

УДК 574.24

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФАСОЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ
ПРИ КРАТКОСРОЧНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ КАДМИЯ,
ЦИНКА И МЕДИ**

© 2009 Ю.В. Макарова¹

В условиях разных сред произрастания (вода, песок, почва) изучен характер изменений морфологии *Phaseolus vulgaris* L. в ответ на действие Cd, Zn и Cu.

Ключевые слова: *Phaseolus vulgaris* L., морфометрические параметры, концентрационный эффект, среда произрастания.

Введение

Одной из многочисленных задач в системе экологического мониторинга является отслеживание динамики содержания подвижных форм металлов в абиотических средах. Поставленная задача решается с привлечением двух взаимодополняющих друг друга подходов: химического, включающего в себя высокоточные методы аппаратного исследования, и биологического, основанного на оценке характера и интенсивности ответного отклика живого организма на действие анализируемого компонента среды. Именно реализация биологического подхода посредством изучения эволюционно сформированной специфики реакции и пределов адаптации конкретных видов к действию металлоионов позволит достигнуть конечной цели экологического мониторинга – произвести расчет допустимых нагрузок на экосистемы. В этом плане особую актуальность приобретает диагностика содержания металлов в абиотических средах через анализ изменчивости морфометрических параметров растения, совокупность которых доступна для наблюдения в первую очередь.

¹Макарова Юлия Владимировна (aconithum@mail.ru), кафедра экологии, ботаники и охраны природы Самарского государственного университета, 443011, Россия, г. Самара, ул. Акад. Павлова, 1.

Условия и методы исследования

Модифицирующее влияние Cd, Zn и Cu на морфологию фасоли обыкновенной было изучено нами в лабораторном эксперименте на сорте "Щедрая". Вегетационные эксперименты проводили на воде, песке и почве [1], моделируя не только изучаемое традиционным способом (на почве) развитие растений в относительно благоприятных условиях, при которых вероятное негативное влияние повышенных концентраций элементов может быть нивелировано высокой буферностью субстрата, но и в условиях постоянного загрязнения элементами (на воде), а также аварийного их выброса в окружающую среду (на песке). Почву для исследований (чернозем обыкновенный) отбирали с относительно чистого участка Самарской области (Волжский административный район, окрестности пос. Новоберезовский), а обычный речной песок предварительно промывали и прокаливали в муфельной печи.

Растворы солей готовили в пересчете на содержание металла в одном литре. При этом были взяты следующие экспериментальные концентрации: $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ — 50,00 мг/л, 5,00 мг/л, 0,50 мг/л и 0,05 мг/л; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — 1000,0 мг/л, 100,0 мг/л, 10,0 мг/л и 1,0 мг/л; $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ — 500,0 мг/л, 50,0 мг/л, 5,0 мг/л и 0,5 мг/л. В подборе концентраций руководствовались литературными данными [2], согласно которым предельно допустимая концентрация для Cd составляет 50 мг/л, Zn — 1000 мг/л, Cu — 500 мг/л. В контрольном варианте использовали дистиллированную воду. В опытах на песке и почве растения фасоли обрабатывали растворами металлов ежедневно — в момент посадки семян. В остальное время по мере подсыхания субстрат увлажняли дистиллированной водой. Уточним, что внесение в песок и почву металлов в форме легкорастворимых сульфатов позволяет оценить максимально оказываемый ими эффект на растения, а также добиться равномерного распределения элементов в субстрате.

Продолжительность каждого из вегетационных экспериментов, в ходе которых тест-культура развивалась при температуре 22–24 °С и естественном световом режиме, составляла две недели. По истечению указанного срока с целью оценки характера и степени влияния на фасоль обыкновенную Cd, Zn и Cu были произведены замеры длин главного и боковых корней, диаметров главного и боковых корней в области апекса, длины побега, сырого и воздушно-сухого веса корневой системы и побега. Повреждения растений (изменение цвета, структуры побега и корневой системы, ингибирование образования корневых клубеньков, хлорозы, некрозы) оценивали визуально.

Результаты исследования и их обсуждение

Влияние металлов на фасоль обыкновенную проявлялось двояко: на фоне токсичности для растения абсолютного большинства эксперимен-

тальных концентраций Cd (0,05-50,00 мг/л металла во всех средах), Cu (5,0-500,0 мг/л в воде, 0,5-500,0 мг/л в песке и почве) и Zn (10,0-1000,0 мг/л в воде, 100,0-1000,0 мг/л в песке и почве), ряд невысоких концентраций анализируемых химических элементов (0,5 мг/л Cu и 1,0 мг/л Zn в воде, 1,0 и 10,0 мг/л Zn в песке и почве), тем не менее, стимулировал его рост и развитие.

Одним из негативных проявлений влияния Cd, Zn и Cu на морфогенез фасоли являлось угнетение роста в длину главного корня (рис. 1). Вполне возможно, что ингибирование роста и развития этого органа могло быть следствием изменений, происходящих на клеточном уровне в меристематической зоне, так как клетки последней весьма чувствительны к действию разнообразных химических агентов, к числу которых относятся и ионы металлов. Многочисленные научные исследования убедительно свидетельствуют, что в присутствии Cd, Zn и Cu уменьшается пролиферативная активность клеток зоны роста [3-5], изменяются временное соотношение между фазами митоза и длительность собственно митотического цикла [5], индуцируются все типы хромосомных aberrаций [5-10], а сама способность ионов перечисленных металлов вмешиваться в процессы клеточного деления во многом объясняется их свойством связываться с белками и нуклеиновыми кислотами [11].

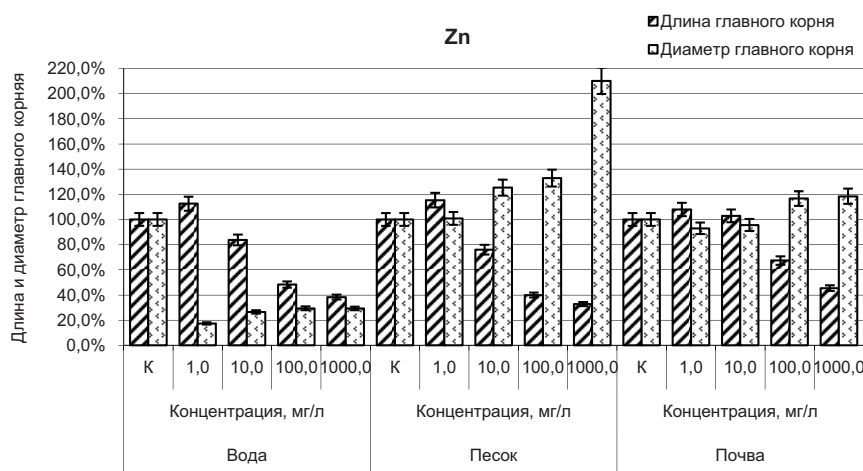


Рис. 1. Влияние различных концентраций Zn на длину и диаметр главного корня фасоли в области апикальной меристемы в условиях разных сред произрастания

Вероятной причиной уменьшения длины главного корня фасоли по отношению к контрольному варианту можно считать и негативное воздействие тяжелых металлов на рост клеток растяжением. В частности, в работах Н.В. Обручевой [12] и Н.М. Казниной [13] с соавторами, проведенных с целью оценки токсического влияния солей Cd и Pb на растения кукурузы и ячменя, было показано, что их рост ингибируется не только за счет

замедления процесса деления клеток, но и вследствие уменьшения длины заканчивающих рост клеток. Сходные результаты были получены нами ранее [14] на придаточных корнях кукурузы, выращиваемой на песке и почве с добавлением Cd. Анализ постоянных препаратов продольных срезов корней этого растения убедительно указывал на то, что данный металл во всех экспериментальных концентрациях (0,05–50,00 мг/л) способен вызывать уменьшение размеров (большого и малого диаметров) как самих меристематических клеток, так и их ядер, а также сокращать протяженность меристематической зоны и толщину ризодермы в области перехода от зоны деления в зону роста. Цитотоксический эффект достоверно последовательно нарастал от наименьшей концентрации Cd к наибольшей. В свою очередь ингибирование роста клеток корня растяжением могло быть вызвано уменьшением пластичности клеточных оболочек вследствие отложения в них ионов металлов и связывания последних с углеводными компонентами оболочек. Активное накопление Cd, Cu и Zn в клеточных оболочках продемонстрировано в ходе гистохимического дитизионового анализа в работах [14–18].

Ионы Cd, Cu и Zn угнетали развитие не только главного корня, но и боковых корней, что справедливо для всех вариантов, за исключением тех, где развитие боковых корней происходило на водном растворе Zn в концентрации 1,0 мг/л и на почве, обработанной растворами этого же металла, содержащими 1,0 и 10,0 мг Zn/л (рис. 2).

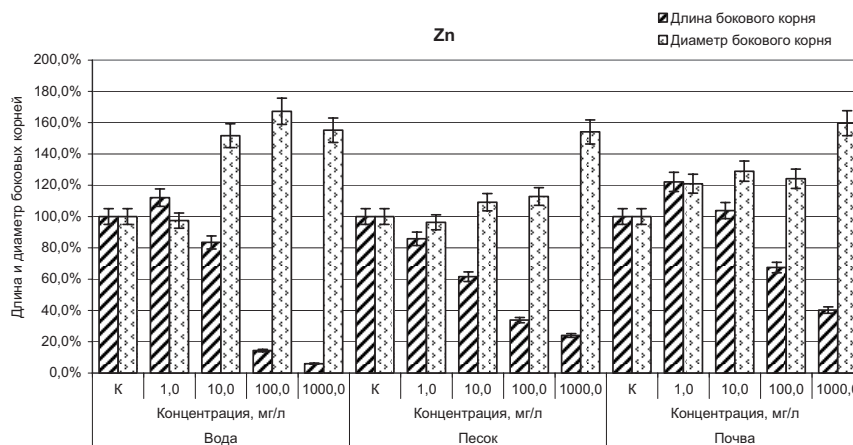


Рис. 2. Влияние различных концентраций Zn на длину и диаметр боковых корней фасоли в области апикальной меристемы в условиях разных сред произрастания

Сравнивая степень негативного влияния, оказываемого на корни фасоли, принадлежащие к разным морфологическим типам, отметим, что боковые корни, как правило, менее чувствительны к действию невысоких кон-

центраций Cd, Cu и Zn, чем главный корень тест-культуры, а диапазон устойчивости боковых корней расширяется в условиях почвы.

Как уже было отмечено ранее, невысокие концентрации металлов способны стимулировать ростовые процессы, происходящие в корневой системе у проростков фасоли (рис. 1 и 2). По вопросу о причинах этого явления мнения расходятся. С одной стороны, увеличение длины корней по сравнению с контролем может быть индуцировано повышением митотической активности меристематических клеток [5], с другой — причиной этого феномена может являться вовсе не интенсификация клеточного деления, а постепенное, в отличие от скачкообразного, свойственного значительным дозам металлов, замедление хода митоза [19]. По мнению остальных исследователей, суть явления стимуляции сводится к восстановлению пролиферации вследствие синтеза в клетках соединений, выполняющих протекторную функцию по отношению к ионам металлов [12]. Стимуляция роста под действием невысоких концентраций металлов продемонстрирована и в других работах [цит. по 16, 20].

Нами показано, что уменьшение длин главного и боковых корней сопряжено с их утолщением вблизи апекса (рис. 1 и 2), что еще раз свидетельствует в пользу представления о негативном влиянии тяжелых металлов на рост клеток растяжением.

Во всех вариантах появление боковых корней было приурочено к третьим экспериментальным суткам, а значит, достаточно условно мы можем говорить о том, что вид используемого в опыте металла не имел решающего влияния на ход процесса их образования. Возможно, более тонкая проработка опыта, учитывающая конкретный час возникновения боковых корней, позволила бы с большей долей уверенности свидетельствовать о влиянии на этот процесс ионов Cd, Cu и Zn. Высокая устойчивость процесса ветвления корневой системы у проростков кукурузы к одиночному и совместному воздействию ионов Cd и Pb в лабораторных условиях продемонстрирована и в опытах И.В. Серегина [16].

Присутствие в среде произрастания ионов металлов, особенно Cd, и уменьшение на их фоне длины главного корня провоцировало снижение протяженности всех его зон, в том числе и зоны ветвления. Последнее приводило к изменению архитектоники корневой системы. Вполне вероятно, что формирующаяся вследствие этого более компактная корневая система является важным адаптационным изменением в стратегии выживания растения при воздействии тяжелых металлов.

К визуальным признакам токсического влияния Cd, Zn и Cu на корневую систему фасоли следует отнести следующее: изменение цвета корней (побурение, почернение) на средних и высоких концентрациях металлов в воде и на песке, ослизнение и загнивание при высоком содержании ионов в воде, ингибирование образования корневых клубеньков (последние появляются только в почве, обработанной растворами металлов в концентрациях

0,05 мг Cd/л, 0,5 и 5,0 мг Cu/л, а также при всех экспериментальных концентрациях Zn).

Негативное воздействие тяжелых металлов сказывалось не только на корнях, но и на побеге (рис. 3). Мы полагаем, что перечисленные ранее причины, приводящие как к угнетению, так и к стимуляции ростовых процессов корневой системы фасоли, вполне справедливы и для побега.

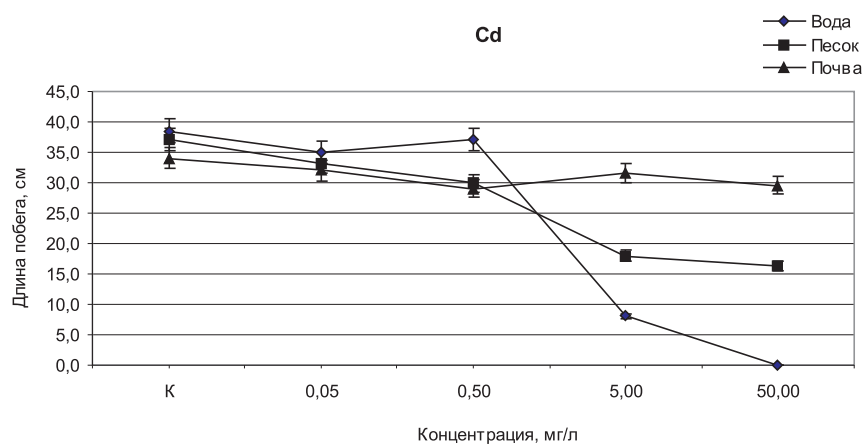


Рис. 3. Влияние различных концентраций Cd на длину побега фасоли в условиях разных сред произрастания

Хлоротичные пятна на листьях и бордовая окраска базальной части стебля на водных растворах металлов, падение тургора зеленой части растения в условиях всех сред произрастания — таковы симптомы отрицательного влияния Cd, Zn и Cu на побеги.

Развитие хлорозов, достаточно часто описываемое в научной литературе, общепризнанно является следствием изменений на фотосинтетическом уровне. Среди основных причин этого явления можно назвать следующие: нарушение ультраструктуры хлоропластов (расширение тилакоидных мембран, разрушение гран и системы тилакоидов) [цит. по 17], снижение активности ферментов синтеза хлорофилла и каротиноидов [цит. по 17, 21–24], разрушение пигментов ингибированием электрон-транспортной сети фотосинтеза, а также опосредованно через взаимодействие с обменом железа [11, 21, 25, 26].

Факторы, обуславливающие падение тургора в ответ на действие Cd, Zn и Cu, можно подразделить на внутренние — повышение проницаемости клеточных мембран и индуцируемый этим процессом выход электролитов [цит. по 17], понижение пула тургорогенов и пластичности клеточных оболочек [16, 27], закрывание устьиц вследствие повышения содержания абсцизовой кислоты [16, 17] и уменьшение их размеров на фоне снижения размера листовых пластинок [цит. по 17], и внешние — высокая концентрация раствора

в среде произрастания, затрудняющая поглощение растением воды вследствие осмотического эффекта [28].

Бордовая окраска стебля может являться признаком нарушений, происходящих в обмене фенолов и родственных им веществ, накопление которых в присутствии ионов металлов увеличивается [29]. В частности, в работе Н.В. Давыдовой и К.И. Моченят [30] было показано увеличение активности фермента фенилаланинаммиаклиаза в присутствии высоких доз Zn, влияющего на аккумуляцию фенолов, в том числе и эндогенных ингибиторов роста.

Таким образом, становится вполне очевидным, что изменения в каждом из перечисленных процессов способны оказывать негативное влияние на ход роста и развития тест-культуры. Кроме того, одной из вероятных причин задержки роста в присутствии повышенных содержаний используемых в эксперименте металлов могло служить нарушение донорно-акцепторных связей между органами растения. Показано, что уже $2 \cdot 10^{-5}$ М Zn снижали передвижение углеводов у фасоли, а 1–2 дня воздействия этого металла вызывали накопление сахарозы, восстановленных углеводов и крахмала в семядольных листьях этого растения, затрудняя их отток в другие органы [цит. по 31]. Сходный эффект наблюдал Robb [32], по мнению которого такие последствия индуцируются вариациями ультраструктуры сосудистых паренхимных клеток листа, в первую очередь флоэмных окончаний, что приводит к задержке транспорта ассимилятов через эти участки в условиях токсичности Zn. Уточним, что синтетическая функция присуща не только надземным органам, но и корневой системе, клетки которой способны продуцировать нуклеиновые кислоты, аминокислоты, амиды, а также соединения с высокой степенью физиологической активности — цитокинины и абсцизовую кислоту. Следовательно, корневая система растения, являясь донором важнейших для функционирования побега веществ, способна влиять на ход его ростовых процессов посредством изменения качественного и количественного состава ксилемного экссудата.

Сравнительный анализ полученных нами данных в целом позволяет говорить о меньшей чувствительности побега к действию ионов металлов, что зачастую выражалось в меньшем его ингибировании по сравнению с корневой системой растения.

Одним из наиболее иллюстративных показателей устойчивости растения к избыточному содержанию металла в среде произрастания следует считать накопление им сухого вещества. Поэтому, если в отношении корневой системы фасоли мы могли говорить о тенденции к снижению накопления ею сухого вещества в водной и песчаной культуре, то применительно к побегу отмеченная закономерность нарушалась, и воздушно-сухая фитомасса, как правило, не только не уменьшалась, а порой даже резко увеличивалась, особенно в водной культуре (рис. 4).

Парадоксальные, на первый взгляд, результаты имеют вполне логичное объяснение. Вспомним, что фасоль относится к группе двудольных, кото-

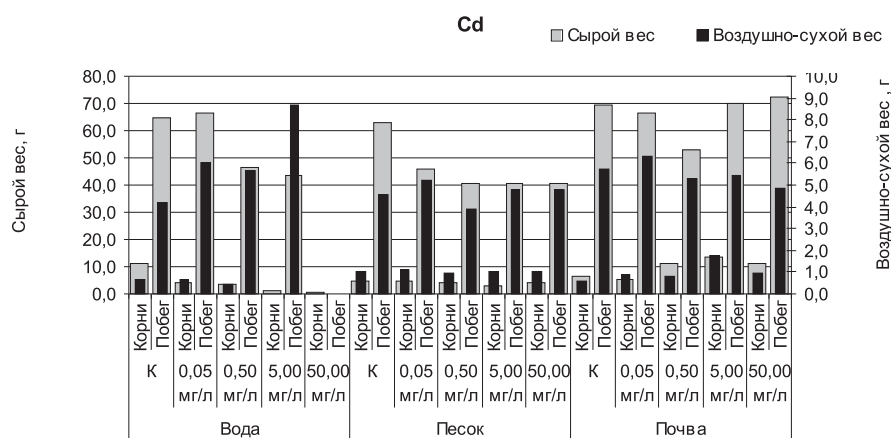


Рис. 4. Влияние различных концентраций Cd на сырой и воздушно-сухой вес корневой системы и побега фасоли в условиях разных сред произрастания

рые при прорастании выносят семядоли на земную поверхность. В случае ярко выраженного токсического эффекта развитие побега приостанавливается, что способствует сохранению (частично или полностью) сбрасываемых в норме семядолей и, соответственно, увеличению сухого веса побега. В условиях почвы, за исключением минимальных содержаний Cd и Zn, воздушно-сухой вес побегов оказывался ниже, чем в контроле, в отличие от корневой системы, сухой вес которой в абсолютном большинстве случаев превышал контрольное значение.

По результатам проведенного анализа морфометрических показателей у 14-дневных растений фасоли обыкновенной сорта "Щедрая" в диапазоне действующих концентраций нами были построены ряды металлов в порядке убывания их токсичности: $Cd > Cu > Zn$ (водная и почвенная культуры), $Cu > Cd \geq Zn$ (песчаная культура). Неодинаковая биотоксичность исследуемых металлов, в первую очередь, обусловлена различиями в их химическом строении. Ярко выраженная биологическая активность Cd во многом объясняется большим, по сравнению с Cu (атомный радиус 1,57 нм) и Zn (атомный радиус 1,53 нм), размером атома (атомный радиус 1,71 нм) и наименьшим значением относительной электроотрицательности (1,69 — для Cd, 1,90 — для Cu, 1,85 — для Zn). Большой размер атома и невысокое значение энергии ионизации (16,91 эВ против 20,29 эВ — для Cu и 17,96 эВ — для Zn) указывают на сравнительно слабую связь внешних электронов с ядром, что определяет свойство Cd образовывать непрочные комплексы [33]. Данное обстоятельство позволяет его ионам сохранять высокую химическую активность, находясь большую часть времени в свободном состоянии. Низкие значения электроотрицательности также свидетельствуют о слабой способности Cd оттягивать на себя электроны в химическом соединении. Наибольшая токсичность Cd может быть обусловлена и

способностью его ионов поступать в клетку путем прохождения через кальциевые каналы, в то время как ионы других тяжелых металлов проникают в клетку по градиенту концентрации или с помощью переносчиков [5].

Заключение

Проведенные нами модельные исследования выявили диапазон изменчивости морфометрических параметров (длин главного и боковых корней, диаметров главного и боковых корней в области апекса, длины побега, сырого и воздушно-сухого веса корневой системы и побега) фасоли обыкновенной сорта "Щедрая" при краткосрочном воздействии и в границах изучаемых концентраций Cd, Cu и Zn. Модифицирующее влияние ионов металлов на растение также проявлялось в изменении тургесцентности, структуры и цветности корневой системы и побега, появлении некрозов и ингибировании образования корневых клубеньков.

Степень токсичности металлов для фасоли характеризовалась двумя убывающими рядами: $Cd > Cu > Zn$ (водная и почвенная культура), $Cu > Cd \geq Zn$ (песчаная культура) и определялась эволюционно сформированной устойчивостью вида (сорта) к воздействию перечисленных химических элементов, их природой и концентрацией, физическими свойствами сред произрастания.

Литература

- [1] Журбицкий З.И. Теория и практика вегетационного метода. М.: Наука, 1968. 206 с.
- [2] Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов I-IV групп / под ред. В.А. Филонова. Л.: Химия, 1988. 512 с.
- [3] Davies K.L., Davies M.S., Francis D. Zinc-induced vacuolation in root meristematic cell of *Festuca rubra* L. // *Plant, Cell and Envir.* 1991. V. 14. № 4. P. 399–406.
- [4] Богуславская Л.В., Павлюкова Н.Ф. Оценка цитогенетического действия соединений кадмия и свинца на корневую апикальную меристему проростков пшеницы // *Биология – наука XXI века: тез. докл. 8 Междунар. шк.-конф. молодых ученых. Пуцдино, 2004. С. 190–191.*
- [5] Амосова А.А. Эколого-генетическая оценка влияния солей тяжелых металлов на лук репчатый в условиях модифицирующего эффекта активного ила: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Самара, 2004. 15 с.
- [6] Школьник М.Я. Физиологические причины тератологических изменений у растений // *Ботанический журнал.* 1981. Т. 66. № 2. С. 153–168.
- [7] Мельничук Ю.П. Влияние ионов кадмия на клеточное деление и рост растений. Киев: Наукова думка, 1990. 148 с.

- [8] Благой Ю.П., Галкин В.Л., Гладченко Г.О. Металлокомплексы нуклеиновых кислот в растворах. Киев: Наукова думка, 1991. 270 с.
- [9] Барсукова В.С. Физиолого-генетические аспекты устойчивости растений к тяжелым металлам: аналитический обзор. Новосибирск: СО РАН, ГПНТБ, Институт почвовед. и агрохим. 1997. Сер.: Экол. Вып. 47. 63 с.
- [10] Сюмка А.А. Влияние высоких концентраций ионов кадмия на клеточное деление и состояние клеток корневой меристемы: тез. докл. VII молодежн. конф. ботаников. СПб.: Буслай, 2000. С. 161.
- [11] Алексеева-Попова Н.В. Клеточно-молекулярные механизмы устойчивости растений к тяжелым металлам // Устойчивость к тяжелым металлам дикорастущих видов. Л.: Ботанический ин-т им. В.Л. Комарова АН СССР. 1991. С. 5–15.
- [12] Root growth responses to lead in young maize seedlings / N.V. Obroucheva [et al.] // Plant and Soil. 1997. V. 200. P. 55–61.
- [13] Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф., Титов А.Ф. Влияние ионов свинца и кадмия на апикальные меристемы стебля ячменя: тез. докл. VII молодежн. конф. ботаников. СПб.: Буслай, 2000. С. 118.
- [14] Аксютин Ю.В., Прохорова Н.В. Изучение влияния тяжелых металлов на процесс ризогенеза у кукурузы и фасоли // Биоразнообразие и биоресурсы Среднего Поволжья и сопредельных территорий: матер. Всерос. науч.-практ. конф. Казань: Каз. гос. пед. ун-т, 2002. С. 25–26.
- [15] Макарова Ю.В. Гистохимическая оценка накопления и распределения тяжелых металлов в органах и тканях сельскохозяйственных растений в зависимости от условий произрастания: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тольятти, 2006. 18 с.
- [16] Серегин И.В. Функционально-анатомическое изучение токсического действия кадмия и свинца на корень проростков кукурузы: дис. ... канд. биол. наук. М., 1999.
- [17] Серегин И.В., Иванов В.Б. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения // Физиология растений. 2001. Т. 48. № 4. С. 606–630.
- [18] Рудакова Э.В., Каракис К.Д., Сидоршина Т.Н. Роль клеточных оболочек растений в поглощении и накоплении ионов металлов // Физиология и биохимия культурных растений. 1988. № 1. С. 3–12.
- [19] Довгалюк А.И., Калиняк Т.Б., Блюм Я.Б. Цитологические эффекты солей токсических металлов в клетках апикальной меристемы корней проростков *Allium scirp* L. // Цитология и генетика. 2001. № 2. С. 3–10.
- [20] Жолнин А.В. Комплексные соединения: конспект лекций. Челябинск: ЧГМА, 2000. 33 с.
- [21] Влияние кинетина на рост проростков гороха и содержание пигментов при избытке цинка в питательном растворе / В.А. Бессонова [и др.] // Физиология растений. 1985. Т. 32. Вып. 1. С. 109–120.

- [22] Шапочка О.Ф., Маховская М.А., Бойко Н.М. Нарушение некоторых физиологических процессов у проростков кукурузы под действием избытка тяжелых металлов // Регуляторные механизмы физиологических процессов у растений. Киев, 1985. С. 184–186.
- [23] Пигулевская Т.К., Чернавина И.А. Интенсивность фотосинтеза и метаболизм углерода у растений овса при избытке цинка в среде выращивания // Физиология устойчивости растений Нечерноземной зоны РСФСР: сб. научн. тр. Саранск, 1986. С. 89–95.
- [24] Stiborova M. Cd²⁺-ions effect the quaternary structure of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase from barley leaves // Bioch. Physiol. Pflanzen. 1988. V. 183. P. 371–378.
- [25] Битюцкий Н.П. Микроэлементы и растение. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 1999. 232 с.
- [26] Петрунина Н.С., Ермаков В.В., Дегтярева О.В. Геохимическая экология растений в условиях полиметаллических геохимических провинций // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии: труды биогеохимической лаборатории. М.: Наука, 1999. Т. 23. С. 226–253.
- [27] Obata H., Umebayashi M. Effects of cadmium on mineral nutrient concentrations in plant differing in tolerance for cadmium // J. Plant Nutr. 1997. V. 20. № 1. P. 97–105.
- [28] Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений / под ред. Н.Н. Третьякова. М.: Колос, 2000. 640 с.
- [29] Запрометов Н.М. Основы биохимии фенольных соединений. М.: Высшая школа, 1974. 214 с.
- [30] Давыдова В.Н., Моченят К.И. Влияние различной обеспеченности цинком на активность фенилаланинаммиаклиазы // Растения в экстремальных условиях минерального питания. Л., 1983. С. 163–167.
- [31] Алексеева-Попова Н.В. Токсичность цинка для высших растений // Устойчивость к тяжелым металлам дикорастущих видов. Л.: Ботанический институт им. В.Л. Комарова АН СССР, 1991. С. 23–32.
- [32] Robb J. Early cytological effects of zinc toxicity in white bean leaves // Ann. Bot. 1981. V. 47. № 6. P. 829–834.
- [33] Эмсли Д. Элементы. М.: Мысль, 1993. 256 с.

Поступила в редакцию 6/IV/2009;
в окончательном варианте — 6/IV/2009.

CONCERNING THE VARIABILITY OF THE
MORPHOMETRIC INDICES OF THE KIDNEY BEAN
UNDER THE SHORT TERM INFLUENCE OF CADMIUM,
ZINC AND COPPER

© 2009 Ju.V. Makarova²

During the different substrates (water, sand, soil), the character of morphological changes of *Phaseolus vulgaris* L. was investigated as an answer on Cd, Zn and Cu ions action.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., morphometric parameters, concentration effect, medium of the growth.

Paper received 6/IV/2009.

Paper accepted 6/IV/2009.

²Makarova Julia Vladimirovna (aconithum@mail.ru), Dept. of Ecology, Botany and Environmental Protection, Samara State University, Samara, 443011, Russia.