

ФІЗІОЛОГО-БІОХІМІЧНІ МЕХАНІЗМИ ІНТЕГРОВАНОЇ ДІЇ ГЕРБІЦИДІВ І РЕГУЛЯТОРІВ РОСТУ РОСЛИН

***Анотація.** Наведено узагальнені результати багаторічних досліджень з вивчення дії гербіцидів класів сульфонілсечовини (Гранстар 75, Калібр 75, Хармоні 75), феноксикарбоксилових кислот (2,4-ДА 500, Дікопур Ф 600) і комбінованих препаратів (Лінтур 70 WG), внесених роздільно та в поєднанні з рістрегуляторами (Емістим С, Агат-25К і Агrostимулін), на проходження основних фізіолого-біохімічних процесів у рослини, які визначають формування продуктивності посівів.*

***Ключові слова:** фізіолого-біохімічні механізми дії, гербіциди, регулятори росту рослин, інтегроване застосування, ячмінь ярий.*

В. П. Карпенко

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, проректор по научной и инновационной деятельности

Уманский национальный университет садоводства

Р. Н. Притуляк

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры биологии

Уманский национальный университет садоводства

А. А. Даценко

ассистент кафедры биологии

Уманский национальный университет садоводства

Ю. И. Ивасюк

аспирант кафедры биологии

Уманский национальный университет садоводства

ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ИНТЕГРИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ ГЕРБИЦИДА И РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ

***Аннотация.** Приведены обобщенные результаты многолетних исследований по изучению действия гербицидов классов сульфонилмочевины (Гранстар 75, Калибр 75, Хармони 75), феноксикарбоксиловых кислот (2,4-ДА 500, Дикопур Ф 600) и комбинированных препаратов (Линтур 70 WG), внесенных раздельно и в сочетании с регуляторами роста растений (Эмистим с, Агат-25К и Агrostимулин), на прохождение основных физиолого-биохимических процессов в растениях, определяющих формирование продуктивности посевов.*

***Ключевые слова:** физиолого-биохимические механизмы действия, гербициды, регуляторы роста растений, интегрированное применение, ячмень.*

V. P. Karpenko

Doctor of Agricultural Science, Professor, Vice Rector for Research and Innovation

Uman National University of Horticulture

R. N. Prytulyak

PhD in agricultural Associate Professor, Department of Biology

Uman National University of Horticulture

A. A. Datsenko

assistant Department of Biology

Uman National University of Horticulture

I. I. Ivasiuk

Post-graduate student

Uman National University of Horticulture

УДК 581.17:633.16:632.954

REGULATOR

Abstract. Summarizes the results of many studies on the action of sulfonylurea herbicides classes (Granstar 75, Caliber 75, Harmony 75), phenoxy-carboxylic acid (2,4-DA 500, Dikopur F 600) and combination therapies (Lintur 70 WG), introduced separately and in combination with plant growth regulators (Emistim C Agat-25K and Agrostimulin) for passing the basic physiological and biochemical processes in the plant, which determine the formation of productivity of crops.

Keywords: physiological and biochemical mechanisms of action, herbicides, plant growth regulators, integrated application barley.

Постановка проблеми. Зважаючи на економічну, енергетичну та екологічну ситуації, що склалися в нашій державі, важливого значення набуває проблема застосування в посівах сільськогосподарських культур гербіцидів, як однієї з головних складових інтегрованої системи захисту рослин. Проте гербіциди, як фізіологічно активні речовини, в переважній більшості випадків здатні значно впливати на життєво важливі процеси в рослинному організмі. При цьому не виключена можливість їх акумулювання в товарній продукції та об'єктах навколишнього природного середовища [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки в Україні ведеться розробка технологій переходу від традиційного до органічного землеробства. Але, як показує практика більшості країн – світових лідерів з виробництва сільськогосподарської продукції, перехід до органічного землеробства призводить до різкого зростання забур'яненості посівів та зниження врожайності ячменю й кукурудзи на 58%, пшениці – на 54%, сої – на 62% [2, 3]. Тому нині, коли в усьому світі простежується дефіцит

продуктів харчування, повністю відмовитись від використання гербіцидів неможливо. Разом з тим необхідно вести пошук шляхів зниження негативного впливу хімічних сполук гербіцидної дії на агроценози. Однозначно такі технології повинні включати елементи біологізації, що у випадку із гербіцидами може бути досягнуто за рахунок інтегрованого їх застосування із регуляторами росту рослин (PPR) природного походження, які характеризуються антистресовими та імуностимулюючими властивостями [4, 5]. Але багато питань, які стосуються комплексної дії гербіцидів і рістрегуляторів у сумішах, вивчені недостатньо. Вибір і оцінка оптимального поєднання препаратів у сумішах, особливо багато компонентних, проводиться без врахування механізмів їх дії на ключові фізіологічні реакції в рослинному організмі. Тому завданням наших досліджень було з'ясувати спрямованість дії сумішей гербіцидів і рістрегуляторів на проходження основних фізіолого-біохімічних процесів у рослинах, які лежать в основі формування високої продуктивності посівів.

Методика дослідження. Дослідження виконували впродовж 1999–2015 рр. у польових та лабораторних умовах кафедри біології Уманського НУС.

У дослідках вивчали гербіциди, які згідно прийнятої класифікації відносять до наступних хімічних класів: сульфонілсечовини (інгібітори ALS) – Гранстар 75, в. г. (10–25 г/га); Калібр 75, в. г. (30–70 г/га); Хармоні 75, в. г. (5–20 г/га); феноксикарбоксиліві кислоти (синтетичні ауксини) – 2,4-ДА 500, в. р. (1,0 л/га); Дікопур Ф 600, в. р. (0,5–1,5 л/га) та комбіновані препарати – Лінтур 70 WG, в. г. (90–140 г/га). Досліджувані гербіциди вносили в різних нормах окремо і в поєднанні із регуляторами росту рослин Емістим С (5–10 мл/га), Агрозимулін (10 мл/га) і мікробіологічним препаратом із рістстимулювальними властивостями Агат-25К (20 г/га). Польові досліді закладали у відповідності із загальноприйнятими вимогами на сортах ячменю ярого Рось, Звершення, Соборний, вегетаційні – з дотриманням вимог вегетаційного методу.

Основні фізіолого-біохімічні показники за дії препаратів вивчали за широкоживаними та апробованими серед наукової спільноти методиками [6].

Основні результати дослідження. У результаті проведення лабораторних, вегетаційних і польових досліджень встановлено, що гербіциди різних хімічних класів, внесені окремо та в поєднанні із PPR, значно впливають на спрямованість проходження обмінних процесів у рослинах ячменю ярого. Зокрема, досліджено, що із наростанням норм внесення гербіцидів без PPR у листках ячменю ярого на третю добу простежується інтенсифікація генерування активних форм кисню (АФК), які

зумовлюють розвиток у рослин оксидативного стресу, наслідком якого є підвищений рівень пероксидного окиснення ліпідів (ПОЛ).

На десяту добу внесення препаратів рівень ПОЛ у рослинах ячменю ярого продовжує зростати, що пов'язано з активізацією ростових та обмінних процесів (перехід рослин до фази кущіння), невід'ємним продуктом яких є АФК. Однак у варіантах досліду, де гербіциди застосовували сумісно з РРР, рівень ПОЛ по відношенню до відповідних варіантів без РРР знижувався.

Зниження ПОЛ простежувалось за одночасного підвищення в рослинах активності глутатіон-S-трансферази (GST) і супероксиддисмутази (СОД) та зростання вмісту в листках антиоксидантів (табл. 1). Зокрема активність GST і СОД як на третю, так і на десяту добу визначення була значно вищою за показники в контролі, але при цьому були відмічені такі особливості: активність GST у варіантах

Варіант досліду	GST, мкМоль/г сирोї маси за 1 хв.		СОД, ум.од./г сирої маси	
	на трет ю добу	на десяту добу	на третю добу	на десяту добу
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

Емістим С				
Гранстар 75	5,92	5,17	3,01	3,78
25 г/га +				
Емістим С				
<i>HIP01</i>		0,12	0,19	0,25

із застосуванням гербіцидів без PPP на десяту добу перевищувала відповідні показники у цих же варіантах на третю добу визначення, тоді як активність GST у варіантах гербіцид + PPP на десяту добу дещо знижувалась проти показників на третю добу визначення; активність же СОД як на третю, так і на десяту добу у всіх варіантах досліді була високою, однак у варіантах із внесенням гербіциду сумісно з PPP вона перевищувала аналогічні показники варіантів, де гербіциди застосовували без PPP. Підвищена активність GST і СОД у рослинах ячменю ярого свідчить про інтенсифікацію проходження реакцій детоксикації та дисмутації, особливо у випадку сумісного застосування гербіцидів і PPP, що, в свою чергу, забезпечує більш активне знешкодження як токсиканту, так і АФК (супероксиданіона), та в цілому знижує рівень ПОЛ у рослинах. Вочевидь, що зниження рівня ПОЛ у варіантах досліді з інтегрованим застосуванням гербіцидів і PPP та більш швидкі темпи детоксикації ксенобіотика обумовлюють у подальшому стабілізацію та незначне зниження активності GST.

Відповідною реакцією рослинного організму на окислювальний стрес є посилений синтез антиоксидантів – глутатіону (GSH), аскорбату та ін. Як показали результати досліджень, вміст GSH у листках ячменю ярого в варіантах досліді з сумісним застосуванням гербіцидів і рістрегуляторів значно збільшувався, що може бути пов'язано з безпосереднім стимулюючим впливом PPP на синтез даного антиоксиданту та з меншою його витратою на ліквідацію АФК у результаті послаблення реакцій ПОЛ. Дещо нижчим вміст GSH був у варіантах досліді, де гербіцид застосовували без PPP, що свідчить про більш активну його витрату в реакціях, спрямованих як на детоксикацію ксенобіотика, так і в реакціях ліквідації АФК.

Щодо вмісту в рослинах ячменю ярого аскорбінової кислоти, то зі збільшенням норм використання гербіцидів її вміст у листках на третю добу після внесення препаратів знижувався. Однак на десяту добу вміст аскорбінової кислоти в листках ячменю ярого значно зростав як у варіантах із внесенням гербіцидів без PPP, так і в варіантах, де гербіциди вносили в комплексі з рістрегуляторами. Це вказує на стабілізацію детоксикаційних процесів та підвищення загального антиоксидантного статусу рослин (антиокислювальної активності (АОА) тканин та активності основних ферментів класу оксидоредуктаз, які беруть безпосередню участь в адаптації

рослин до гербіцидного стресу). Так, найвищий рівень АОА тканин листка було відмічено у варіантах з інтегрованим використанням гербіцидів і РРР, які забезпечували зниження ПОЛ у рослинах за одночасного зростання вмісту в листках антиоксидантних сполук. Між АОА тканин листка та вмістом антиоксидантів і активністю антиоксидантних ферментів (GST і СОД) встановлено прямі та сильні за тіснотою кореляційні залежності: відповідно $r = 0,73$ та $0,67$.

За дії в посівах гербіцидів класів сульфонілсечовини, феноксикарбоксилових кислот, комбінованих препаратів та їх сумішей із РРР у листках ячменю ярого встановлено значне зростання активності ферментів класу оксидоредуктаз, діяльність яких визначається спрямованістю у відношенні ліквідації шкідливих для рослинного організму продуктів метаболізму, індукованих детоксикаційними перетвореннями гербіцидів. Так, на початку виходу рослин у трубку відмічено суттєве підвищення активності ферментів каталази і пероксидази, які беруть безпосередню участь у ліквідації отруйного для рослинного організму пероксиду водню, що утворюється за підвищеної активності СОД. Між активністю СОД та активністю каталази і пероксидази встановлена середня за тіснотою пряма кореляційна залежність ($r = 0,58$).

Висока активність була характерною і для ферментів аскорбатоксидази і поліфенолоксидази, які беруть безпосередню участь в адаптації рослин до дії ксенобіотиків.

У період виходу ячменю у трубку активність ферментів класу оксидоредуктаз у порівнянні до показників, одержаних на початку виходу рослин у трубку, знижувалась. Найбільшим це зниження було в варіантах дослідів, де гербіциди застосовували сумісно з РРР, що пов'язано зі стабілізацією детоксикаційних процесів у рослинах.

Підвищення активності антиоксидантних ферментів класу оксидоредуктаз було відмічено нами в усіх польових дослідів у варіантах з ручними прополюваннями одночасно з внесенням препаратів на основних варіантах дослідів (контроль II) та з ручними прополюваннями впродовж вегетаційного періоду (контроль III). Це є наслідком покращення умов росту і розвитку ячменю ярого, які створюються в посівах за часткової або повної відсутності конкуренції з боку бур'янів за основні фактори життя, що в цілому призводить до зростання активності обмінних процесів у рослинах, невід'ємною складовою яких є ферменти.

Гербіциди класів сульфонілсечовини і феноксикарбоксилових кислот викликають зміни у функціонуванні фотосинтетичної системи рослин. Так, за обробки ячменю ярого гербіцидом класу сульфонілсечовини Гранстар 75 у

нормах 10 – 25 г/га без РРР на другу добу експерименту було відмічено зниження на 3–41% в порівнянні з контролем активності транспорту електронів в електротранспортному ланцюзі (ЕТЛ) фотосинтезу хлоропластів. Однак за мінімальної та рекомендованої норм використання гербіциду суттєвого пригнічення транспорту електронів у хлоропластах не спостерігалось, оскільки сульфонілсечовини не є інгібіторами реакції Хілла. Разом з тим зниження активності транспорту електронів у хлоропластах за дії 20–25 г/га Гранстару 75 може розглядатися з погляду індукованого впливу препарату на перебіг реакцій ПОЛ у клітинах. Це підтверджується зворотною за напрямом кореляційною залежністю між рівнем ПОЛ та активністю транспорту електронів в ЕТЛ фотосинтезу хлоропластів ($r = -0,93$).

За дії бакових сумішей гербіциду класу сульфонілсечовини Гранстар 75 і феноксикарбоксилових кислот 2,4-ДА 500 у всіх варіантах досліду на другу добу застосування препаратів спостерігалось пригнічення транспорту електронів. Одержані дані дають підставу стверджувати, що суміші сульфонілсечовинних препаратів із феноксикарбоксиловими кислотами справляють більш глибокий вплив на фізіолого-біохімічний стан хлоропластів, у результаті чого активізується генерування АФК та посилюються процеси ПОЛ, які накладають більш істотний відбиток на перебіг фотохімічних реакцій у хлоропластах.

Оптимальні норми гербіцидів класів сульфонілсечовини, феноксикарбоксилових кислот і комбінованих препаратів, внесені з РРР, забезпечують формування відносно високого рівня суми хлорофілів а і в у листках ячменю ярого (в порівнянні з контролем у середньому на 15–62%) та більшого за розмірами СЗК (на 13–17%). У той же час підвищені норми застосування гербіцидів, особливо сульфонілсечовин у сумішах із феноксикарбоксиловими кислотами, негативно впливають на формування пігментного комплексу рослин, що може бути обумовлено безпосередньою дією цих препаратів як на процеси синтезу хлорофілу, так і його руйнування.

Зокрема, гербіциди можуть стимулювати гідролітичну активність ферменту хлорофілази, яка зазвичай перебуває у зв'язаному стані з білками та іншими речовинами мембран у найбільш асоційованій формі з невеликою активністю. Однак у процесі детоксикації гербіцидів у хлоропластах порушується стабільність хлорофіл-білково-ліпоїдного комплексу, що призводить до активізації ферменту. Встановлено, що за використання Гранстару 75 20–25г/га окремо і в сумішах із РРР активність хлорофілази в листках ячменю зростала в середньому по відношенню до контролю на 17–42%.

Залежно від дії досліджуваних препаратів на пігментний комплекс рослин ячменю ярого, відповідні зміни простежувались у проходженні фотосинтетичних процесів, які нерозривно пов'язані з асиміляцією вуглецевих і азотних сполук. Встановлено, що нагромадження водорозчинних цукрів у листках ячменю ярого у фазу виходу рослин у трубку зростало за інтегрованого застосування гербіцидів і РРР, що є проявом безпосереднього позитивного впливу рістрегуляторів на обмінні процеси в рослинному організмі, які тісно пов'язані з генним та гормональним рівнем регуляції.

У фазу виколошування ячменю ярого вміст цукрів у листках рослин у всіх варіантах досліду, де гербіциди вносились окремо і в поєднанні з РРР, значно перевищував контроль І, але в порівнянні до показників у фазу виходу рослин у трубку був нижчим. Це свідчить про залежність нагромадження цукрів листками ячменю ярого від фази розвитку рослин, максимум за вмістом яких приходить на IV етап органогенезу (вихід у трубку), тобто – на період мікро- і макроспорогенезу. Крім того, у фазу виколошування асимільований листками ячменю ярого вуглець активно транспортується в стебло, а звідти – у колос, де й відмічається його максимальна кількість.

Оскільки процеси асиміляції вуглецю у рослинах тісно пов'язані з азотними обміном, важливим було до- слідити вміст загального азоту в листках ячменю ярого. У результаті проведених досліджень встановлено, що зі збільшенням норм внесення гербіцидів класів сульфонілсечовини, феноксикарбоксилових кислот і комбінованих препаратів до максимальних вміст загального азоту в листках ячменю знижувався, але за використання оптимальних норм гербіцидів із РРР він зростав у середньому на 25–43%.

У період виколошування ячменю ярого простежувалось зниження вмісту азоту в листках рослин, що свідчить про залежність даного показника від спрямованості ростових процесів, за інтенсифікації яких відбувається швидша утилізація метаболітів, необхідних для рослин в якості «будівельного матеріалу».

Нагромадження рослинами ячменю ярого вуглецевих і азотовмісних сполук знаходилось у тісній кореляційній залежності ($r = 0,79-0,87$) з фотосинтетичною продуктивністю посівів (ФПП), найвищі значення якої формувались за використання в посівах композицій Калібр 75 40 г/га + Агат-25К + Агростимулін; Гранстар 75 15 г/га + Емістим С; Гранстар 75 10 г/га + 2,4-ДА 500 1,0 л/га + Емістим С; Дікопур Ф 600 0,5 л/га + Гранстар 75 15 г/га + Емістим С; Лінтур 70 WG 100 г/га + Агат-25К та Хармоні 75 15 г/га + Агат-25К. Так, упродовж 1999–2009 рр. вищезазначені суміші забезпечували

зростання ФПП у середньому на 40–80%, фотосинтетичної продуктивності хлорофілу (ФПХ) – 30–132%, що обумовлювалось загальним позитивним впливом композицій на проходження у рослинах фізіолого-біохімічних процесів на фоні мінімального конкурентного впливу на культуру бур'янів. Це узгоджується з ФПП і ФПХ у варіантах дослідів із ручними прополюваннями впродовж вегетації (контроль III), де за відсутності конкуренції з боку бур'янів, значення цих показників у порівнянні до контролю I зростали в середньому відповідно на 21–82 та 18–107%.

Висновки. Узагальнення одержаних даних щодо впливу гербіцидів і РРР на проходження основних фізіолого-біохімічних процесів у рослинах ячменю ярого дає підставу до обґрунтування концептуальної основи інтегрованої дії препаратів у посівах, сутність якої полягає в тому, що гербіциди і РРР, маючи різні механізми та спрямованість своєї дії, не проявляють конкуренції за спільні сайти (біологічні мішені). У той же час за сумісного внесення гербіцидів і РРР відбувається активізація антиоксидантних систем захисту рослинного організму, завдяки яким знижується негативний вплив на клітини продуктів метаболізму гербіцидів. Зважаючи на це, можна стверджувати, що за інтегрованого застосування гербіцидів і РРР проявляється особлива форма антагоністичної взаємодії, яка може бути охарактеризована як антидотна. Її реалізація відбувається безпосередньо через активізацію роботи детоксикаційних і антиоксидантних систем рослин, а також може здійснюватися шляхом реактивування ключових фізіологічних реакцій, що зазнали негативного впливу ксенобіотики.

Література

1. Біологічні процеси і продуктивність сільськогосподарських культур при застосуванні хімічних і біологічних препаратів та шляхи зменшення гербіцидного навантаження на зовнішнє середовище / Грицаєнко З.М., Грицаєнко А.О., Карпенко В.П. та ін. // Вчені вищої школи України – селу : Праці Міжн. наук. конф., 5 – 7 липня, 2006 р. – Київ – Умань, 2006. – С. 73–87.
2. Жеребко В. М. Гербіциди в інтегрованому захисті / В. М. Жеребко // Карантин і захист рослин. – 2007. – № 7. – С. 12–13.
3. Грицаєнко З.М. Бакові суміші гербіцидів з регуляторами росту – ефективний засіб підвищення продуктивності зернових культур / Грицаєнко З.М., Карпенко В.П. // Пропозиція. – 2003. – №3. – С. 60.
4. Пономаренко С. П. Новые индукторы устойчивости растений с регуляторными и биозащитными свойствами / С. П. Пономаренко, Г. С. Боровикова, Ю. Я. Боровиков // Материалы V Межд. науч. конф. [«Регуляция роста, раз-

вития и продуктивности растений»], (Минск, 28–30 ноября 2007) / Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси. – Минск: Право и экономика, 2007. – С. 161.

5. Карпенко В. П. Агроэкологическое и биологическое обоснование путей снижения отрицательного воздействия гербицидов на растения ярового ячменя / В. П. Карпенко, Р. М. Пригуляк // Экологическая безопасность и устойчивое развития территорий: I Международная научно-практическая конференция. – Чебоксары, 2011. – С. 159-161.

6. Грицаєнко З.М., Грицаєнко А.О., Карпенко В.П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. – К: ЗАТ „Нічлава”, 2003. – С. 231-236.

References

1. Biologichni protsesi i produktivnist silskogospodarskih kultur pri zastosuvanni himichnih i biologichnih preparativ ta shlyahi zmenshennya gerbitsidnogo navantazhennya na zovnishne seredovische / Gritsaenko Z.M., Gritsaenko A.O., Karpenko V.P. ta in. // Vcheni vischoyi shkoli Ukrayini – selu : Pratsi Mizhn. nauk. konf., 5 – 7 lipnya, 2006 r. – KiYiv – Uman, 2006. – S. 73-87.

2. Zherebko V. M. Gerbitsidi v integrovanomu zahisti / V. M. Zherebko // Karantin i zahist roslin. – 2007. – # 7. – S. 12-13.

3. Gritsaenko Z.M. Bakovi sumishi gerbitsidiv z regulyatorami rostu – effektivniy zasib pidvischennya produktivnosti zernovih kultur / Gritsaenko Z.M., Karpenko V.P. // Propozitsiya. – 2003. – #3. – S. 60.

4. Ponomarenko S. P. Novyie induktoryi ustoychivosti rasteniy s regulyatornyimi i biozaschitnyimi svoystvami / S. P. Ponomarenko, G. S. Borovikova, Yu. Ya. Borovikov // Materialyi V Mezhd. nauch. konf. [«Regulyatsiya rosta, razvitiya i produktivnosti rasteniy»], (Minsk, 28–30 noyabrya 2007) / Institut eksperimentalnoy botaniki NAN Belarusi. – Minsk: Pravo i ekonomika, 2007. – S. 161.

5. Karpenko V. P. Agroekologicheskoe i biologicheskoe obosnovanie putey snizheniya otritsatel'nogo vozdeystviya gerbitsidov na rasteniya yarovogo yachmenya / V. P. Karpenko, R. M. Pritulyak // Ekologicheskaya bezopasnost i ustoychivoe razvitiya territoriy: I Mezhdunarodnaya nauchovo-prakticheskaya konferentsiya. – Cheboksaryi, 2011. – S. 159-161.

6. Gritsaenko Z.M., Gritsaenko A.O., Karpenko V.P. Metodi biologichnih ta agrohimichnih doslidzhen roslin i Gruntiv. – К: ЗАТ „Нічлава”, 2003. – С. 231-236.