

УДК 581.19:581.2.02

СОСТОЯНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ ГЛУТАТИОНЗАВИСИМОЙ СИСТЕМЫ ПРОРОСТКОВ КУКУРУЗЫ ПРИ ДЕЙСТВИИ СОЕДИНЕНИЙ КАДМИЯ

© 2009 г. Д. В. Сыщиков

*Криворожский ботанический сад
Национальной академии наук Украины
(Кривой Рог, Днепропетровская обл., Украина)*

Исследовали темпы аккумуляции ионов кадмия в вегетативных органах 6- и 10-дневных проростков кукурузы (*Zea mays* L.), а также влияние соединений кадмия на накопление восстановленной формы глутатиона и активность глутатионзависимых антиоксидантных ферментов. Установлено, что аккумуляция кадмия корневой системой растений происходила интенсивнее, чем листьями. Увеличение содержания токсиканта в среде выращивания приводило к повышению концентрации глутатиона. CdCl₂ и CdSO₄ также вызывали изменения активности глутатионредуктазы и глутатионпероксидазы.

Ключевые слова: *Zea mays* L., кадмий, восстановленная форма глутатиона, глутатионредуктаза, глутатионпероксидаза

Раскрытие механизмов формирования устойчивости растений к изменениям эдафических условий невозможно без изучения функционирования антиоксидантных систем, в частности глутатионзависимой, принимающей активное участие в процессах защиты растительной клетки при стрессовом воздействии разнообразных абиотических факторов (Марченко и др., 1996; Das et al., 1997; Guo, Marschner, 1995).

Несмотря на широко описанную функцию глутатиона как антиоксиданта, в современной научной литературе вопросы относительно изучения влияния соединений тяжелых металлов и в частности кадмия на функционирование ключевых компонентов глутатионзависимой антиоксидантной системы рассмотрены недостаточно и фрагментарно. Так, в отдельных работах показаны тенденции накопления восстановленной формы глутатиона либо изменения активности ферментов redox цикла данного трипептида при действии Se, Ni, Cd и Zn (Baccouch et al., 1998; Guo, Yin, 1998;

Hartikainen et al., 2000; Stroinski et al., 1999). Однако в этих экспериментах не исследовался комплекс процессов ферментативной реутилизации глутатиона при действии абиотического стрессора на ранних стадиях онтогенеза растений.

В связи с этим исследовали функционирование глутатионзависимой антиоксидантной системы при действии на проростки кукурузы солей кадмия.

МЕТОДИКА

Лабораторные исследования проводились на проростках кукурузы гибрида Днепропетровский 310, выращенных на дистиллированной воде, содержащей Cd²⁺ в концентрациях 10⁻⁶М и 10⁻⁵ М. В качестве источника тяжелых металлов использовали соли CdSO₄ и CdCl₂. Растения выращивались в виде водных культур при смешанном освещении и температуре воздуха 18-20°C.

Содержание кадмия, глутатиона и активность антиоксидантных ферментов определяли на 6-е и 10-е сутки эксперимента. Концентрация восстановленной формы глутатиона измерялась по модифицированному нами методу Beutler (Гришко, Сыщиков, 2002). Активность глутатионредуктазы (ГР) определяли как опи-

Адрес для корреспонденции: Сыщиков Дмитрий Валерьевич, Криворожский ботанический сад НАН Украины, ул. Маршака, 50, Кривой Рог, Днепропетровская обл., 50089, Украина;
e-mail: botgard@ukrpost.ua

сано ранее (Гришко, Сыщиков, 1999). Определение активности глутатионпероксидазы (ГПО) проводили по методу, модифицированному для растительных организмов (Гришко, Сыщиков, 1999). Уменьшение НАДФ·Н₂ регистрировали при длине волны 340 нм на спектрофотометре СФ-2000 (Россия). Подготовку растительного материала и определение концентрации кадмия проводили согласно методике ЦИНАО (Методические ..., 1989). Показатели внутриканевого загрязнения проростков (ВЗ) рассчитывали как величину соотношения накопления Cd²⁺ вегетативными органами проростков при наличии и отсутствии его в водной среде (Ильин, Степанова, 1979). Концентрацию белка в пробах измеряли, используя метод Greenberg, Gaddock (1982). При выполнении работы использовались реактивы фирм "Janssen Chimica" (концерн Janssen Pharmaceutica N.V., Бельгия) и "Fluka" (Швейцария).

Повторность в рамках отдельного варианта опытов составляла 25 растений, аналитическая повторность 4-кратная, биологическая повторность каждого опыта была 3-кратной. Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась общепринятыми методами параметрической статистики, достоверность разницы оценивалась по критерию Стьюдента при первом уровне вероятности (P<0,05).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

У 6-дневных растений кукурузы наибольшее количество кадмия по абсолютным значениям накапливается в корневой системе, независимо от использованной соли и концентрации токсиканта. Полученные нами данные хорошо согласуются с результатами экспериментов с проростками кукурузы и пшеницы, в которых показано, что концентрация этого металла в корневой системе была значительно выше, чем в наземной части (Keltjens, van Beusichem, 1998). Также отмечается преимущественное накопление кадмия корнями *Mesembryanthemum crystallinum* по сравнению с листьями (Шевякова и др., 2003). Наибольшее расхождение в концентрации кадмия, поглощенного корневой системой и ассимиляционным аппаратом, наблюдалось в экспериментах, проведенных на проростках ячменя, у которых накопление кадмия в корнях превышало его содержание в листьях в 20 раз (Vassilev et al., 2002).

В то же время показатели внутриканевого загрязнения растений достигают максимальных значений для листьев. Так, у проростков на

среде с высокой концентрацией сульфата и хлорида кадмия они составляли 8,33 и 7,84 для листьев и только 3,58 и 3,34 для корневой системы соответственно. При использовании низкой концентрации токсиканта нами отмечена менее существенная разница значений показателей внутриканевого загрязнения, в среднем в 2 раза (таблица). Вместе с тем, содержание ионов Cd²⁺ в вегетативных органах проростков было выше в варианте опытов с использованием низкой концентрации сульфата по сравнению с вариантом с такой же концентрацией хлорида. Об этом свидетельствуют не только абсолютные значения концентрации тяжелого металла, но и величина показателей внутриканевого загрязнения растений. Так, действие сульфата приводило к накоплению 19,6 и 36,1 мкг Cd/г сухого вещества в листьях и корнях соответственно, тогда как при использовании хлорида эти показатели составляли 12,1 и 27,5 мкг/г сухого вещества.

Наряду с этим, как показано нами в предыдущих исследованиях, наибольшее угнетение ряда ростовых показателей отмечено при выращивании растений кукурузы на среде с сульфатом кадмия по сравнению с хлоридом. При этом в большей степени ингибировались рост и развитие корней проростков. Так, при действии хлорида и сульфата кадмия длина главного корня уменьшалась на 37,1 и 52,4% (Сыщиков, 2002б; Сыщиков, 2003).

С увеличением длительности стрессового влияния концентрация кадмия как в листьях, так и в корневой системе проростков, практически не изменилась. Однако необходимо отметить, что значения показателей внутриканевого загрязнения растений увеличились и наибольших величин они достигли в вариантах опытов с использованием максимальной концентрации соединений кадмия (таблица). Также в этих вариантах опытов расхождение в накоплении ионов Cd²⁺, обусловленные действием разных анионов, сглаживаются и, в отличие от 6-дневных проростков, при выращивании растений на среде с низким содержанием токсиканта влияние аниона соли на процессы накопления катиона металла проявляется в меньшей степени.

Аккумуляция кадмия органами проростков обуславливает усиление процессов накопления восстановленной формы глутатиона. Последний принимает непосредственное участие как в детоксикации гидропероксидов, образующихся в результате процессов пероксидного окисления липидов, так и в хелатировании

СОСТОЯНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ ГЛУТАТИОНЗАВИСИМОЙ

Содержание кадмия в вегетативных органах 6- и 10-дневных проростков кукурузы (мкг/г сухого вещества)

Варианты опытов	Листья		Корни	
	M ± m	B3	M ± m	B3
6 сутки				
Контроль	4,3 ± 0,12	—	15,1 ± 0,84	—
CdSO ₄ 10 ⁻⁶ М	19,6 ± 0,21*	4,56	36,1 ± 0,67*	2,39
CdSO ₄ 10 ⁻⁵ М	35,8 ± 1,74*	8,33	54,0 ± 1,12*	3,58
CdCl ₂ 10 ⁻⁶ М	12,1 ± 1,49*	2,81	27,5 ± 0,58*	1,82
CdCl ₂ 10 ⁻⁵ М	33,7 ± 1,16*	7,84	50,5 ± 0,41*	3,34
10 сутки				
Контроль	3,7 ± 0,24	—	13,9 ± 0,81	—
CdSO ₄ 10 ⁻⁶ М	15,6 ± 1,04*	4,22	36,5 ± 0,51*	2,63
CdSO ₄ 10 ⁻⁵ М	35,1 ± 1,07*	9,49	49,7 ± 1,46*	3,58
CdCl ₂ 10 ⁻⁶ М	13,5 ± 1,07*	3,65	33,0 ± 1,39*	2,37
CdCl ₂ 10 ⁻⁵ М	35,3 ± 0,71*	9,54	45,9 ± 0,18*	3,3

* – статистически достоверная разница относительно контроля, $p < 0,05$

ионов Cd²⁺ (Костишин та ін., 2001; Hendry et al., 1992).

Анализ данных модельных экспериментов показал, что действие низкой концентрации соединений кадмия приводит к увеличению содержания восстановленной формы глутатиона в листьях 6-дневных проростков кукурузы. При использовании концентрации Cd²⁺ 10 мкМ происходило увеличение концентрации глутатиона более чем на 50%, что, по-видимому, связано с усилением синтеза антиоксиданта в условиях накопления тяжелого металла тканями (рис. 1, А). Аналогичные результаты получены в исследованиях, в которых показано, что у растений салата возрастание содержания кадмия в питательном растворе вызывало соответственное увеличение концентрации глутатиона (Maier et al., 2003).

В корневой системе проростков концентрация токсиканта 10⁻⁶ М также вызывает увеличение концентрации глутатиона (в среднем в 2,3 раза). Наряду с этим, более существенное накопление ионов металла тканями корней (50-54 мкг Cd/г сухого вещества) приводит к соответственному статистически достоверному большему увеличению концентрации антиоксиданта. Так, при действии сульфата и хлорида кадмия в концентрации 10⁻⁵ М содержание восстановленной формы глутатиона повышалось более чем в 3 раза (рис. 1, Б).

На 10-е сутки эксперимента установлена аналогичная тенденция накопления восстановленной формы глутатиона вегетативными органами проростков кукурузы. Наряду с увеличением содержания Cd в тканях ассимиляционного аппарата, также возрастала концентрация трипептида (рис. 1, А). В наших предыдущих исследованиях на проростках гороха отмечалась сходная тенденция накопления восстановленной формы глутатиона, положительно коррелирующей с концентрацией кадмия в среде выращивания (Сыщиков, 2002а).

В корневой системе 10-дневных проростков, как и на начальном этапе стрессового влияния, действие низкой концентрации токсиканта приводило к увеличению содержания глутатиона в 2,8 раза, тогда как использование высокой концентрации хлорида и сульфата кадмия повышало его уровень более чем в 3,4 раза.

Проведенный нами корреляционный анализ зависимости изменения концентрации антиоксиданта от содержания соединений Cd показал наличие положительной корреляционной зависимости между этими показателями как для листьев ($r = 0,74-0,98$), так и для корневой системы проростков ($r > 0,90$).

В литературе глутатион рассматривается как один из протекторов при стрессовом воздействии. Реализация этой функции обусловлена замедлением свободнорадикальных процес-

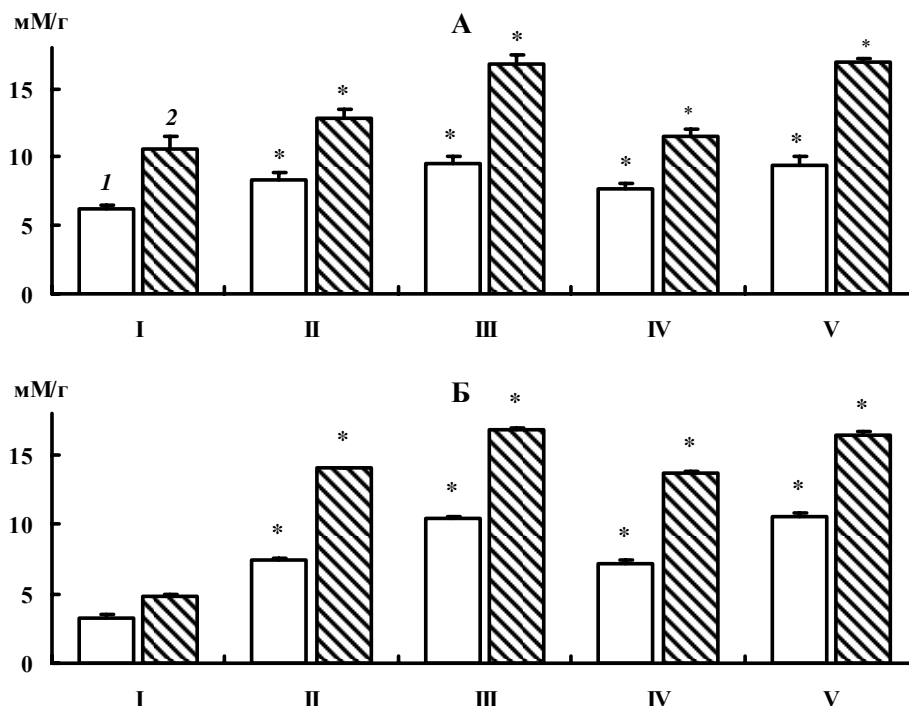


Рис. 1. Содержание восстановленной формы глутатиона (мМ/г сырого вещества) в листьях (А) и корнях (Б) проростков кукурузы при действии солей кадмия.

Здесь и на рис. 2: 1 – 6 сутки, 2 – 10 сутки;

I – контроль, II – CdSO_4 10^{-6}M , III – CdSO_4 10^{-5}M , IV – CdCl_2 10^{-6}M , V – CdCl_2 10^{-5}M ;

* – статистически достоверная разница относительно контроля, $p < 0,05$.

сов. Наряду с этим, и ГПО принимает участие в процессах детоксикации активных форм кислорода, а ГР отвечает за регенерацию окисленной формы глутатиона, и таким образом опосредованно влияет на деятельность аскорбат-глутатионовой антиоксидантной системы (Eshdat et al., 1997; Hazebrouck et al., 2000; Janhke et al., 1991).

Проведенные исследования свидетельствуют, что в листьях проростков кукурузы действие низкой концентрации соединений Cd приводит к увеличению активности антиоксидантных ферментов цикла глутатиона. Так, в вариантах опытов с хлоридом и сульфатом на 6-е сутки эксперимента активность ГР и ГПО в листьях возросла на 47-55% и 36-42% соответственно, а на 10-е – более чем на 50% (рис. 2, А, Б). Скорее всего, в данных вариантах опытов выявленные эффекты обуславливаются ускорением процессов реутилизации антиоксиданта, о чем свидетельствует также соответствующее увеличение содержания восстановленной формы глутатиона. Полученные экспериментальные данные хорошо согласуются с результатами исследований, в которых показано, что у растений сахарного тростника активность ГР значительно повышалась при концентрации

CdCl_2 в среде выращивания 2 и 5 мМ (Fomazier et al., 2002).

При высоком содержании токсиканта в среде выращивания активность ГР статистически достоверно не отличалась от контроля, в то время как активность ГПО уменьшалась на 18 и 21% при действии хлорида и сульфата кадмия как на начальном этапе стрессового влияния, так и с увеличением длительности действия. По нашему мнению, это объясняется тем, что в условиях более интенсивного накопления ионов тяжелого металла растительными тканями преимущественное количество глутатиона используется для связывания кадмия сульфгидрильными группами фитохелатинов и, таким образом, осуществляется уменьшение концентрации донора протонов для глутатионпероксидазной реакции.

Данные, представленные на рис. 2 (В, Г), свидетельствуют об уменьшении активности глутатионзависимых ферментов в корневой системе проростков в вариантах опытов с концентрацией соединений кадмия 10^{-6}M . Так, при действии сульфата и хлорида активность ГР снижалась на 14-20 %, в то время как ГПО – на 35-40 %. Вероятно, этот факт обуславливается недостаточным количеством восстановленной

СОСТОЯНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ ГЛУТАТИОНЗАВИСИМОЙ

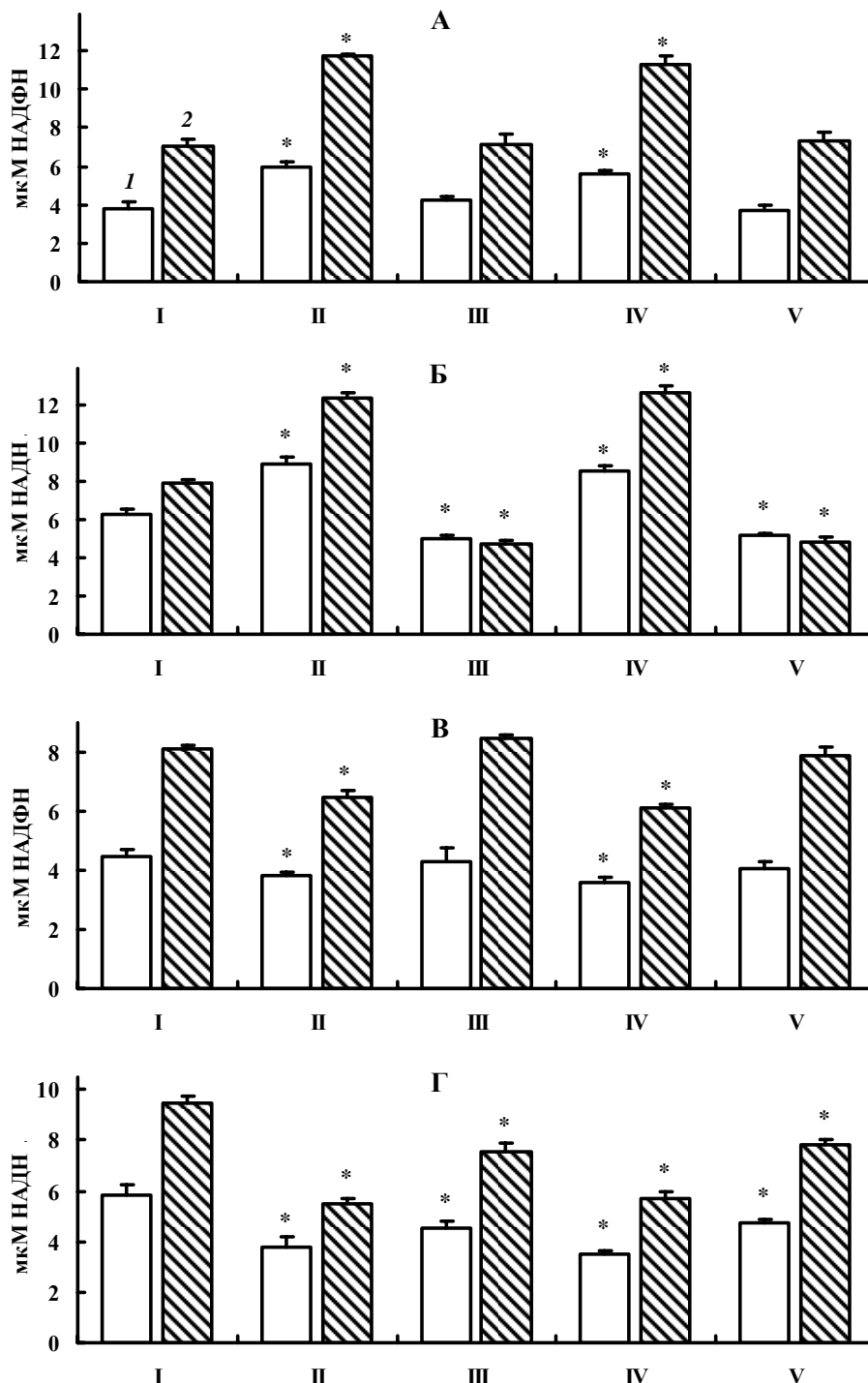


Рис. 2 Активность глутатионредуктазы (А, В) (мкМ НАДФН/мг белка за 5 мин) и глутатионпероксидазы (Б, Г) (мкМ НАДН/мг белка за 5 мин) в листьях (А, Б) и корнях (В, Г) проростков кукурузы при действии солей кадмия.

Обозначения как на рис. 1.

формы глутатиона для эффективного одновременного функционирования глутатионзависимых ферментов и образования фитохелатинов. На синтез последних, вероятно, и используется значительная часть пула антиоксиданта. Подобные результаты получены в исследованиях с использованием растений *Vicia faba*, в которых была отмечена негативная корреляция

активности антиоксидантных ферментов (в том числе и ГР) с концентрацией внесенного кадмия (Cordova et al., 2003). При повышении содержания кадмия в среде выращивания как у 6-, так и у 10-дневных проростков отмечено меньшее снижение активности ГПО по сравнению с вариантами опытов с низкой концентрацией токсиканта. Наряду с этим, активность ГР ста-

статистически достоверно не отличалась от контрольных показателей (рис. 2, В, Г). По нашему мнению, в данном случае при показанном увеличении пула восстановленной формы глутатиона в клетках для выполнения антиоксидантной функции ГПО используются более высокие его концентрации, а повышение активности ГР, скорее всего, указывает на ускорение реутилизации окисленной формы трипептида.

Таким образом, процессы аккумуляции ионов кадмия корневой системой растений осуществлялись более интенсивно по сравнению с листьями. На начальном этапе эксперимента сульфат кадмия приводил к более интенсивному накоплению токсиканта листьями проростков по сравнению с хлоридом. Повышенное содержание кадмия в среде выращивания приводит к возрастанию концентрации восстановленной формы глутатиона в вегетативных органах проростков. Под влиянием соединений кадмия установлены две тенденции функционирования ферментативной системы цикла глутатиона. Повышение активности ГР и ГПО в вегетативных органах, вероятно, связано с усилением процессов реутилизации глутатиона; замедление их функционирования может свидетельствовать о достаточном уровне трипептида для выполнения антиоксидантных функций. Наряду с этим, нами не установлен эффект влияния аниона солей кадмия на активность ГР и ГПО.

ЛИТЕРАТУРА

- Гришко В.Н., Сыщиков Д.В. Метод определения восстановленной формы глутатиона в вегетативных органах растений // Укр. биохим. журн. – 2002. – Т. 74, № 46. – С. 123-124.
- Гришко В.Н., Сыщиков Д.В. Перекисное окисление липидов и функционирование некоторых антиокислительных ферментных систем у кукурузы и овса при остром поражении фтористым водородом // Укр. биохим. журн. – 1999. – Т. 71, № 3. – С. 51-57.
- Ильин В.Б., Степанова М.Д. Относительные показатели загрязнения в системе почва-растение // Почвоведение. – 1979. – № 11. – С. 61-67.
- Костишин С.С., Марченко М.М., Руденко С.С. та ін. Антипероксидантно-пероксидантний статус як критерій адаптації рослин до позаоптимальних факторів // Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліть. – К., 2001. – Т. 2. – С. 52-59.
- Марченко М.М., Блошко М.М., Костишин С.С. Действие малых доз γ -облучения на состояние глутатионовой системы кукурузы (*Zea mays* L.) // Укр. биохим. журнал. – 1996. – Т. 68, № 2. – С. 94-98.
- Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М., 1989. – 62 с.
- Сыщиков Д.В. Глутатіонзалежна антиоксидантна система і толерантність проростків кукурудзи, сої й гороху за дії кадмію та нікелю: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. – К., 2003. – 18 с.
- Сыщиков Д.В. Изменение концентрации восстановленной формы глутатиона у проростков гороха при действии на них ионов Cd и Ni // Укр. биохим. журн. – 2002а. – Т. 74, № 46. – С. 140-141.
- Сыщиков Д.В. Определение степени устойчивости проростков гороха и кукурузы к действию соединений кадмия // Тез. докл. межд. науч. конф., посвященной 70-летию со дня основания Центр. ботан. сада (30-31 мая 2002, г., Минск). – Минск, 2002б. – С. 272-274.
- Шевякова Н.И., Непрошина И.А., Аронова Е.Е., Кузнецов В.В. Распределение Cd и Fe в растениях *Mesembryanthemum crystallinum* при адаптации к Cd-стрессу // Физиология растений. – 2003. – Т. 50, № 5. – С. 756-763.
- Baccouch S., Chaoui A., El Ferjani E. Nickel-induced oxidative damage and antioxidant responses in *Zea mays* shoots // Plant Physiol. Biochem. – 1998. – V. 36, № 9. – P. 689-694.
- Cordova R.E.V., Valgas C., Souza-Sierra M.M. et al. Biomass growth, micronucleus induction, and antioxidant stress enzyme responses in *Vicia faba* exposed to cadmium in solution // Environ. Toxicol. Chem. – 2003. – V. 22, № 3. – P. 645-649.
- Das P., Samantaray S., Rout G.R. Studies of cadmium toxicity in plants: a review // Environ. Pollut. – 1997. – V. 98, № 1. – P. 29-36.
- Eshdat Y., Holland D., Faltin Z., Ben-Hayyim G. Plant glutathione peroxidases // Physiol. Plant. – 1997. – V. 100. – P. 234-240.
- Fomazier R.F., Ferreira R.R., Vitoria A.P. et al. Effects of cadmium on antioxidant enzyme activities in sugar cane // Biol. Plant. – 2002. – V. 45, № 1. – P. 91-97.
- Greenberg Ch.S., Gaddock Rh.R. Rapid single step membrane protein assay // Clin. Chem. – 1982. – V. 28, № 7. – P. 1726-1728.
- Guo Y., Marschner H. Uptake, distribution, and binding of cadmium and nickel in different plant species // J. Plant Nutr. – 1995. – V. 18, № 12. – P. 2691-2706.
- Guo J., Yin S. Effect of selenium on glutathione peroxidase activity and glutathione content of higher plants // Xibei Zhiwu Xuebao. – 1998. – V. 18, № 4. – P. 533-537.

СОСТОЯНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ ГЛУТАТИОНЗАВИСИМОЙ

Hartikainen H., Xue T., Piironen V. Selenium as an anti-oxidant and pro-oxidant in ryegrass // Plant Soil. – 2000. – V. 225, № 1-2. – P. 193-200.

Hazebrouck S., Camion L., Faltin Z. et al. Substituting selenocysteine for catalytic cysteine 41 enhances enzymatic activity of plant phospholipid hydroperoxide glutathione peroxidase expressed in *Escherichia coli* // J. Biol. Chem. – 2000. – V. 275, № 37. – P. 28715-28721.

Hendry G.A.F., Baker A.J.M., Ewart C.F. Cadmium tolerance and toxicity, oxygen radical processes and molecular damage in cadmium-tolerant and cadmium-sensitive clones of *Holcus lanatus* // Acta Bot. Neerl. – 1992. – V. 41. – P. 271-281.

Janhke L.S., Hull M.R., Long S.P. Chilling stress and oxygen metabolising enzymes in *Zea mays* and *Zea diploperennis* // Plant Cell Environ. – 1991. – V. 14. – P. 97-104.

Keltjens W.G., van Beusichem M.L. Phytochelatin as biomarkers for heavy metal stress in maize (*Zea mays* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.): combined effects of copper and cadmium // Plant and Soil. – 1998. – V. 203. – P. 119-126.

Maier E.A., Matthews R.D., McDowell J.A. et al. Environmental cadmium levels increase phytochelatin and glutathione in lettuce grown in a chelator-buffered nutrient solution // J. Environ. Qual. – 2003. – V. 32, № 4. – P. 1356-1364.

Stroinski A., Kubis J., Zielezinska M. Effect of cadmium on glutathione reductase in potato tubers // Acta Physiol. Plant. – 1999. – V. 21, № 3. – P. 201-207.

Vassilev A., Lindon F.C., de Ceu M.M. et al. Photosynthetic performance and content of some nutrients in cadmium- and copper-treated barley plants // J. Plant Nutr. – 2002. – V. 25, № 11. – P. 2343-2360.

Поступила в редакцию
17.12.2008 г.

STATE OF ANTIOXIDANT GLUTATHIONEDEPENDENT SYSTEM OF MAIZE PLANTLETS AT ACTIONS OF CADMIUM COMPOUNDS

D. V. Syshchikov

*Kriviy Rig botanical garden
of National academy of sciences of Ukraine
(Kriviy Rig, Dnepropetrovsk reg., Ukraine)*

The rates of cadmium ions accumulation in vegetative organs of 6- and 10-day maize (*Zea mays* L.) plantlets and the influence of cadmium compounds on accumulation of glutathione reduced form and activity of glutathione-dependent antioxidant enzymes have been explored. The cadmium accumulation by plants root system was carried out with most intensity, than by leaves. The increase of toxicant maintenance in the environment of growing resulted in the increase of glutathione concentration. CdCl₂ and CdSO₄ caused the changes of glutathionereductase and glutathioneperoxidase activity.

Key words: *Zea mays* L., cadmium, glutathione reduced form, glutathionereductase, glutathioneperoxidase

СТАН АНТИОКСИДАНТНОЇ ГЛУТАТИОНЗАЛЕЖНОЇ СИСТЕМИ ПРОРОСТКІВ КУКУРУДЗИ ЗА ДІЇ СПОЛУК КАДМІЮ

Д. В. Сишиков

*Криворізький ботанічний сад
Національної академії наук України
(Кривий Ріг, Дніпропетровська обл., Україна)*

Досліджували темпи акумуляції іонів кадмію у вегетативних органах 6- і 10-денних проростків кукурудзи (*Zea mays* L.), а також вплив сполук кадмію на нагромадження відновленої форми глутатіону та активність глутатіонзалежних антиоксидантних ферментів. Встановлено, що акумуляція кадмію кореневою системою рослин відбувається інтенсивніше, ніж листками. Збільшення вмісту токсиканту у середовищі вирощування призводить до підвищення концентрації глутатіону. CdCl₂ і CdSO₄ також спричиняли зміни активності глутатіонредуктази і глутатіонпероксидази.

Ключові слова: *Zea mays* L., кадмій, відновлена форма глутатіону, глутатіонредуктаза, глутатіонпероксидаза