

УДК 581.1

ДЕЙСТВИЕ ИОНОВ КАДМИЯ НА КУЛЬТУРУ *IN VITRO* ЧАЙНОГО РАСТЕНИЯ (*CAMELLIA SINENSIS* L.)

© 2015 г. Н. В. Загоскина¹, М. Ю. Зубова¹,
Т. Л. Нечаева¹, Е. А. Живухина²

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева

Российской академии наук

(Москва, Россия)

²Московский государственный педагогический университет

(Москва, Россия)

Изучали влияние кадмия ($Cd(NO_3)_2$, концентрация 25 мг/л) на морфофизиологические и биохимические характеристики гетеротрофной каллусной культуры чайного растения (*Camellia sinensis* L.). Установили, что в присутствии металла прирост каллусной массы снижался по сравнению с контролем и изменялись ее морфофизиологические характеристики. Стрессовые условия способствовали накоплению первичных продуктов пероксидного окисления липидов (диеновых конъюгатов) на фоне снижения содержания вторичных продуктов (малонового диальдегида). В присутствии кадмия в каллусных культурах повышалось содержание низкомолекулярных антиоксидантов фенольной природы, включая характерные для чая флавоны.

Ключевые слова: *Camellia sinensis*, культуры *in vitro*, кадмий, пероксидное окисление липидов, фенольные соединения, флавоны

Одной из важнейших проблем современности является загрязнение биосферы различными экотоксикантами, в том числе тяжелыми металлами. Их содержание в воде и почвах возрастает вследствие различных техногенных воздействий (Алексеев, 1987; Tyler et al., 1989). Эти соединения оказывают токсическое действие на все живые объекты, в том числе и человека, поскольку способны включаться в пищевые цепи, на которых основан круговорот химических элементов в природе.

К числу наиболее токсичных представителей тяжелых металлов относится кадмий (Wahid et al., 2009). Он принадлежит к первому классу опасности, согласно классификации токсикантов, поступающих в почву в результате антропогенной деятельности человека (Богдановский, 1994). Поступление кадмия в расте-

ния происходит преимущественно через корни и в значительно меньшей степени – через листья (Серегин, Иванов, 2001; Clemens, 2006). Видимыми симптомами его повышенного содержания являются хлороз листьев, красно-бурая окраска их краев и прожилок, задержка роста растений и повреждение корневой системы (Серегин, Иванов, 2001; Zhao et al., 2006; Казнина, Титов, 2013).

Фитотоксичность кадмия проявляется и на метаболическом уровне: происходят изменения в транспирации и фиксации углекислого газа, фотосинтезе, проницаемости клеточных мембран, активности ряда ферментов (Серегин, Иванов, 2001; Sigfridsson et al., 2004; Souza et al., 2011). Кроме того, его поступление индуцирует пероксидное окисление липидов в клетках растений (Iannone et al., 2010), активирует протеолиз (Pena et al., 2007), нарушает обмен азота и серы (Gill, Tuteja, 2010). Сообщалось также о замене металлов, входящих в металлобелковые комплексы растительных клеток, на кадмий

ДЕЙСТВИЕ ИОНОВ КАДМИЯ

(Greger et.al., 2004; Титов и др., 2013). При его действии отмечалось также возникновение мутаций, изменение морфологии ядра, структуры клеток и тканей растений (Kuthanova, 2004).

Поскольку кадмий, также как и другие тяжелые металлы, выступает в роли индуктора окислительного стресса в растительных клетках, то в этом случае важная роль принадлежит антиоксидантной системе защиты, включающей как высокомолекулярные, так и низкомолекулярные соединения (Прадедова и др., 2011). К числу низкомолекулярных антиоксидантов относятся фенольные соединения – одни из наиболее распространенных представителей вторичных метаболитов растительного происхождения (Запрометов, 1993). Их антиоксидантные свойства связаны с наличием в структуре фенольных гидроксильных групп, которые легко отдают свой атом водорода при взаимодействии со свободными радикалами, что способствует ингибированию процессов радикально-цепного окисления в организме, защищая таким образом биомолекулы (липидные мембраны, белки, ДНК) от окисления, что особенно важно в условиях стрессовых воздействий (Edreva et al., 2008; Тараховский и др., 2013). Согласно литературным данным, именно баланс между генерацией и удалением активных форм кислорода позволяет избежать развития окислительного стресса в клетках растений (Колупаев, 2007).

Удобным подходом для изучения клеточного метаболизма и его регуляции являются культуры *in vitro* (Бутенко, 1999). В большинстве случаев они сохраняют способность к синтезу характерных для интактных тканей вторичных метаболитов, в том числе и фенольной природы (Kagurpusamy, 2009; Nosov, 2012). Это позволяет успешно использовать их для изучения фенольного метаболизма и его роли в жизни растений, в том числе и при адаптации к стрессовым условиям (Дубравина и др., 2005; Coste et al., 2011). Одним из удобных объектов для таких исследований являются каллусные культуры, полученные из молодых побегов чайного растения, обладающего специализированным обменом, направленным на биосинтез различных соединений фенольной природы (Запрометов, 1963). Ранее было показано, что в условиях *in vitro* эти культуры сохраняли способность к биосинтезу фенольных соединений, в том числе и характерных для чая флаванов – веществ, обладающих Р-витаминной капилляроукрепляющей активностью (Загоскина и др., 1997).

Целью настоящей работы явилось изучение изменений в морфофизиологических харак-

теристиках, уровне пероксидного окисления липидов и накоплении фенольных соединений на различных стадиях роста каллусной культуры чайного растения, вызванных присутствием кадмия в питательной среде. Такой подход позволит выяснить реакцию клеток высших растений с высокой способностью к накоплению полифенолов, которым отводится важная роль в системе антиоксидантной защиты, на действие одного из представителей экотоксикантов – кадмия.

МЕТОДИКА

Объектом исследования были каллусные культуры, инициированные из молодого стебля чайного растения (*Camellia sinensis* L., грузинская разновидность). Каллусы выращивали в условиях факторостата (+26°C, относительная влажность воздуха 70%, темнота) на модифицированной питательной среде Хеллера, содержащей 2,4-Д (5 мг/л) и глюкозу (25 г/л) (Корецкая, Запрометов, 1975). В опытных вариантах к основной питательной среде добавляли кадмий, используя для этого $Cd(NO_3)_2$ в концентрации 25 мг/л. Длительность пассажа составляла 45 дней.

Оводненность каллусов определяли стандартным методом, высушивая их при + 70°C до постоянной массы (Носов, 2011).

Об интенсивности процессов пероксидного окисления липидов судили по накоплению продуктов окисления: диеновых конъюгатов и малонового диальдегида. Содержание диеновых конъюгатов определяли путём измерения оптической плотности липидных экстрактов в смеси метанол-гексан (5:1) при 232 нм (Кейтс, 1975). Содержание малонового диальдегида определяли по реакции с тиобарбитуровой кислотой с последующим измерением оптической плотности раствора при 532 нм (Жиров и др., 1982).

Фенольные соединения извлекали из растительного материала 96%-ным этанолом. В экстрактах спектрофотометрическим методом определяли содержание суммы растворимых фенольных соединений (с реактивом Фолина-Дениса, при 725 нм) и содержание флаванов (с ванилиновым реактивом, при 500 нм) (Запрометов, 1971). Калибровочные кривые в обоих случаях строили по (-)-эпикатехину.

Все определения проводили в трех биологических и 2-3 аналитических повторностях. На рисунках и диаграммах представлены средние арифметические значения определений и их квадратичные отклонения.

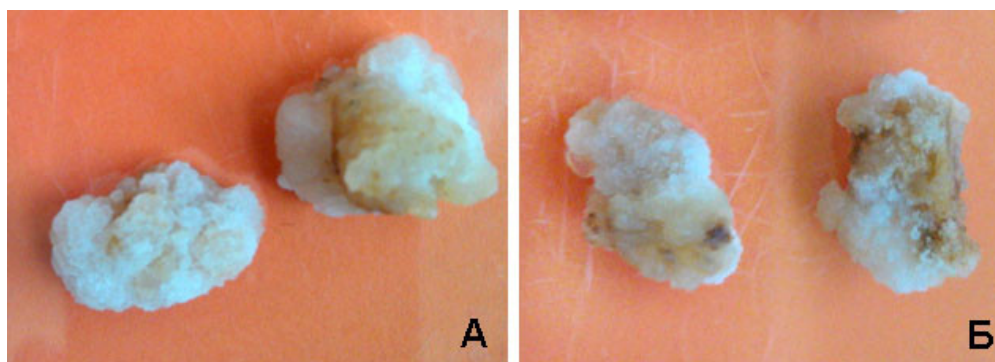


Рис. 1. Внешний вид каллусных культур чайного растения, выращиваемых на основной питательной среде (контроль, А) или на среде с $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ (Б). Возраст культур 21 день.

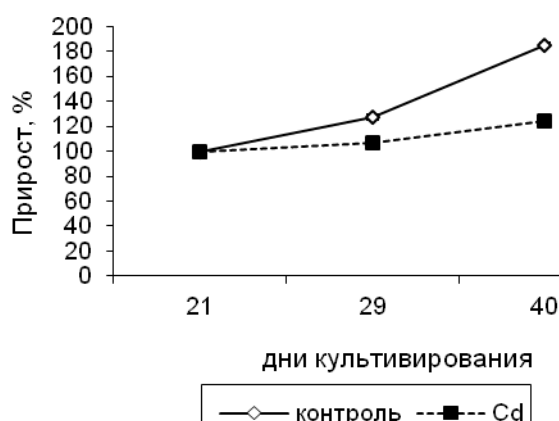


Рис. 2. Прирост каллусной массы гетеротрофной культуры чайного растения, выращиваемой на основной среде (контроль) или на среде с $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Морфофизиологические характеристики каллусных культур

Гетеротрофная каллусная культура чайного растения, выращиваемая на основной питательной среде, представляла собой медленно растущий плотный каллус светло-желтого цвета (рис. 1, А). На среде с кадмием культуры имели более темный цвет (рис. 1, Б). На их поверхности отмечалось формирование участков темно-коричневого цвета, содержащих, предположительно, некротизированные клетки. О том, что присутствие кадмия в питательной среде влияет на морфофизиологические характеристики культивируемых в условиях *in vitro* клеток и тканей высших растений сообщалось и другими авторами (Гончарук и др., 2001; Гладков, 2006).

Важным моментом при оценке клеточных культур является изучение характера их роста и оводненности клеток (Носов, 2011). В случае культуры чая, выращиваемой на основной питательной среде, прирост каллусной массы в течение всего пассажа был равномер-

ным и к концу увеличился в 2 раза по сравнению с начальным этапом роста (рис. 2). Что касается опытного варианта, то в этом случае увеличение было очень незначительным, что свидетельствует о токсическом действии кадмия на каллусы чая.

Содержание воды в культурах чайного растения составляло 92-94% (таблица). Более высокие и практически одинаковые его значения характерны для контрольного варианта. В условиях действия кадмия оводненность каллусов была меньше. По мере их роста она немного увеличивалась к концу пассажа, но была ниже, чем в контрольном варианте. Поскольку содержание воды в клетках растений свидетельствует о степени их растяжения и вакуолизации, то можно предположить, что присутствие кадмия в среде культивирования подавляло эти процессы в каллусах чая.

Все вышеизложенное позволяет заключить, что присутствие кадмия в питательной среде влияло на морфофизиологические характеристики каллусной культуры чайного растения. Это проявлялось в изменении их морфологии, снижении оводненности клеток, формиро-

ДЕЙСТВИЕ ИОНОВ КАДМИЯ

Содержание воды в каллусных культурах чайного растения по мере их роста на основной питательной среде или на среде с кадмием

Вариант	Оводненность, %		
	21 день	29 день	40 день
Контроль	94,34±1,15	94,66±1,06	94,34±0,13
Cd(NO ₃) ₂	92,48±1,28	93,35±0,15	93,34±0,42

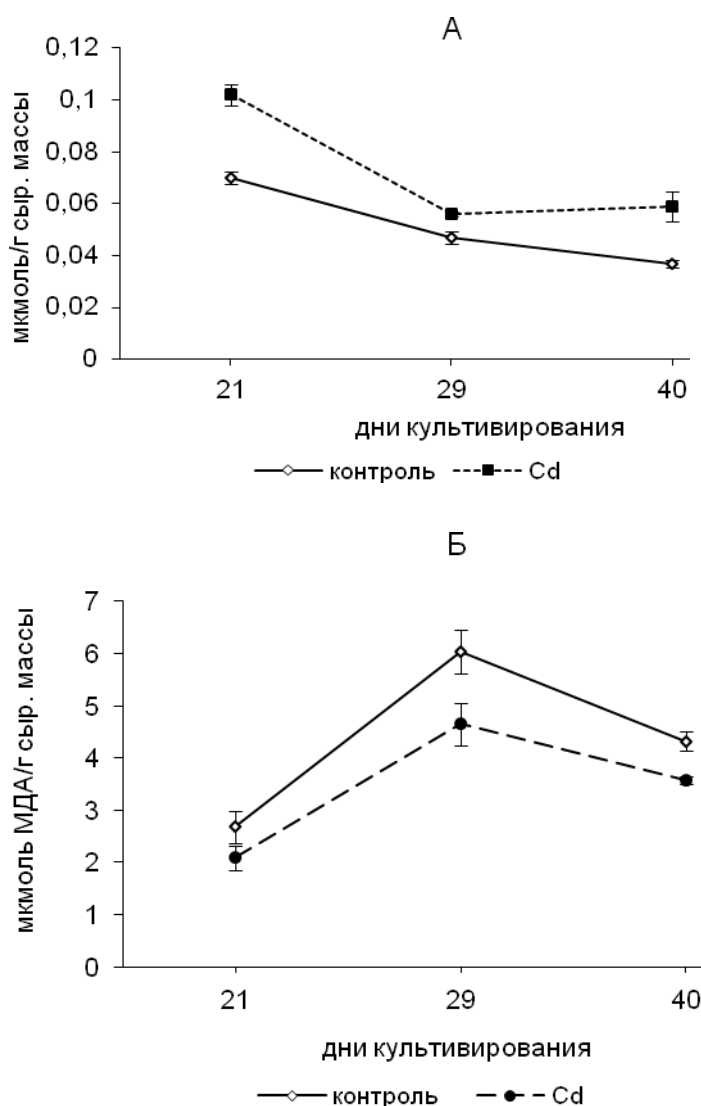


Рис. 3. Содержание диеновых конъюгатов (А) и малонового диальдегида (МДА – Б) в каллусных культурах чайного растения разного возраста.

вании некротических участков и снижении прироста. Следовательно, четко прослеживалось токсическое действие ионов кадмия на культивируемые в условиях *in vitro* клетки чайного растения.

Содержание диеновых конъюгатов и малонового диальдегида

Одной из наиболее распространенных неспецифических реакций растительных клеток

на действие стрессового фактора является индукция процессов пероксидного окисления липидов, обусловленная действием активных форм кислорода (Кордюм и др., 2003; Полеская, 2007). На начальных этапах окислительного стресса образуются первичные продукты пероксидного окисления липидов – диеновые конъюгаты, а на более поздних – малоновый диальдегид (Кейтс, 1975). Однако эти соедине-

ния накапливаются и в обычных (нормальных) условиях, поскольку активные формы кислорода необходимы для поддержания жизнедеятельности клеток.

В первую очередь мы изучали характер накопления диеновых конъюгатов в каллусных культурах чая (рис. 3, А). В обоих вариантах оно было самым высоким в начале пассажа и снижалось к его концу. Для каллусов, культивируемых на основной питательной среде, отмечено постепенное уменьшение их количества. В случае каллусов, культивируемых на среде с кадмием, для которых характерно более высокое содержание диеновых конъюгатов по сравнению с контролем в течение всего пассажа, отмечалось снижение их уровня с 21-го по 29-й день роста с последующей стабилизацией.

Таким образом, выращивание каллусных культур чайного растения в стрессовых условиях (среда с кадмием) сопровождалось повышением в них содержания диеновых конъюгатов, что в большей степени проявлялось на начальных этапах роста культуры, то есть на ранних этапах действия экотоксиканта. Эти результаты согласуются с литературными данными о зависимости ответа клеток высших растений от дозы действующего фактора (Amthar et al., 2008).

Другим важным показателем состояния клеток является содержание малонового диальдегида, характеризующее уровень пероксидного окисления липидов (Полесская, 2007). Как следует из полученных данных, его количество в культурах чая значительно повышалось к середине пассажа, что в большей степени было характерно для контрольного варианта (рис. 3, Б). К концу культивирования этот показатель снижался, но в обоих случаях оставался на более высоком уровне, чем в начале. Следует также подчеркнуть, что в стрессовых условиях содержание малонового диальдегида было ниже, чем в контрольном варианте.

Итак, присутствие экотоксиканта в питательной среде вызывало накопление лишь первичных продуктов пероксидного окисления липидов (диеновых конъюгатов) в каллусных тканях чайного растения на фоне снижения количества вторичных продуктов (малонового диальдегида). Это свидетельствует об «остановке» свободнорадикального процесса на уровне образования диеновых конъюгатов. Такой эффект на основании имеющихся данных объяснить сложно. Одной из его причин может быть увеличение под влиянием кадмия в каллусах чая содержания фенольных соединений, которым, как известно, отводится важная роль в

защите клеток от окислительного стресса (Тараховский и др., 2013).

Содержание фенольных соединений

Как уже отмечалось, культивируемые *in vitro* клетки чайного растения, сохраняли способность к биосинтезу фенольных соединений, в том числе и характерных для чая флаванов (Загоскина и др., 1997). В культуре, растущей на основной питательной среде, наибольшее суммарное содержание фенольных соединений отмечено на 21-й день роста, а затем оно постепенно снижалось (рис. 4, А). В конце пассажа оно было почти в 3 раза меньше, чем на начальных этапах роста.

Иная картина наблюдалась в варианте с кадмием. Наименьшее суммарное содержание фенольных соединений было в начале цикла культивирования (21 день), затем оно значительно повышалось (на 29 день – почти на 57%), а к концу пассажа – немного снижалось (на 10%). В целом же накопление этих низкомолекулярных антиоксидантов фенольной природы к концу опыта в 2,7 раза превышало этот показатель в контроле. Следовательно, при воздействии экотоксиканта на культивируемые в условиях *in vitro* клетки чайного растения происходила постепенная активация биосинтеза полифенолов, что четко проявлялось на завершающих этапах их роста. О том, что реакция высших растений на действие тяжелых металлов зависит от дозы действующего фактора сообщалось в литературе (Wahid et al., 2009).

Аналогичная тенденция характерна и для накопления флаванов – соединений, являющихся основными компонентами фенольного комплекса как чайного растения, так и инициированных из него каллусных культур (Запрометов, 1964; Запрометов, Загоскина, 1987). В каллусных культурах, выращиваемых на основной питательной среде, их содержание было самым высоким на начальных этапах роста, а затем постепенно снижалось к концу пассажа (рис. 4, Б). В случае же культур, выращиваемых на среде с кадмием, в начале пассажа содержание флаванов было низким и практически равным таковому контрольного варианта. В дальнейшем оно повышалось (к 29 дню роста – на 40%), а в конце пассажа – незначительно снижалось. Все эти изменения отражались и на доле флаванов в суммарном содержании полифенолов: в контрольном варианте она составляла 61% у 21-дневной культуры и 52-53% – у 29- и 40-дневной культур, тогда как в опытном варианте – 68%, 62% и 61%, соответственно. Все это свидетельствует о том, что в каллусных

ДЕЙСТВИЕ ИОНОВ КАДМИЯ

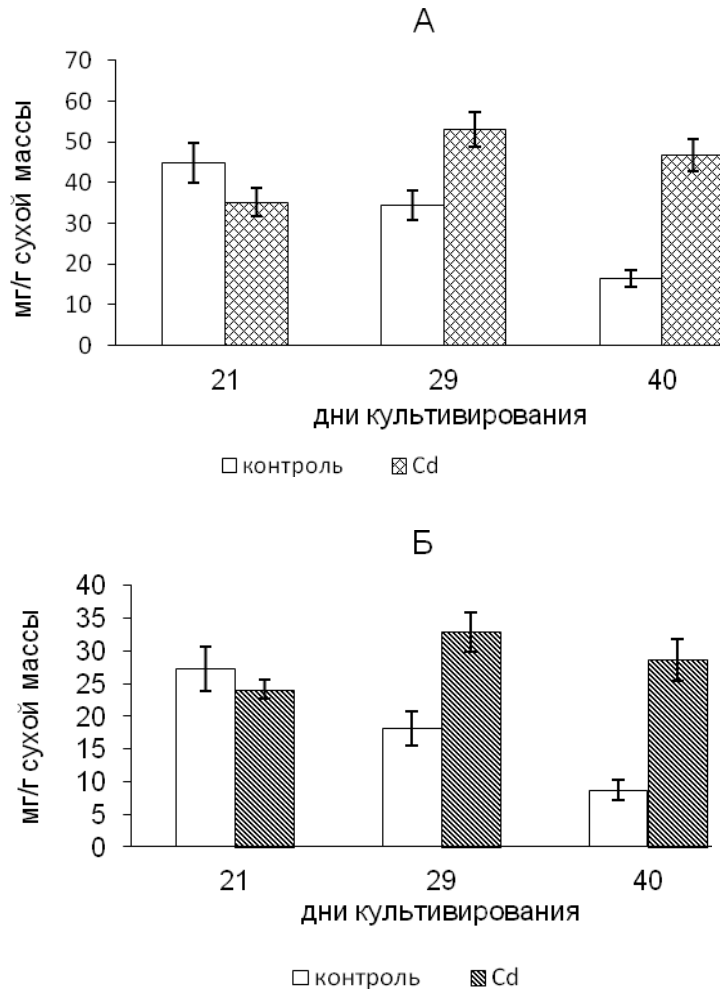


Рис. 4. Суммарное содержание фенольных соединений (А) и флаванов (Б) в гетеротрофной каллусных культурах чайного растения разного возраста.

культурах чая в присутствии кадмия произошла активация как шикиматного, так и ацетатного путей биосинтеза полифенолов, что важно для образования флаванов (Запрометов, 1993).

Все вышеизложенное позволяет заключить, что в стрессовых условиях повышается накопление основных компонентов фенольного комплекса каллусных культур чая – флаванов, что свидетельствует об их важной роли в системе защиты клеток от действия кадмия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 14-04-01742).

ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 141 с.
- Богдановский Г.А. Химическая экология. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1994. – 237 с.
- Бутенко Р.Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнологии на их основе. – М.: ФБК–ПРЕСС, 1999. – 185с.
- Гладков Е.А. Оценка токсичности тяжелых металлов для каллусных клеток и целых растений // Биотехнология. – 2006. – № 3. – С. 79-82.
- Гончарук Е.А., Алявина А.К., Дубравина Г.А., Загоскина Н.В. Выяснение изменений в морфофизиологических и биохимических характеристиках растительных клеток в условиях *in vitro*, вызванных действием кадмия // Сельскохозяйственная биотехнология. – М.: Воскресенье, 2001. – Т. 1. – С. 40-47.
- Дубравина Г.А., Зайцева С.М., Загоскина Н.В. Изменения в образовании и локализации фенольных соединений при дедифференциации тканей тиса ягодного и тиса канадского в условиях *in vitro* // Физиология растений. – 2005. – Т. 52. – С.755-762.
- Жиров В.К., Мерзляк М.Н., Кузнецов Л.В. Перекисное окисление мембранных липидов холодостойких растений при повреждении отрицательными температурами // Физиология растений. – 1982. – Т. 29. – С. 1045-1052.
- Загоскина Н.В., Федосеева В.Г., Запрометов М.Н. Образование фенольных соединений у каллусных культур чайного растения с различным

- уровнем плоидности // Физиология растений. – 1997. – Т. 44. – С. 931-934.
- Запрометов М.Н.* Биохимия катехинов. – М.: Наука, 1964. – 295с.
- Запрометов М.Н.* Фенольные соединения и методы их исследования // Биохимические методы в физиологии растений. – М.: Наука, 1971. – С. 185-197.
- Запрометов М.Н.* Фенольные соединения: Распространение, метаболизм и функции в растениях. – М.: Наука, 1993. – 272 с.
- Казнина Н.М., Титов А.Ф.* Влияние кадмия на физиологические процессы и продуктивность растений семейства *Poaceae* // Успехи соврем. биологии. – 2013. – Т. 133. – № 6. – С. 588-603.
- Кейтс М.* Техника липидологии. – М.: Мир, 1975. – 324 с.
- Колупаев Ю.Е.* Активные формы кислорода в растениях при действии стрессоров: образование и возможные функции // Вісн. Харків. націон. аграрн. ун-ту. Сер. Біологія. – 2007. – Вип. 3 (12). – С. 6-26.
- Кордюм Е.Л., Сытник К.М., Бараненко В.В., Белявская Н.А., Климчук Д.А.* Клеточные механизмы адаптации растений к неблагоприятным воздействиям экологических факторов в естественных условиях. – Киев: Наук. думка, 2003. – 275 с.
- Корецкая Т.Ф., Запрометов М.Н.* Культура ткани чайного растения (*Camellia sinensis*) как модель для изучения условий образования фенольных соединений // Физиология растений. – 1975. – Т. 22. – С. 282-285.
- Носов А.М.* Методы оценки и характеристики роста культур клеток высших растений // Молекулярно-генетические и биохимические методы в современной биологии растений. – М.: Биокон, 2011. – С. 386-402.
- Полесская О.Г.* Растительная клетка и активные формы кислорода. – М.: Университет, 2007. – 140 с.
- Прадедова Е.В., Ишеева О.Д., Саляев Р.К.* Классификация системы антиоксидантной защиты как основа рациональной организации экспериментального исследования окислительного стресса у растений // Физиология растений. – 2011. – Т. 58. – С. 177-185.
- Серегин И.В., Иванов В.Б.* Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения // Физиология растений. – 2001. – Т. 48. – С.606-630.
- Тараховский Ю.С., Ким Ю.А., Абдрасилов Б.С., Музафаров Е.Н.* Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина. – Пушкино: Synchronbook, 2013. – 310 с.
- Ammar W.B., Nouairi I., Zarrouk M., Ghorbel M.H., Jemal F.* Antioxidative response to cadmium in roots and leaves of tomato plants // Biol. Plant. – 2008. – V. 52. – P. 727-731.
- Clemens S.* Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants // Biochimie. – 2006. – V. 88. – P. 1707-1719.
- Coste A., Vlase L., Halmagyi A., Deliu C., Coldea G.* Effects of plant growth regulators and elicitors on production of secondary metabolites in shoot cultures of *Hypericum hirsutum* and *Hypericum maculatum* // Plant Cell Tiss. Organ Cult. – 2011. – V. 106. – P. 279-288.
- Edreva A., Velikova V., Tsonev T., Dagnon S., Gurel A., Aktas L., Gesheva E.* Stress-protective role of secondary metabolites: diversity of functions and mechanisms // Gen. Appl. Plant Physiol. – 2008. – V. 34. – P. 67-78.
- Gill S.S., Tuteja N.* Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants // Plant Physiol. Biochem. – 2010. – V.48. – P. 909-930.
- Greger M.* Metal availability, uptake, transport and accumulation in plants // Heavy Metal Stress in Plants – From Biomolecules to Ecosystems / Ed. Prasad M.N.V. – Berlin; Heidelberg: Spinger Verlag, 2004. – P. 1-27.
- Iannone M.F., Rosales E.P., Groppa M.D., Benavides M.P.* Reactive oxygen species formation and cell death in catalase-deficient tobacco leaf disks exposed to cadmium // Protoplasma. – 2010. – V. 245. – P. 15-27.
- Karuppusamy S.* A review on trends in production of secondary metabolites from higher plants by *in vitro* tissue, organ and cell cultures // J. Medicinal Plants Research. – 2009. – V. 3. – P. 1222-1239.
- Kuthanova A., Gernerlova L., Zelenkova S., Eder J., Machackova I., Oparty Z., Cvikrova M.* Cytological changes and alterations in polyamine contents induced by cadmium in Tobacco BY-2 cells // Plant. Physiol. Biochem. – 2004. – V. 42. – P. 149-156.
- Nosov A. M.* Application of cell technologies for production of plant derived bioactive substances of plant origin // Appl. Biochem. Microbiol. – 2012. – V. 48. – P. 609-624.
- Pena L.B., Pasquini L.A., Tomaro M.L., Gallego S.M.* 20S proteasome and accumulation of oxidized and ubiquitinated proteins in maize leaves subjected to cadmium stress // Phytochemistry. – 2007. – V. 68. – P. 1139-1146.
- Sigfridsson K.G.V., Bernát G., Mamedov F., Styring S.* Molecular interference of Cd²⁺ with photosystem II // BBA Bioenergetics. – 2004. – V. 1659.– P. 19-31.
- Souza V.L., de Almeida A.A.F., Lima S.G., Cascardo J.C.D.M., Silva D.D.C., Mangabeira P.A., Gomes F.P.* Morphophysiological responses and programmed cell death induced by cadmium in *Genipa americana* L. (Rubiaceae) // Biometals. – 2011. – V. 24. – P. 59-71.

ДЕЙСТВИЕ ИОНОВ КАДМИЯ

Tyler G., Balsberg P. A.M., Bengtsson G., Baath E., Tranvik L. Heavy-metal ecology of terrestrial plants, microorganisms and invertebrates // Water, Air, Soil Pollut. – 1989. – V. 47 (3-4). – P. 189-215.

Wahid A., Arshad M., Farooq M. Cadmium phytotoxicity: responses, mechanisms and mitigation strategies // Organic farming, pest control and remediation of

soil pollutant. Sustainable agriculture reviews – Springer Science + Business Media, 2009. – P. 371-403.

Zhao F.J., Jiang R.F., Dunham S.J., McGrath S.P. Cadmium uptake, translocation and tolerance in the hyperaccumulator *Arabidopsis halleri* // New Phytol. – 2006. – V. 172. – P. 646-654.

Поступила в редакцию
09.10.2015 г.

ACTION OF CADMIUM IONS ON CULTURE *IN VITRO* OF TEA (*CAMELLIA SINENSIS* L.) PLANT

N. V. Zagorskina¹, M. Y. Zubova¹, T. L. Nechaeva¹, E. A. Zhivuchina²

¹*K.A. Timiriazev Institute of Plant Physiology
of Russian Academy of Sciences
(Moscow, Russia)
e-mail: biophenol@gmail.com*

²*Moscow State Pedagogical University
(Moscow, Russia)*

The effect of cadmium ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, concentration of 25 mg/l) on morpho-physiological and biochemical characteristics of heterotrophic callus culture of the tea plant (*Camellia sinensis* L.) was studied. There was established that metal was reduced growth in callus weight compared with the control and influenced on its morphological and physiological characteristics. Stress conditions contributed to the accumulation of primary products of lipid peroxidation (diene conjugates) against the background of reduction of secondary products (malondialdehyde). Accumulation of low molecular weight antioxidants like polyphenols, including flavans (typical for tea) in callus cultures increased in the presence of cadmium.

Key words: *Camellia sinensis* L., culture in vitro, cadmium, lipid peroxidation, phenolic compounds, flavans

ДІЯ ІОНІВ КАДМІЮ НА КУЛЬТУРУ *IN VITRO* ЧАЙНОЇ РОСЛИНИ (*CAMELLIA SINENSIS* L.)

Н. В. Загоскіна¹, М. Ю. Зубова¹, Т. Л. Нечаєва¹, Є. А. Живухіна²

¹*Федеральна державна бюджетна установа науки
Інститут фізіології рослин ім. К.А. Тімірязєва Російської академії наук
(Москва, Росія)
e-mail: biophenol@gmail.com*

²*Московський державний педагогічний університет
(Москва, Росія)*

Вивчали вплив кадмію ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, концентрація 25 мг/л) на морфологічні та біохімічні характеристики гетеротрофної калусної культури чайної рослини (*Camellia sinensis* L.). Встановили, що в присутності металу приріст калусної маси знижувався порівняно з контролем і змінювалися її морфологічні характеристики. Стресові умови сприяли накопиченню пе-

ЗАГОСКИНА и др.

рвинних продуктів пероксидного окиснення ліпідів (дієнових кон'югатів) на тлі зниження вмісту вторинних продуктів (малонового діальдегіду). У присутності кадмію підвищувався вміст в калусних культурах низькомолекулярних антиоксидантів фенольної природи, зокрема, характерних для чаю флаванів.

Ключові слова: *Camellia sinensis*, культури *in vitro*, кадмій, пероксидне окиснення ліпідів, фенольні сполуки, флавани