Альбіт 40 мл/га	0,008	0,013
Лонтрел 300 0,16 л/га +Альбіт 40 мл/га	0,020	0,021
Лонтрел 300 0,41 л/га +Альбіт 40 мл/га	0,032	0,029
Лонтрел 300 0,66 л/га +Альбіт 40 мл/га	0,041	0,040
Обробка насіння перед сівбою Альбітом 40 мл/т (Фон)	0,002	0,016
Фон + Лонтрел 300 0,16 л/га	0,013	0,025
Фон+Лонтрел 300 0,41 л/га	0,018	0,026
Фон+Лонтрел 300 0,66 л/га +	0,019	0,034
Фон+Альбіт 40 мл/га	0,006	0,020
Фон+Лонтрел 300 0,16 л/га + Альбіт 40 мл/га	0,001	0,020
Фон+ Лонтрел 300 0,41 л/га + Альбіт 40 мл/га	0,002	0,023
Фон +Лонтрел 300 0,66 л/га + Альбіт 40 мл/га	0,003	0,030

НІР ₀₁	0,010	0,012
-------------------	-------	-------

На п'яту добу після застосування препаратів, у порівнянні до третьої доби, спостерігалось загальне підвищення рівня ПОЛ у всіх варіантах досліду. Зокрема, якщо на третю добу вміст МДА в контролі складав 0,013, то на п'яту — 0,018 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, у цілому, в варіантах досліду простежувалась така ж закономірність, як і на третю добу визначення: найвищим рівень ПОЛ був у варіантах, де застосовували Лонтрел 300 самотійно, проте за його внесення у сумішах з Альбітом на фоні обробки цим же препаратом насіння, рівень ПОЛ у листках рослин вівса був найменшим.

Таблиця 2

Вплив різних норм Лонтрелу 300 та різних способів застосування Альбіту на вміст глутатіону у листках вівса голозерного, мМоль/г, сирової маси

Варіант	На третю добу	На п'яту добу
Обробка водою (контроль)	0,225	1,941
Лонтрел 300 0,16 л/га	0,321	3,168
Лонтрел 300 0,41 л/га	0,310	3,558
Лонтрел 300 0,66 л/га	0,298	2,960
Альбіт 40 мл/га	0,459	3,832
Лонтрел 300 0,16 л/га + Альбіт 40 мл/га	0,438	3,800
Лонтрел 300 0,41 л/га + Альбіт 40 мл/га	0,429	3,731
Лонтрел 300 0,66 л/га + Альбіт 40 мл/га	0,417	3,542
Обробка насіння перед сівбою Альбітом 40 мл/т (Фон)	0,354	3,139
Фон + Лонтрел 300 0,16 л/га	0,368	3,208
Фон+Лонтрел 300 0,41 л/га	0,373	3,257
Фон+Лонтрел 300 0,66 л/га +	0,381	3,268
Фон+Альбіт 40 мл/га	0,468	4,037
Фон+Лонтрел 300 0,16 л/га + Альбіт 40 мл/га	0,455	3,911
Фон+ Лонтрел 300 0,41 л/га + Альбіт 40 мл/га	0,449	3,954
Фон +Лонтрел 300 0,66 л/га + Альбіт 40 мл/га	0,442	3,972
НІР ₀₁	0,071	1,010

На думку дослідників [4, 6, 15], за умов оксидативного стресу ефективнішим за ферментативний є захист рослинного організму за участі низьмолекулярних антиоксидантів, таких як глутатіон. Відомо, що відповідною реакцією рослинного організму на окиснювальний стрес є посилений синтез

глутатіону, аскорбінової кислоти та інших антиоксидантів. Глутатіон бере безпосередню участь в реакціях кон'югації з органічними ксенобіотиками, що каталізуються глутатіон-S-трансферазою. Тому вміст глутатіону у рослинах може свідчити про направленість детоксикаційних процесів [4, 9].

Як показали результати досліджень (табл. 2), найвищим вміст глутатіону у листках вівса голозерного був як на третю, так і на п'яту добу визначення у варіантах досліду з сумісним застосуванням Лонтрелу 300 й Альбіту на фоні передпосівної обробки насіння Альбітом, що перевищувало контроль в середньому на 0,217-0,230 мкМоль/г сирової маси — на третю добу і на 1,970-2,031 мкМоль/г на п'яту добу визначення відповідно.

Це може бути пов'язано зі стимулювальним впливом біологічного препарату на синтез глутатіону та з меншою його витратою в реакціях ліквідації АФК. Зменшення вмісту глутатіону в листках вівса, на третю добу визначення, може бути пов'язано зі збільшенням його витрат на детоксикацію продуктів розпаду гербіциду, зокрема АФК, що відповідає підвищеному вмісту в рослинах МДА. Зокрема, у варіантах з використанням Лонтрелу 300 у нормах 0,16; 0,41 та 0,66 /га вміст глутатіону в листках вівса на третю добу визначення був нижчим на 0,117; 0,119 та 0,121 мкМоль/га відповідно проти варіантів сумісного застосування Лонтрелу та Альбіту, та — на 0,047; 0,63 і 0,083 мкМоль/г сирової маси відповідно проти варіантів застосування Лонтрелу по фону. На п'яту добу рівень глутатіону майже у всіх варіантах був досить високим, що свідчить про зменшення витрат антиоксиданту на детоксикацію АФК. Дещо меншим вміст глутатіону був у варіантах досліду, де гербіцид застосовували без Альбіту. Це може свідчити про більш активну його витрату як антиоксиданту в реакціях, направлених як на детоксикацію ксенобіотика, так і в реакціях ліквідації АФК, які зумовлювали підвищений рівень ПОЛ у рослинах у цих варіантах досліду.

Висновки. За використання гербіциду Лонтрел 300 у баковій суміші з біологічним препаратом Альбіт на фоні передпосівної обробки цим же біологічним препаратом насіння у рослинах вівса голозерного активність

ліпопероксидаційних процесів знижувалась, що обумовлювалась підвищеними темпами детоксикації гербіциду. Вміст глутатіону і нагромадження МДА у листках вівса голозерного залежали від норм внесення гербіциду. Сумісне внесення гербіциду з біопрепаратом Альбіт підсилювало функціонування основних захисних систем вівса голозерного, що виражалась у зростанні вмісту в листках глутатіону та зниженні рівня ПОЛ. Найактивніші антиоксидантні процеси в рослинах вівса проходили у варіантах з внесенням гербіциду Лонтрел 300 у нормі 0,16 л/га в суміші з Альбітом на фоні обробки насіння цим же біологічним препаратом, що може свідчити про зростання захисних реакцій рослинного організму за рахунок опосередкованих антидотних властивостей Альбіту, направлених на пришвидшення знешкодження ксенобіотика.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шакирова Ф. М. Неспецифическая устойчивость растений к стрессовым факторам и ее регуляция / Ф. М. Шакирова — Уфа: Гилем, 2001. — 160 с.
2. Pinto de Carvalho S. J. Herbicide selectivity by differential metabolism: considerations for reducing crop damages sci. agric. (piracicaba, braz.) / [Pinto de Carvalho S. J., Nicolai M., Ferreira R. R., Vargas de Oliveira Figueira A.; Christoffoleti P. J]. — 2009. — V. 66. — № .1 — P.136-142.
3. Карпенко В. П. Вміст деяких антиоксидантів у листках ячменю ярого за дії гербіцидів і регулятора росту рослин / В. П. Карпенко // Зб. наук. праць Уманського ДАУ. — Умань, 2011. — Вип. 77. — Ч. 1. — С. 14 – 20.
4. Карпенко В. П. Інтенсивність процесів ліпопероксидації та стан антиоксидантних систем захисту ячменю ярого за дії гербіциду Гранстар 75 і регулятора росту рослин Емістим С / В. П. Карпенко // Зб. наук. праць Уманського ДАУ. — Умань, 2009. — Вип. 72. — Ч.1. — С. 30 – 39.
5. Eric P. Westra Dissipation and Leaching of Pyroxasulfone and S-Metolachlor // [Eric P. Westra, Dale L. Shaner, Philip H. Westra, and Phillip L. Chapman]. Weed Technology. — 2014. — V. 28 — № 1. — P. 72-81.

6. Gulner G. Enhanced tolerance of transgenic poplar plants over – expressing γ - glutamyl–cysteine synthetase towards chloroacetanilide herbicides / G. Gulner, T. Komives // J. Exp. Bot. — 2001. — 52. — 358. — P. 971–979.

7. Зауралов О. А. Тканевые и клеточные аспекты холодоустойчивости и холодового повреждения теплолюбивых растений / О. А. Зауралов, А. С. Лукаткин // Успехи современной биологии. — 1996. — Т. 116. — С. 418–431.

8. Колупаев Ю. Е. Активные формы кислорода в растениях при действии стрессоров: образование и возможные функции / Ю. Е. Колупаев // Вестник Харьковского национального аграрного университета. Сер. Биология. — 2007. — Вып. 3 (12). — С. 6–26.

9. Карпенко В. П. Біологічні основи інтегрованої дії гербіцидів і регуляторів росту рослин / В. П. Карпенко, З. М. Грицаєнко, Р. М. Притуляк, С. П. Полторецький, І. І. Мостов'як, О. О. Фоменко — Умань: «Сочинський», 2012. — 357 с.

10. Пономаренко С. П. Біостимуляція в рослинництві – вагомий резерв урожаю 2009 р. / С. П. Пономаренко // Агро Перспектива. — 2008. — № 8. — С. 34–35.

11. Foyer C.H. Redox regulation in photosynthetic organisms: Signaling, acclimation and practical implications / C. H. Foyer, G. Noctor // Antioxidants and Redox Signaling. — 2009. — № 11. — P. 862–905.

12. Журбицкий З. И. Теория и практика вегетационного метода / Журбицкий З. И. — М.: Наука, 1968. — 268 с.

13. Рогожин В. В. Практикум по биологической химии / В. В. Рогожин. — СПб.: Издательство «Лань», 2006. — С. 132–134.

14. Гришко В. Н. Метод определения восстановленной формы глутатиона в вегетативных органах растений / В. Н. Гришко, Д. В. Сыщиков // Укр. біохім. журнал. — 2002. — Т. 74. — № 415. — С. 123–124.

15. Спивак Е. А. Активность аскорбат-глутатионового цикла в проростках ячменя (*Hordeum vulgare*) при засухе / Е. А. Спивак., Н. В. Шалыго // Изв. НАН Беларуси. Сер. Биол. наук. — 2010. — № 3. — С. 73-77.

REFERENCES

1. Shakirova, F.M. (2001). Nespetsificheskaya ustoichivost rastenii k stressovym faktoram i ee regulatsiya [Non-specific resistance of plants to stress factors and its regulation]. Ufa: Gilem, 160.

2. Pinto de Carvalho, S. J., Nicolai M., Ferreira, R. R., Vargas de Oliveira, Figueira A.; Christoffoleti, P. J (2009) Herbicide selectivity by differential metabolism: considerations for reducing crop damages sci. agric. (piracicaba, braz.) V. 66. (1). 136-142.

3. Karpenko, V.P. (2011). Vmist deyakykh antyoksydantiv u lystkakh yachmeniu yarogo za dii herbitsydiv i regulatora rostu roslyn [Content of some antioxidants in leaves of spring barley applying herbicides and plant growth regulator]. Collection of scientific papers of USAU. Uman, 77 (1), 14–20.

4. Karpenko, V.P. (2009). Intensyvnist protsesiv lipoperoksydatsii ta stan antyoksydantnykh system zakhystu yachmeniu yarogo za dii herbitsydu Granstar 75 i regulatora rostu roslyn Emistym C [Intensity of lipid peroxidation processes and status of antioxidant systems of spring barley protection by using herbicide Granstar 75 and plant growth regulator Emistym C]. Collection of scientific papers of USAU. Uman, 72 (1), 30–39.

5. Eric, P. Westra, Dale, L. Shaner, Philip, H. Westra, and Phillip, L. Chapman (2014) Dissipation and Leaching of Pyroxasulfone and S-Metolachlor. Weed Technology. 28, (1). 72-81.

6. Gulner, G., Komives, T. (2001) Enhanced tolerance of transgenic poplar plants over –expressing γ - glutamyl–cysteine synthetase towards chloroacetanilide herbicides. J. Exp. Bot., 52 (358), 971–979.

7. Zauralov, O.A., Lukatkin, A.S. (1996). Tkanevye i kletochnye aspekty kholodoustoichivosti i kholodovogo povrezhdenia teploliubivyykh rastenii [Tissue and

cellular aspects of cold hardiness and cold damage to heat-loving plants]. Successes of modern biology, 116, 418-431.

8. Kolupaev, Y.E. (2007). Aktivnye formy kisloroda v rasteniakh pri deistvii stressorov: obrazovanie i vozmozhnye funktsii [Reactive oxygen species in plants under the influence of stressors: formation and possible functions]. Bulletin of Kharkov National Agrarian University. Ser. Biology, 3 (12), 6-26.

9. Karpenko, V.P., Grytsaenko, Z.M., Prytuliak, R.M., Poltoretskyi, S.P., Mostoviak, I.I., Fomenko, O.O. (2012). Biologichni osnovy integrovanoyi dii herbytsydiv i regulatoriv rostu roslyn [Biological basis of integrated action of herbicides and plant growth regulators]. Uman: Sochynskyi, 175–220.

10. Ponomarenko, S.P. (2008). Biostymuliatsia v roslynnnytstvi – vagomyi rezerv urozhayu 2009 [Bio stimulation in crop production – a significant reserve of harvest 2009]. Agro Perspective, 8, 34–35.

11. Foyer, C.H. Noctor, G. (2009). Redox regulation in photosynthetic organisms: Signaling, acclimation and practical implications. Antioxidants and Redox Signaling. 11, 862-905.

12. Zhurbitsky, Z.I. (1968). Teoria i praktyka vegetatsionnogo perioda [Theory and practice of growing method]. Moscow: Science, 268.

13. Rogozhin, V.V. (2006). Praktikum po biologicheskoi khimii [Practical work on biological chemistry]. St. Petersburg: Lan, 132–134.

14. Grishko, V.N., Syshchikov, D.V. (2002). Metod opredelenia vostanovlennoi formy glutationa v vegetativnykh organakh rastenii [Method for determination of reduced glutathione in vegetative plant organs]. Ukrainian Biochemical Journal, 74 (415), 123–124.

15. Spivak, E.A., Shalygo, N.V. (2010). Aktivnost askorbat-glutationovogo tsikla v prorostkakh yachmenia (*Hordeum vulgare*) pri zasukhe [Activity of ascorbate-glutathione cycle in seedlings of barley (*Hordeum vulgare*) during drought]. NAS Belarus. Ser. Biol. Sciences, 3, 73-77.