

Реакция Растений Тыквы на Раздельное и Совместное Воздействие Кадмия и Засоления

Т.С. Ширвани, А.Д. Самедова, И.Т. Пириев, М.А. Аннагиева, Х.Л. Салаева, Ф.К. Алиева,
Г.Х. Бабаева, В.М. Али-заде

Институт ботаники НАН Азербайджана, Бадамдарское шоссе 40, Баку AZ 1073, Азербайджан

Исследована специфика физиолого-биохимических ответных реакций растений тыквы в ходе их продолжительной кросс-адаптации к токсическому воздействию кадмия в условиях хлоридного засоления. Растения выращивались в питательном растворе Кнопа с добавлением в него как раздельно, так и совместно Cd (2 ppm) и NaCl (100мМ). У 7- и 14- дневных опытных растений выявлена более высокая чувствительность изученных ростовых и физиолого-биохимических процессов (рост корня и стебля, накопление ими сухой и сырой биомассы, азотно-белковый обмен и протеолиз) к ингибирующему влиянию Cd, чем к NaCl. У 21- дневных растений, и особенно в их корнях, наблюдалась некоторая активация ростовых и биосинтетических процессов при совместном воздействии Cd+NaCl по сравнению с растениями, обработанными одним Cd, что свидетельствует о том, что адаптация растений к хлоридному засолению сопровождается снижением токсического эффекта Cd на рост и метаболизм растений.

Ключевые слова: тыква, кадмий, хлоридное засоление, стресс, ответные реакции растений

ВВЕДЕНИЕ

В физиологии растений основное внимание уделяется специфическим аспектам воздействия различных стрессоров на растительный организм. Это помогает лучше познать происходящие в нем процессы и их механизмы. Однако в природе растения на различных стадиях своего жизненного цикла постоянно или периодически подвергаются одновременному воздействию нескольких негативных факторов. Поэтому в экологическом смысле важны не только механизмы действия отдельных стрессоров, но и общие последствия их комплексного воздействия (Духовский и др., 2003), которые могут оказаться для растений в процессе их кросс-адаптации как положительными, так и отрицательными.

Как известно, способность растений повышать устойчивость к данному конкретному фактору в результате адаптации к фактору иной природы называется кросс-адаптацией (Hale, 1969). Однако, длительная обработка конкретным вредным агентом может не только повысить толерантность организма к этому фактору, но и привести к повышению или же к потере устойчивости к другим вредным воздействиям, с которыми адаптированный организм никогда ранее не сталкивался.

Явление кросс-адаптации сравнительно хорошо исследовано у растений. Так, например, показано, что кратковременный тепловой шок повышает устойчивость растений к действию последующего засоления, засухи, тяжелых

металлов, ультрафиолетовой радиации, низких температур и других факторов (Волков и др., 2006). Адаптация растений хлопчатника к водному дефициту или засолению, в свою очередь, сопровождается повышением их термоустойчивости, а адаптация проростков кукурузы к солям меди, цинка или кадмия повышением устойчивости к ранее летальным температурам. Совокупность представленных данных позволяет говорить о функционировании у растений общих механизмов устойчивости, реализация которых проявляется не только на уровне целого растения, но и на клеточном уровне (Кузнецов, 2001; Toderich et al., 2002, 2010).

Вопрос о том, сопровождается ли адаптация растений к избыточному засолению способностью увеличивать их толерантность к тяжелым металлам (ТМ) (в частности, кадмию), в настоящее время остается открытым, поскольку проведены лишь единичные исследования ответных стрессовых реакций растений к тяжелым металлам в условиях избыточного засоления (Helal et al., 1998; Волков и др., 2006; Кузнецов и др., 2009; Raziuddin et al., 2011).

Вместе с тем засоление почвы и загрязнение ее тяжелыми металлами являются одними из главных неблагоприятных эдафических факторов внешней среды, влияющих на рост и развитие растений и снижающих продуктивность сельскохозяйственных культур. Засоление становится еще более опасным, когда растения подвергаются металлотоксическому, в частности, Cd стрессу (Shafi et al., 2010).

Неуклонно возрастающая антропогенная нагрузка на природу приводит к еще большему увеличению количества засоленных территорий и к загрязнению окружающей среды, в том числе и засоленных почв, тяжелыми металлами. В настоящее время около 25% почв земного шара в той или иной степени засолены, и засоление почв все еще продолжается (Кузнецов и др., 2009). Засоленные почвы только в Азербайджане занимают свыше 1,5 млн гектаров, составляя значительную часть земельного фонда в таких важнейших сельскохозяйственных регионах, как Кура-Араксинская низменность и Абшерон (Вабаев, 2003).

С другой стороны, на одной из наиболее проблемных в экологическом отношении территорий Азербайджана – Абшеронском полуострове – средняя концентрация ТМ превышает допустимые их уровни в 3-60 раз (Нац. план дейст. по охр. окр. сред., 1998). В силу этого проблема устойчивости и адаптации растений к ТМ в условиях засоления не только не потеряла своей остроты, но с каждым годом приобретает все большую актуальность. Однако, несмотря на это, механизмы устойчивости растений к совместному воздействию засоления и токсичности металлов до сих пор не изучены.

Вместе с тем, понимание механизмов адаптации растений к комплексному действию засоления и токсичности тяжелых металлов крайне важно как с теоретической, так и с практической точек зрения. Первое необходимо для понимания общих механизмов устойчивости растений к различным стрессовым факторам. С другой стороны, загрязнение окружающей среды NaCl и ТМ все более остро ставит вопрос о поиске растений, способных выживать в этих экстремальных условиях.

В этой связи изучение механизмов устойчивости растений к обоим стрессовым факторам по их ответным реакциям является наиболее целенаправленным подходом в поиске толерантных растительных организмов, отличающихся своей индивидуальной стратегией выживания и размножения в неблагоприятных условиях окружающей среды. Использование сельхоз. культур, устойчивых к высоким концентрациям NaCl и ТМ, может явиться экономическим решением проблемы смягчения негативного действия их высоких доз на продуктивность и урожай растений.

Целью настоящей работы явилось изучение реакций растений тыквы по изменению параметров роста, аккумуляции биомассы, содержания азотистых соединений и активности протеиназ в различных органах на индиви-

дуальное и комплексное воздействие Cd и засоления.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования в работе служили корни, настоящие и семядольные листья растений тыквы (*Cucurbita pepo* L.) сорта «Перехватка». Пятидневные проростки пересаживали в питательный раствор Кнопа (0,5 N, pH 6,0) в 4 вариантах опыта:

- контроль (питательный раствор)
- питательный раствор + NaCl (100мМ)
- питательный раствор+Cd (2ppm), или $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ - 5,8 мкМ
- питательный раствор +Cd (2ppm) + NaCl (100мМ)

Растения выращивали до 21 дня. Пробы растений из всех вариантов брали на анализ в три срока через каждые 7 дней (на 7, 14, 21 день) в трех биологических повторностях.

Активность протеолитических ферментов, содержание растворимых белков, изменение морфометрических показателей и накопление биомассы, изменение содержания различных форм азота в надземных и подземных органах растений определяли по общепринятым методикам, изложенным ранее (Ширвани и др., 2010).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные по изучению воздействия хлоридного засоления и кадмия при раздельном и совместном их применении на ростовые параметры корней и побегов представлены на Рис. 1. Как видно из рисунка, рост корня, как и в предыдущих наших исследованиях (Ширвани и др., 2010), оказался более чувствительным к воздействию кадмия, чем рост побега. Причем, ингибирующее влияние кадмия при взятой сравнительно невысокой дозе на рост корня обнаруживается уже у 7-дневных растений, высота стебля в этот период оказалась одинаковой с контрольными растениями (103%). У 14-дневных опытных растений длина корня еще более отстает от контрольных (на 40%), стебель при этом уже начинает уступать контрольным растениям (уменьшение на 7%), а в последующие сроки далеко начинает отставать от них (37%).

Что касается варианта с обработкой растений только NaCl, то следует отметить, что

большинство растений в этих условиях погибло уже в первый срок опыта, по всей видимости, из-за вызванного засолением у еще слабых проростков водного дефицита и дисбаланса поглощенных ими питательных элементов. У оставшихся в живых растений стебель оказался более чувствительным к засолению, чем корень, что наглядно видно из Рис.1. Высота стебля закономерно уменьшалась по мере воздействия NaCl от срока к сроку опыта, составляя, соответственно, 84-81-76% от контроля, корень же при засолении чувствовал себя значительно комфортнее, особенно на 21-й день опыта, когда он заметно (на 10 %) опережал контрольные растения.

Совместное применение NaCl и Cd одинаково негативно отражалось как на росте стебля, так и на росте корня во всех сроках опыта, сильнее угнетая рост обоих органов, чем каждый из стрессоров в отдельности (Рис. 1.). Как было отмечено и в работе с ячменем (Smykalova and Zamesnikova, 2003), за исключением 3 срока опыта, когда наблюдалось более заметное снижение угнетения роста корня смесью NaCl+Cd, чем отдельно Cd. Однако менялось его внешнее состояние: корень становился желтоватым, жестким, уменьшался его объем и вес. Пожелтение корня обуславливалось, по всей вероятности, окислительным стрессом, вызванным действием токсикантов (Smykalova and Zamesnikova, 2003). Хорошо известно, что Cd в комбинации с NaCl повышает плазма-мембранную проницаемость растений и увеличивает продукцию кислородных радикалов и H_2O_2 (Muhling and Lauchli,

2003).

Для изучения характера взаимодействия двух стрессоров далее исследовали накопление биомассы растениями при раздельном и совместном действии NaCl и Cd (Рис. 2). Известно, что накопление сырой и сухой биомассы растениями, распределение ее между различными органами свидетельствует об уровне синтетических процессов, происходящих в организме в процессе его роста в норме и при адаптации к стрессовому воздействию (Ширвани и др., 2009, 2010). Судя по данным, представленным на Рис. 2, опытные растения испытывали токсическое воздействие обоих стрессоров, каждого в отдельности и в комплексе, уже с 7-дневного возраста, что наглядно проявлялось на их надземных частях. От воздействия одного Cd они страдали больше, чем от NaCl, и еще больше от комплекса NaCl+Cd, что нашло отражение в накоплении побегов сухой биомассы (в % от контроля) в следующей последовательности: 72,5 % (при NaCl), 65,5% (при Cd) и 51,9% (при NaCl+Cd). С увеличением продолжительности действия стрессоров снижение биомассы в надземных органах по сравнению с контролем еще более усугубляется в вариантах с Cd и NaCl+Cd, а в варианте с воздействием одного только NaCl, наоборот, увеличивается (на 14-17%) у 14- и 21-дневных растений по сравнению с 7-дневными растениями. Иными словами, активность синтетических процессов в надземных частях опытных растений значительно ослабевает у 7-дн. и особенно у 21-дн. растений под воздействием Cd и NaCl+Cd.

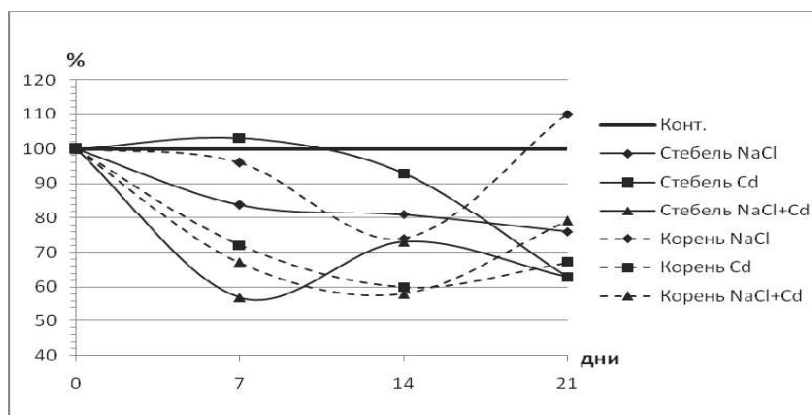


Рис. 1. Влияние NaCl и Cd при их раздельном и совместном применении на длину стебля и корня растений тыквы в зависимости от длительности воздействия (в % от контроля).

Иная картина отмечена в корнях опытных растений. Сухой вес корней только при засолении заметно увеличивается (на 27-36% в зависимости от сроков опыта), а при воздействии одного Cd и Cd в комплексе с NaCl наблюдалось отставание от контроля на 23-38% в случае Cd и на 30-31% в случае NaCl+Cd. Добавление к питательной среде Cd на фоне хлоридного засоления несколько позитивно влияло на аккумуляцию биомассы корнями растений, чем влияние одного только Cd, но значительно снижало их биомассу по сравнению с корнями растений, испытывающих только хлоридное засоление.

В варианте NaCl+Cd растения аккумулялировали биомассу несколько в большем количестве, чем в варианте только с Cd (I срок - на 13%, II срок - 7% и III срок - 2% от варианта с Cd). Эти данные говорят о том, что адаптация растений к хлоридному засолению сопровождается, хотя и незначительным, но все-таки снижением токсического эффекта Cd на них.

Об этом свидетельствует и показатель ОКП - отношение сухой массы корня к сухой массе побега, характеризующий распределение ассимилятов между надземными и подземными органами растений и их синтетическую активность в процессе оптимального роста и при адаптации к стрессовым воздействиям. Из Рис. 2 видно, что в стрессовых условиях во всех трех вариантах (NaCl; Cd; NaCl+Cd) и во всех сроках опыта (7, 14 и 21 дн.) наблюдается

значительное повышение данного отношения по сравнению с контрольными растениями, т.е. имело место более усиленное накопление корневой системой биомассы по сравнению с надземной частью растения (в расчете на контроль), что является одной из ответных реакций комплекса защитно-приспособительных процессов, активизирующихся в ответ на стрессовые условия.

Использование азота в растениях, а также соответствующее накопление и распределение азотсодержащих соединений между надземными и подземными органами являются необходимыми процессами роста, развития и жизнеспособности растительного организма в оптимальных и стрессовых условиях среды. Анализ данных по изучению влияния Cd и хлористого засоления на содержание и распределение азотистых веществ (различных форм азота - общего, белкового и небелкового) в растениях показал (Табл. 1), что содержание общего азота как в контрольных растениях (и в побегах, и в корнях), так и в растениях других 3 вариантов, было самым высоким в первом сроке опыта.

По мере увеличения продолжительности воздействия токсикантов содержание общего азота в обоих органах уменьшалось у 14-дневных растений, затем увеличивалось у 21-дневных растений в вариантах с засолением (NaCl и NaCl+Cd), но оставалось ниже, чем у контрольных растений.

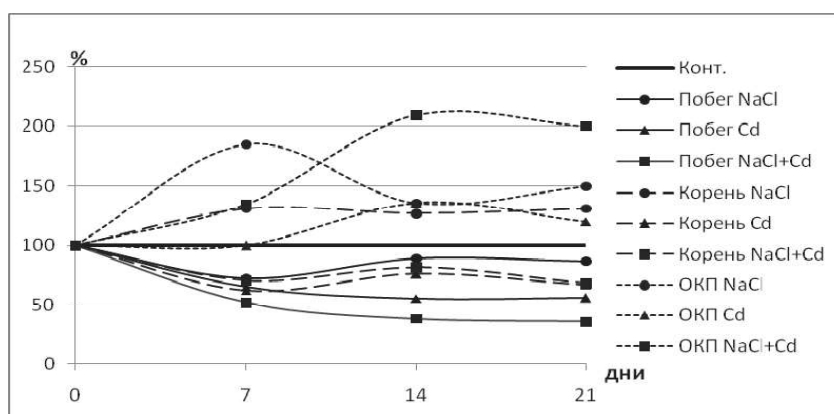


Рис. 2. Накопление в динамике сухой биомассы различными органами одного растения тыквы, выращенного при раздельном и совместном применении NaCl и Cd (в % от контроля).

При обработке растений только Cd концентрация общего азота, наоборот, увеличивалась по сравнению с контролем и в побегах (у 7- и 14-дневных растений), и в корнях (у 14- и 21-дневных растений). При совместной обработке растений Cd и NaCl увеличение

содержания общего азота наблюдалось только в корнях опытных растений по сравнению с контролем (Табл. 1).

Содержание белкового азота, свидетельствующее об эффективности использования азотистых веществ в синтезе белков и

являющееся важным показателем активности синтетических процессов в растениях, по нашим данным, представленным в таблице, закономерно снижается как в побегах (145–102–100 мг/г сух. массы), так и в корнях (36–23–29 мг/г сух. массы) контрольных растений по мере их роста от срока к сроку опыта, несколько увеличиваясь в корнях у 21-дневных растений по сравнению с 14-дневными (на 27%). У опытных растений под действием NaCl наблюдается такое же снижение концентрации белкового азота по мере увеличения сроков воздействия соли в побегах растений (102–65–64 мг/г сух. в-ва), как и в варианте с NaCl+Cd (138–69–87 мг/г сух. в-ва). Что касается корней опытных растений, то содержание белкового азота во всех вариантах опыта и, в частности, в вариантах с Cd и NaCl+Cd во всех сроках опыта (кроме 7 дн.) было значительно выше, чем в контрольных растениях, составляя в % от контроля 86–134–110%, соответственно, по срокам опыта при Cd и 69–165–131% при NaCl+Cd. Полученные данные свидетельствуют о повышении активности синтетических процессов в растениях под влиянием токсикантов, о включении и активации в этих фазах защитно-приспособительных механизмов метаболизма в ответ на вредное воздействие соли и металла. Причем, в условиях засоления влияние Cd оказалось более благоприятным для растения, чем в случае воздействия одного лишь Cd: в первом случае содержание белкового азота повышается на 22,5% по сравнению с вариантом «Cd» (у 14-днев. растений) и на 18,7% - у 21-днев. растений. Это еще раз подчеркивает, что адаптация растений к хлоридному засолению сопровождается снижением ингибирующего влияния Cd на активацию синтетических процессов в корнях растений.

Об этом говорит также показатель отношения белковый N/ небелковый N, являющийся наиболее убедительным свидетельством биосинтетической активности растений. Судя по этому показателю (Табл. 1), ассимиляция азота в синтезе белков с возрастом растений неуклонно падает у контрольных растений как в побегах (12-9-4,5), так и в корнях (7-4-3,5). У корней опытных растений в варианте с Cd этот показатель значительно выше (на 75%), чем у контроля во втором сроке опыта (14 дн.) и на 14% - в третьем сроке опыта (21 дн.); при совместном воздействии обоих токсикантов - на 42% выше, чем у контроля (3 срок) и на 25% выше, чем в варианте только с Cd. Иными словами, использование азота в синтезе белков заметно активизируется у

опытных растений под действием Cd в условиях засоления по сравнению с контрольными растениями и растениями, обработанными только Cd.

Определение в динамике содержания общих растворимых белков в различных органах растений тыквы, выращенных в условиях раздельного и комплексного воздействия засоления и кадмия в течение 21 дня, еще раз подтвердило результаты более эффективного использования азота в синтезе белков в случае совместного воздействия Cd+NaCl, чем отдельно Cd и NaCl (Рис. 3), как в корнях, так и в настоящих и семядольных листьях. Причем, в продолжение всего эксперимента концентрация белков и в контрольных, и в опытных растениях несколько уменьшалась во всех органах от срока к сроку опыта, оставаясь при этом самой высокой в настоящих листьях во всех взятых вариантах.

По всей вероятности, под влиянием обоих стрессоров как в отдельности, так и в комплексе в растениях активизируются защитно-приспособительные механизмы метаболизма растений, несколько усиливаются синтетические процессы и появляются новые белки, специфичные для реакции на стрессы. Не исключено, что эти белки синтезируются в результате индуцируемой стрессами экспрессии специфических генов и необходимы растениям для повышения их устойчивости и адаптации к токсическому воздействию среды.

Чем выше концентрация NaCl (40–200мМ), тем заметнее увеличивалось содержание растворимых белков и в листьях растений мандарина и грейпфрута в работе (Ma et al., 2005). Авторы также считают, что под влиянием солевого стресса у растений появились новые растворимые белки, специфичные для реакции на фитотоксичность NaCl. Засоление вызывало повышение содержания растворимых белков и в листьях солеустойчивого и солечувствительного генотипов пшеницы, а Cd не изменял концентрацию белков и распределение металла в них в работе Muhling и Lauchli (2003).

Известно, что в условиях засоления поглощение Cd растениями понижается, и, таким образом, смягчается его токсическое воздействие на метаболические процессы. В частности, показано, что при хлоридном засолении у солеустойчивого генотипа пшеницы поглощение Cd понижается, а у солечувствительного генотипа, наоборот, наблюдается повышение содержания Cd в листьях (Muhling and Lauchli, 2003). Такая же картина отмечена у томата в отношении бора (Ben-Gal and Shani, 2002).

Таблица 1. Динамика распределения различных форм азота в органах растений тыквы, подвергнутых воздействию кадмия и хлоридного засоления при их раздельном и совместном применении, в зависимости от длительности опыта (в мг/г абс. сух. массы)

Формы азота	7 дней				14 дней				21 день			
	Дни	Конт.	NaCl	Cd	Конт.	NaCl	Cd	NaCl+Cd	Конт.	NaCl	Cd	NaCl+Cd
Общий	Побеги	157	122	174	161	113	75	121	101	122	80	111
	Корни	41	28	40	33	28	30	35	47	37	28	40
Небелковый	Побеги	12	20	25	23	11	10	20	32	22	16	24
	Корни	5	6	9	8	5	7	4	9	8	6	8
Белковый	Побеги	145	102	149	138	102	65	101	69	100	64	87
	Корни	36	22	31	25	23	23	31	38	29	22	32
Отношение: белк.N/ небелк. N	Побеги	12	5	6	6	9	7	5	2	4,5	4	3
	Корни	7	3,5	3	3	4	3	7	4	3,5	3,5	4
Белковый N в % от контроля	Побеги	100	70	103	95	100	64	99	68	100	44	60
	Корни	100	61	86	69	100	100	135	165	100	76	110

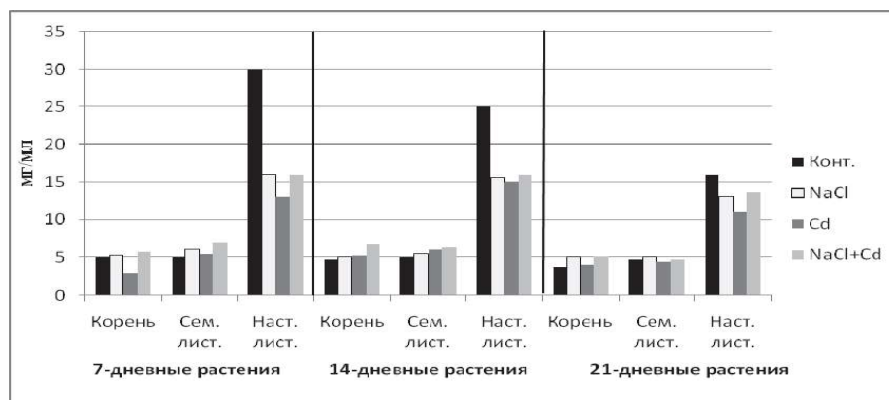


Рис. 3. Динамика содержания общих растворимых белков в надземных и подземных органах растений тыквы, выращенных при раздельном и совместном воздействии NaCl и Cd (в мг/мл)

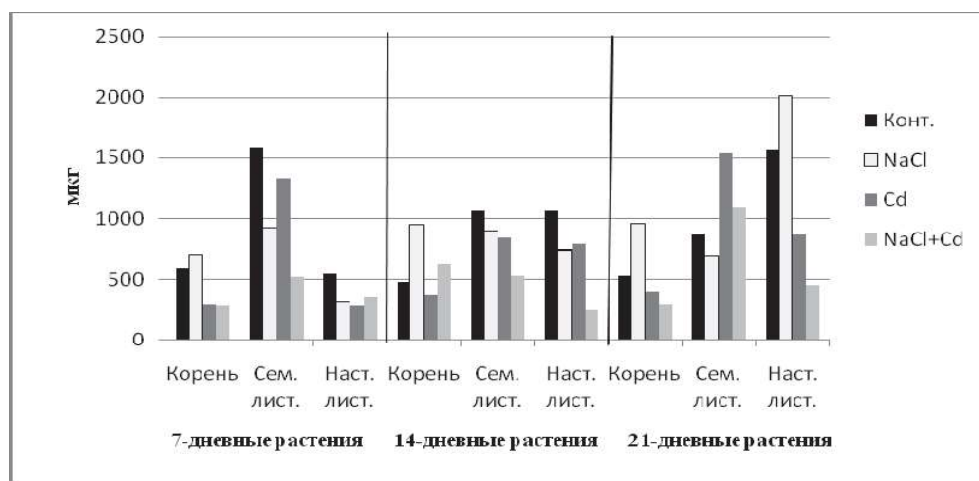


Рис. 4. Изменение протеолитической активности в различных органах растений тыквы в зависимости от длительности раздельного и совместного воздействия NaCl и Cd (в мкг на 1 растение).

Растения ячменя в условиях NaCl+Cd накапливали меньше кадмия как в корнях, так и в побегах, чем обработанные только Cd растения (Smykalova and Zamesnikova, 2003). В условиях засоления наблюдалось уменьшение концентрации кадмия как в корнях, так и в побегах растений ячменя и в работе Huang et al. (2007). Однако, согласно данным Helal et al. (1998), Cd в условиях засоления, в основном, размещался в побегах, превышая его содержание в контроле почти в 2,2 раза, а в корне, наоборот, его содержание уменьшалось по сравнению с контролем в 2,5 раза.

В других исследованиях, в частности, в работе Волкова и др. (2006) показано, что адаптация растений хрустальной травки к NaCl сопровождается выраженным снижением токсического эффекта меди, но защитный эффект хлористого Na не был связан с торможением поглощения и аккумуляции

металла в их листьях. В исследованиях Raziuddin et al. (2011) Cd и NaCl как в отдельности, так и в комбинации уменьшали рост растений 2 видов *Brassica* (*B.napus* и *B.juncea*). Однако совместное применение Cd и NaCl значительно негативнее отражалось на ростовых параметрах, чем применение Cd и NaCl в отдельности. *B.juncea* сравнительно с *B.napus* сильнее подвергалась этим стрессам, указывая, что устойчивость к Cd и NaCl может быть видоспецифичной.

Большую роль в устойчивости растений к действию неблагоприятных факторов внешней среды играют протеолитические ферменты и их белковые ингибиторы. Известно, что протеолитические ферменты выполняют в растениях не только деструктивную (гидролизующие белки) роль, но и принимают участие в регуляции жизненно важных процессов (Домаш и др, 2007, 2009).

Учитывая, что адаптивная перестройка азотно-белковой системы растений под токсическим воздействием металлов и засоления совместно с другими факторами зависит и от активности системы протеолиза, мы провели исследование индуцируемых кадмием и NaCl изменений в активности протеаз в различных органах тыквы в зависимости от длительности воздействия токсикантов.

Полученные данные в абсолютном исчислении (мкг/1 растение) представлены на Рис. 4. Как видно из Рис. 4, в первом сроке опыта (7 дн.), когда растения еще находятся на собственном обеспечении за счет запасных веществ в зародышевых семядольных листьях, во всех 3 вариантах опыта и особенно в варианте комплексного воздействия NaCl и Cd, активность протеолитических ферментов была очень низкой в корнях и семядольных листьях по сравнению с контрольными растениями. С удлинением сроков вегетации, т.е. у 14-дневных растений, активность протеаз в корнях начинает расти и опережать контрольные растения на 95% в варианте с NaCl и на 30% в варианте Cd+NaCl. В других же органах, наоборот, активность протеаз ослабевает. У 21-дневных растений наблюдается резкое повышение активности протеаз как в корнях, так и в настоящих листьях в варианте с NaCl, а при обработке растений Cd (варианты – Cd и NaCl+Cd) наоборот, активность уменьшалась в этих органах и увеличивалась в семядольных листьях.

В целом, стрессовые условия, а именно Cd и NaCl+Cd способствовали активации процессов гидролиза запасных питательных веществ в семядольных листьях и переброске их в корни и настоящие листья. В этих органах, судя по снижению активности протеолитических ферментов, наблюдается ослабление гидролитических процессов и повышение активности синтетических процессов, особенно в корнях опытных растений. Как было показано выше, в условиях раздельного (Cd) и особенно комплексного воздействия стрессоров (NaCl+Cd) корни растений отличаются более повышенным содержанием сухой биомассы, белкового азота и белков, чем надземные органы опытных растений. Все это свидетельствует о защитном эффекте хлористого натрия на растения и особенно на их корневую систему от фитотоксичности кадмия в ходе их позитивной кросс-адаптации к совместному действию токсикантов. Такая стимуляция индивидуальным и комплексным воздействием хлоридного засоления и Cd ответных ростовых

и физиологических реакций растений тыквы является реализацией видоспецифичной адаптивной стратегии устойчивости и выживания растений *Cucurbita pepo* L. в этих стрессовых условиях среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Babayev M.P.** (2003) Azərbaycanca torpaq deqradasiyası. “İnsan və biosfer” (MAB). Azərbaycan Milli komitəsinin əsərləri. Bakı 2: 41-55.
- Волков К.С., Холодова В.П., Кузнецов В.В.** (2006) Адаптация растений к засолению снижает токсический эффект меди. Докл. Академии наук **411(3):** 416-419.
- Домаш В.И., Корзюк Щ.В., Шарпио Т.П., Зобрейко С.А., Сосновская Т.Ф.** (2007) Функциональные белки бобовых растений в условиях солевого стресса. Материалы 6 съезда физиологов растений России, Сыктывкар: 118-119.
- Домаш В.И., Корзюк Щ.В., Шарпио Т.П., Зобрейко С.А.** (2009) Биохимические аспекты устойчивости растений к стрессовым факторам. Материалы межд. науч. конф. «Физико-химические механизмы адаптации растений к антропогенному загрязнению в условиях крайнего севера», Апатиты, Мурманская обл.: 106-108.
- Духовский П., Юкнис Р., Бразайтите А., Жукаускайте И.** (2003) Реакция растений на комплексное воздействие природных и антропогенных стрессоров. Физиол. раст. **50(2):** 165-173.
- Кузнецов В.В.** (2001) Общие системы устойчивости и трансдукция стрессорного сигнала при адаптации растений к абиотическим факторам. Вестник ННГУ **16:** 65-69.
- Кузнецов В.В., Волков К.С., Дмитриева Г.А., Холодова В.П.** (2009) Растения в условиях совместного действия засоления и избыточных концентраций тяжелых металлов. Материалы межд. науч. конф. «Физикохимические механизмы адаптации растений к антропогенному загрязнению в условиях крайнего севера», Апатиты, Мурманская обл.: 186-187.
- Национальный план действий по охране окружающей среды** (1998) Гос. комитет по экологии и контролю за использованием природных ресурсов. Баку.
- Ширвани Т.С., Самедова А.Д., Джангирова Ш.Г., Салаева Х.Л., Пириев И.Т., Аннагиева М.А., Кулиева Б.А., Али-заде**

- В.М.** (2009) Морфологические и физиоло-го-биохимические ответные реакции растений тыквы на токсическое воздействие различных доз цинка в зависимости от кислотности среды. Труды Института ботаники НАНА. XXIX: 551-559.
- Ширвани Т.С., Самедова А.Д., Салаева Х.Л., Пириев И.Т., Аннагиева М.А., Али-заде В.М.** (2010) Воздействие различных доз кадмия на ростовые и физиолого-биохимические характеристики растений тыквы. Известия НАНА, сер. биол. наук: **65(3-4)**: 3-11.
- Ben-Gal A., Shani U.** (2002) Yield, transpiration and growth of tomatoes under combined excess boron and salinity stress. *Plant and soil* **247(2)**: 211-221.
- Hale H.B.** (1969) Cross-adaptation. *Environ. res.* **2**: 423-434.
- Helal M., Baibagyshev E., Saber S.** (1998) Uptake of Cd and Ni by spinach, *Spinacea oleracea* (L.) from polluted soil under field conditions as affected by salt water irrigation. *Agronomie* **18**: 443-448.
- Huang Y.-Z., Wei K., Yang J., Dai F., Zhang G.-P.** (2007) Interaction of salinity and cadmium stresses on mineral nutrients, sodium, and cadmium accumulation in four barley genotypes. *J. Zhejiang Univ. Sci. B.* **8(7)**: 476-485.
- Ma C.-L., Liu X.-H., Pan J.-S.** (2005) Influence of salinity stress on protein synthesis in *Citrus grandis* and *C.reticulata* plants. *Fujian Agr. Forest. Univ. Natur. Sci. Ed.* **34(4)**: 450-453.
- Muhling K.H., Lauchli A.** (2003) Interaction of NaCl and Cd stress on compartmentation pattern of cations, antioxidant enzymes and proteins in leaves of two wheat genotypes differing in salt tolerance. *Plant and soil* **253**: 219-231.
- Raziuddin, Farhatullah, Ghulam Hassan, Akmal M., Salim Shah S.** (2011) Effects of cadmium and salinity on growth and photosynthesis parameters of *Brassica* species. *Pak. J. Bot.* **43(1)**: 333-340.
- Shafi M., Zhang J., Bakht M.A.** (2010) Effect of cadmium and salinity stresses on root morphology of wheat. *Pak. J. Bot.* **42(4)**: 2747-2754.
- Smykalova I., Zamecnikova B.** (2003) The relationship between salinity and cadmium stress in barley. *Biol. Plant.* **46(2)**: 269-273.
- Toderich K.N., Tsukatani T., Black C.C.** (2002) Adaptations of plants to metal/salt contained environments: glandular structure and salt excretion. Discussion Paper No 552, Kyoto Institute of Economic Research, Kyoto University: 1-18.
- Toderich K.N., Shuyskaya E.V., Khujanazarov T.M., Ismail Sh., Kawabata Yoshiko** (2010) The structural and functional characteristics of Asiatic desert halophytes for phytostabilization of polluted site. (Ashraf M. et al., eds.), *Plant adaptation and phytoremediation*. Springer, Chapter 12: 245-274.

T.S. Şirvani, Ə.S. Səmədova, İ.T. Pirişev, M.Ə. Ənnağıyeva, X.L. Salayeva, F.K. Əliyeva, G.X. Babayeva, V.M. Əli-zadə

Kadmium və Şoranlaşmanın Ayrılıqda və Birgə Təsirinə Balqabaq Bitkilərinin Reaksiyası

Xloridli şoranlaşma şəraitində kadmiumun toksiki təsirinə uzunmüddətli kross-adaptasiyanın gedişatında balqabaq bitkisinin fizioloji-biokimyəvi stressor cavab reaksiyalarının spesifik xüsusiyyətləri tədqiq olunmuşdur. Bitkilər Knop qida məhlulunda Cd (2 ppm) və NaCl (100 mM) ayrılıqda və birgə əlavə olunaraq becərilmişlər. 7 və 14 günlük təcrübə bitkilərində öyrənilmiş böyümə və fizioloji-biokimyəvi proseslərə (kök və gövdənin böyüməsi, onlarda yaş və quru biokütlənin toplanması, azot-zülal mübadiləsi və proteoliz) Cd-un ingibirləşdirici təsirinin NaCl-a nisbətən daha yüksək həssaslıqda olduğu aşkar edilmişdir. 21 günlük bitkilərin, xüsusən də köklərində Cd+NaCl-un birgə təsirində Cd-un ayrılıqda götürülmüş variantına nisbətən böyümə və biosintetik proseslərdə müəyyən fəallaşma müşahidə olunmuşdur ki, bu da bitkilərin xloridli şoranlaşmaya adaptasiyasının Cd-un bitkinin böyümə və metabolizminə toksiki təsirinin nisbətən azalması ilə müşayiət olunmuşdur.

**T.S. Shirvani, A.J. Samedova, I.T. Piriyeu, M.A. Annagiyeva, Kh.L. Salayeva, F.K. Aliyeva,
G.Kh. Babayeva, V.M. Ali-zade**

Reaction of Pumpkin Plants on Separate and Combined Effects of Cadmium and Salinity

A specific character of physiological-biochemical stress responses of pumpkin plants to toxic effect of cadmium under conditions of salinity in the course of their long-term cross-adaptation was investigated. Cd (2 ppm) and NaCl (100 mM) were added either alone or in combination in Knop solution along with non-treated controls. In 7- and 14-day plants, all the physiological processes studied (shoot and root growth, bioaccumulation of fresh and dry biomass by them, nitrogen-protein metabolism and proteolysis in different plant organs) were found to be more sensitive to inhibitory action of Cd excess than to NaCl effect. However, in 21-day plants, especially in their roots, some activation of growth and biosynthetic processes was observed in the presence of combined Cd and NaCl treatments than at their lone application. All this indicates that an adaptation of plants to salinity is accompanied by some reduction in toxic effect of Cd on plants growth and metabolism.