

УДК: 633.71:574.24:58.4

В.И. Крюков

д.б.н., профессор, ст.н.с. ИНИИЦ,

А.И. Золотухин

к.с.-х.н, доцент кафедры земледелия

Е.Ю. Репина

студентка

Орловский государственный аграрный университет

г. Орёл, Российская Федерация

ВЛИЯНИЕ ХРОМА (VI) НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН ПРОСА

Введение

Загрязнение агросферы различными соединениями тяжёлых металлов является одной из серьёзных проблем агроэкологии. За исключением кадмия, ртути и свинца остальные тяжёлые металлы в микроколичествах необходимы для нормального развития растений, т.к. являются биогенными микроэлементами, хотя степень потребности растений в различных микроэлементах также различна. Вместе с тем высокие концентрации растворимых соединений любых тяжёлых металлов оказывают токсическое действие на растения, снижая их продуктивность. Механизмы токсического действия солей тяжёлых металлов на растения частично исследованы, но цельной теории токсичности этих веществ для растений пока не разработано. По этим причинам дальнейшее накопление сведений о токсических эффектах тяжёлых металлов для различных видов сельскохозяйственных растений остаётся актуальной задачей.

Одним из тяжёлых металлов, создающим серьёзные экологические проблемы является хром. Этот элемент включён токсикологами в группу наиболее опасных для здоровья человека и животных, наряду с кадмием, медью, мышьяком, никелем, ртутью, свинцом, и цинком [2, с. 23]. Различные соединения хрома используют во многих промышленных производствах: металлообрабатывающих, гальванических, кожевенных, текстильных. С аэрозольными выбросами, твёрдыми отходами и стоками этих промышленных предприятий хром попадает в атмосферу, почву и водоёмы в качестве загрязнителя. В некоторых регионах, где используются хром предприятия существуют на протяжении многих десятилетий, уровень загрязнения почв и водоёмов хромом признан катастрофическим. По указанным причинам изучение влияния хрома на развитие, физиологические и биохимические процессы являются актуальными.

В настоящем сообщении изложены результаты анализа влияния на прорастание семян проса ионов шестивалентного хрома в концентрациях 10-320 мг/л.

Материалы и методы

Материалом для исследования служили семена проса (*Panicum miliaceum* L.) сорта «Квартет». В качестве исследуемого фактора использовали ионы шестивалентного хрома (далее – Cr (VI)) в виде бихромата калия $K_2Cr_2O_7$ квалификации «ч.д.а.». Исследовали влияние следующих концентраций ионов Cr (VI): 10, 20 40, 60, 80 160 и 320 мг/л.

Для изучения прорастания семян и развития проростков применяли лабораторный вегетационный рулонный метод. По 110 ± 10 семян проса размещали на увлажнённой дистиллированной водой полосе фильтровальной бумаги, уложенной на ленту из чёрного полиэтилена. После укладки семян полиэтиленовую ленту вместе с фильтровальной бумагой заворачивали в рулон и помещали в стеклянный цилиндр с небольшим количеством дистиллированной воды (контроль) или раствора бихромата калия с заданной концентрацией хрома. Стеклянные цилиндры с рулонами закрывали полиэтиленовыми крышками (для предотвращения высыхания бумаги в рулонах) и устанавливали в светозащитный вегетационный короб. Вегетационный короб находился в помещении, температуру в котором автоматически поддерживали на уровне $21 \pm 1^\circ\text{C}$. Семена проса проращивали в темноте в течение 7 суток. По истечении этого срока рулоны разворачивали, подсчитывали число не проросших семян и измеряли длины первичного корня и стебля каждого проростка. Полученные данные анализировали с использованием компьютерной программы «Statistica 6.0»

Результаты и обсуждение

Целью настоящего исследования был анализ реакции прорастающих семян и проростков на воздействие различных концентраций хрома (VI) на протяжении 7-суточного этапа раннего онтогенеза проса.

Хром постоянно присутствует в тканях растений, но прямых доказательств того, что хром является необходимым элементом для растений пока не получено. В норме содержание хрома в тканях растений составляет $0,1-0,5$ мг/кг сухого вещества. Специально проведённые эксперименты показали, что нормальное развитие растений возможно при полном отсутствии хрома [13, с.74]. Вместе с тем, доказанным фактом является и то, что микроколичества хрома интенсифицируют рост растений. Так, микроколичества трёхвалентного хрома (далее – Cr (III)) стимулировали рост стеблей и образование корневых клубеньков у бобовых [1, с. 68]. Установлено, что небольшие концентрации хрома ($0,05-0,0005\%$) стимулируют активность каталазы и протеолиз [5, с.131; 6, с.39]

В различных органах растений содержание хрома может достаточно сильно различаться. В наибольших количествах хром накапливается корнями растений. В клетках корней хром находится преимущественно в вакуолях в растворимой форме. Некоторая часть хрома может перемещаться в листья растений. Наименьшее содержание хрома (относительно других органов растений) обнаружено в семенах [3, с. 211].

В нашем эксперименте воздействие металла начиналось одновременно с замачиванием семян. Поэтому все процессы их активизации к прорастанию протекали под воздействием исследуемого фактора, что, могло отразиться на всхожести семян. Анализ доли проросших семян показал следующее.

Всхожесть семян в контроле составила $87,6\%$ (табл. 1). Присутствие в среде прорастания семян ионов шестивалентного хрома в концентрациях $10, 20$ и 40 мг/л не приводило к статистически достоверному отличию всхожести от контроля, хотя она и варьировала в небольших пределах ($80,6-89,7\%$).

Увеличение в среде прорастания семян ионов хрома до концентрации 60 мг/л вызывало статистически достоверное снижение их всхожести при уровне значимости $P > 0,05$. Концентрации хрома 80 и 320 мг/л приводила к статистически достоверному снижению всхожести семян уже при $P > 0,001$. Из общей закономерности

выпадают результаты анализа всхожести семян при 160 мг/л хрома, которая оказалась достаточно высокой и статистически не отличающейся от контрольной всхожести. При этом U-критерий этой выборки отличался от величины U-критерия обеспечивавшей статистическую достоверность различий всего на 0,04.

Таблица 1 – Лабораторная всхожесть семян прорастиваемых в условиях воздействия разных концентраций ионов хрома (VI).

Концентрация Cr ⁶⁺ , мг/л	Замочено семян	Проросло семян	Не проросли		Лабораторная всхожесть	Отличие от контроля, P
			Не наклоннулись	Наклоннулись		
0, Конт.	105	92	7	6	87,6	–
10	144	116	9	19	80,6	<0,05
20	119	105	14	–	88,3	<0,05
40	106	95	11	–	89,7	<0,05
60	125	96	9	20	76,8	>0,05
80	103	49	11	43	47,6	>0,001
160	123	96	12	15	78,0	<0,05
320	126	56	25	45	44,4	>0,001

Неожиданно высокую величину всхожести семян наблюдали при концентрации хрома 160 мг/л. пока объяснить достаточно сложно. Тем не менее, подобная картина была зафиксирована и в других исследованиях. Так, низкие концентрации (0,05-0,20 мМ) хрома (VI) вызывали снижение всхожести семян катрана абиссинского (*Crambe abyssinica*). Однако концентрация хрома 0,40 мМ (≈ 21мг/л) повышала всхожесть семян почти в 1,2 раза, хотя различия оставались статистически

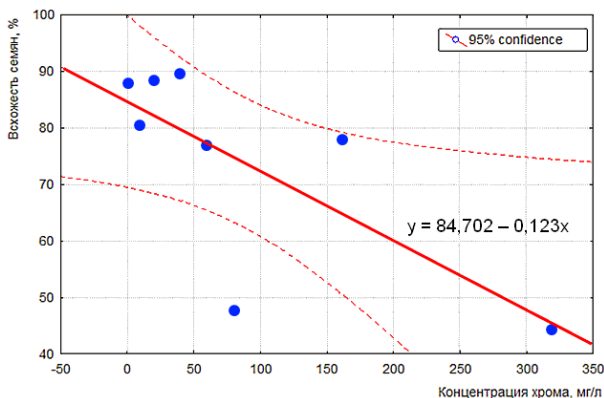


Рисунок 1 – Зависимость всхожести семян проса от концентрации Cr(VI)

недостовверными. Дальнейшее увеличение концентрации хрома (до 0,80 мМ) вновь снижало всхожесть семян по сравнению с контролем [12, с. 155]. Возможно, что воздействие хрома в определённых концентрациях инициирует в замоченных семенах определённые компенсационные механизмы, обеспечивающие их более интенсивное прорастание. В целом же по эксперименту коэффициент корреляции

всхожести семян с концентрацией хрома в среде прорастания имеет достаточно большую отрицательную величину ($r = -0,730$), а наблюдаемая зависимость может быть интерполирована математическим выражением $y = 84,702 - 0,123x$ (рис. 1). Отсюда следует сделать заключение, что высокие концентрации хрома снижают всхожесть семян.

Сходную картину снижения всхожести семян под влиянием ионов хрома наблюдали и у других культур, например, риса [20, с. 70]. Однако авторы указывают, что при инкубации семян в растворах с концентрацией иона хрома более 200 мг/л ни одно семя не проросло. В нашем эксперименте семена проса прорастали при концентрации хрома 320 мг/л, хотя при этом всхожесть была в 2 раза ниже контрольной. Возможно, здесь проявляются различия толерантности к хрому растений разных видов. Такие межвидовые различия по устойчивости к хрому были ранее обнаружены при изучении некоторых сельскохозяйственных культур [15, с. 276].

Наряду с многочисленными свидетельствами ингибирования процесса прорастания семян, опубликованы исследования, в которых не было обнаружено влияния хрома на всхожесть растений. Так, Jamal et al. [14, с. 414] установили отсутствие влияния хрома на всхожесть семян пшеницы двух разных сортов. При всхожести семян сорта Anmol в контроле 80% в присутствии хрома (VI) в концентрациях 40, 80, и 120 мг/л всхожесть семян составила 86 % во всех трёх вариантах и при концентрации 160 мг/л – 83%. У пшеницы сорта Kigan в контроле всхожесть семян составила 76,6% и 90, 83, 93 и 90% при концентрации хрома 40, 80, 120 и 160 мг/л соответственно

Уменьшение частоты прорастания семян некоторые исследователи связывают с повышенной активностью протеаз при воздействии высоких концентраций хрома, а также с торможением хромом транспортировки сахара к делящимся клеткам эмбриона [8, с. 400; 18, с. 152]. Падение всхожести семян может быть связано с ингибирующим действием хрома на активность α - и β -амилаз, которые гидролизуют крахмал в сахара, необходимые для прорастания семян [25, с. 113].

Таблица 2 – Влияние разных концентраций хрома на длину корня недельных проростков проса.

Концентрация Cr^{+6} , мг/л	Размер выборки	lim		Средняя длина корней	Стандартное отклонение, σ	Отличие от контроля, P
		min	max			
0, Контр.	92	6	54	37,5 \pm 1,2	11,3	–
10	116	1	46	17,9 \pm 1,0	10,5	>0,001
20	105	1	60	31,5 \pm 1,2	11,8	>0,001
40	95	5	49	14,7 \pm 0,7	7,2	>0,001
60	96	1	64	15,3 \pm 1,5	15,2	>0,001
80	49	1	34	6,4 \pm 1,0	7,2	>0,001
160	96	1	30	5,3 \pm 0,6	6,2	>0,001
320	56	1	42	4,9 \pm 0,8	6,2	>0,001

Наличие высоких концентраций Cr в среде прорастания семян может нарушать нормальное течение сразу несколько процессов. Поэтому, способность разных видов растений к прорастанию в присутствии Cr предложено использовать как индикатор степени их толерантности к хрому [22, с. 731].

У прорастающих семян проса первым появляется первичный корень. В контрольном варианте к концу 7 суток прорастания длина корней у проростков проса варьировала от 6 до 54 мм. Средняя длина первичных корней во всей контрольной выборке равнялась $37,5 \pm 1,2$ мм (табл. 2).

Добавление в среду ионов хрома (VI) в концентрации 10 мг/л приводило к двукратному уменьшению длины первичных корешков проса, средняя длина которых равнялась $17,9 \pm 1,0$ мм. Неожиданным оказался результат прорастания семян в растворе, содержащем ионы хрома (VI) в концентрации 20 мг/л – максимальная длина первичных корешков (60 мм) превышала таковую в контроле (54 мм). Средняя длина корней у проса, выросшего при концентрации хрома 20 мг/л, оказалась больше средней длины корешков у проростков, развивающихся в растворе концентрации 10 мг/л, но при этом была лишь на 6 мм меньшей, чем в контроле. Дальнейшее увеличение концентрации ионов хрома в среде прорастания семян проса вело к постепенному угнетению интенсивности роста корней и сокращению их средней длины к концу недельного срока прорастания. Подобная реакция корней на различные концентрации хрома, формирующая на графике несколько пиков, была обнаружена у кукурузы, подсолнечника и сорго [10, с.875].

В довольно большом количестве публикаций приводят результаты, свидетельствующие об однозначном ингибировании роста корней проростков. Вместе с тем есть сообщение об увеличении длины корней и сухой массы листьев в растениях фасоли и кукурузы, подвергнутых воздействию 1 мкМ Cr (III) наблюдали Barcelo J. et al. [7, с. 479] Позже были получены данные об увеличении роста корней люцерны при концентрации Cr (VI) менее 5 мг/л. [22, с.732]. Опубликованы результаты наблюдения усиления роста корней и увеличении биомассы при 24-часовом воздействии 50 мМ Cr (VI) на растения риса, и снижении значений этих признаков лишь после 48-часового воздействия [21, с. 1426]. Зависимость средней длины корня проростков проса от концентрации хрома в среде прорастания в нашем эксперименте удовлетворительно интерполируется линейной функцией $y = 23,4 - 0,078x$ (рис. 2).

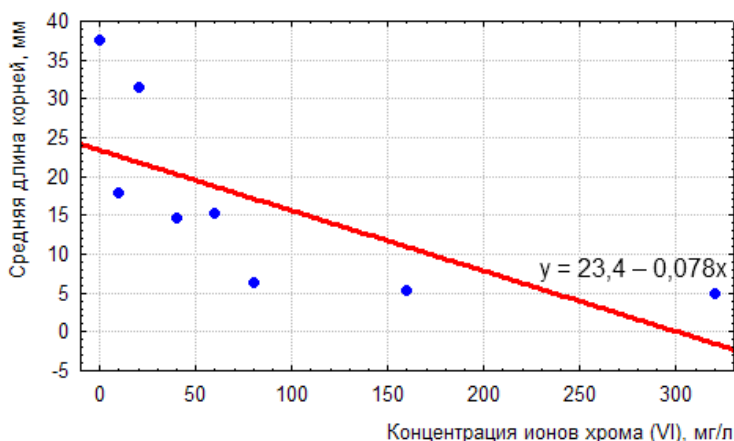


Рисунок 2 – Зависимость средней длины корня проростков проса от концентрации Cr (VI).

Полученные нами результаты свидетельствуют о негативном влиянии возрастающих концентраций хрома на интенсивность роста корней и их итоговую длину. Этот вывод согласуется с ранее полученными результатами Kurshid S. et al. [16, с. 402], которые также обнаружили, что концентрации хрома 50, 100, 150, 200, 250 и 300 ppm отрицательно влияют на рост корней томатов уменьшая их длину. Исследования Saddiqe Z. et al. [23, с. 224] показали, что хром (VI) статистически достоверно ингибирует рост корней у проростков пшеницы во всех вариантах исследованных концентраций (0,25, 0,5, 1,0, 1,5 2,0 мМ). При выращивании пшеницы в присутствии Cr (VI) в концентрации 100 част/млн [9, с.543] обнаружили уменьшенные длины корней 7-дневных проростков на 63% по сравнению с контролем.

Специальные исследования показали, что в корнях растений накапливается большее количество хрома, чем в стеблях. Полагают, что это может быть связано с иммобилизацией хрома в вакуолях корневых клеток, для того, чтобы сделать его менее токсичным для растения [24, с. 1042]. Сокращение длины корней из-за токсического действия хрома может быть результатом подавления деления корневых клеток, ингибирования их роста (удлинения) или в результате увеличения продолжительности клеточного цикла.

Рост стеблей является ещё одним параметром, обычно подверженным воздействию хрома. Из результатов нашего эксперимента следует, что стебли проростков проса реагировали на повышающиеся концентрации хрома в среде более сложным образом, чем корни (табл.3).

Таблица 3 – Влияние разных концентраций хрома на длину стеблей недельных проростков проса

Концентрация Cr ⁺⁶ , мг/л	Размер выборки	lim		Средняя длина стеблей	Стандартное отклонение, σ	Отличие от контроля, P
		min	max			
0, Контр.	92	0	37	16,5 ±0,9	8,9	
10	116	3	33	16,9 ±0,6	6,9	<0,05
20	105	1	42	17,8 ±0,9	8,9	<0,05
40	95	3	45	20,1 ±0,9	8,8	>0,01
60	96	3	45	23,4 ±1,0	9,7	>0,001
80	49	1	27	11,9 ±1,1	7,6	>0,01
160	96	0	29	10,7 ±0,7	6,4	>0,001
320	56	2	27	9,2 ±0,8	6,1	>0,001

недельного срока они достигали всего 11,9 мм в среднем. Увеличение концентрации хрома до 160 и 320 мг/л приводило к ещё более сильному торможению роста – стебли проростков достигали длины всего лишь 10,7 и 9,2 мм соответственно. Интерполяция этого процесса возможна линейной функцией вида $y = 18,56 - 0,03x$ (рис. 3).

В контрольном варианте средняя длина стеблей была равна 16,5 мм. При добавлении в воду бихромата калия, по мере увеличения концентрации хрома от 10 до 60 мг/л средняя длина стеблей у проростков постепенно возрастала от 16,9 до 23,4 мм. При дальнейшем увеличении концентрации хрома до 80 мг/л происходило резкое снижение интенсивности роста стеблей и к концу

Аналогичное влияние хрома на развитие стеблей других сельскохозяйственных культур было описано в ранее выполненных исследованиях. Так, при выращивании пшеницы в присутствии Cr (VI) в концентрации 100 ppm происходило уменьшение длины побега 7-дневных проростков на 44% по сравнению с контролем [9, с. 542]. Длина побегов кукурузы значительно снижалась при воздействии 9 мкг/мл Cr (VI) в течение 7 суток [17, с. 993]. При изучении влияния различных концентраций хрома на горчицу, выращиваемую в условиях гидропонной культуры, было обнаружено, что хром сильнее ингибирует рост корней горчицы и в меньшей степени – стеблей [11, с. 15661]. Постепенное уменьшение длины ростков наблюдали у томатов, выращенных на питательном растворе с возрастающими концентрациями (50, 100, 150, 200, 250 и 300 ppm) хрома [16, с. 402]. Эти факты пытаются объяснить, исходя из результатов определения количества хрома, накапливаемого в корнях и стеблях растений.

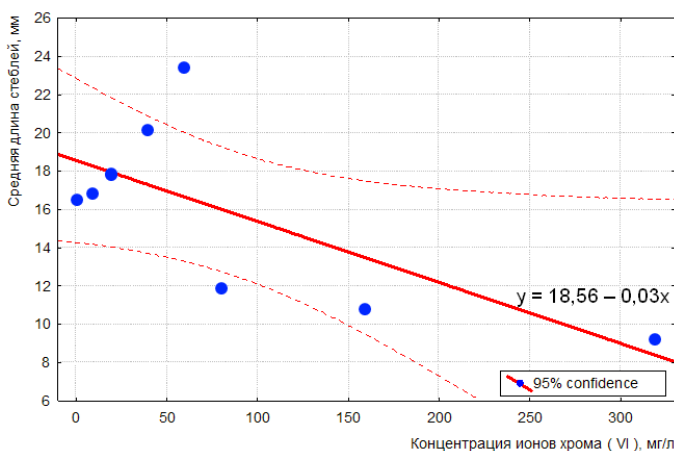


Рисунок 3 – Зависимость средней длины стеблей проса от концентрации Cr(VI).

Поскольку корни аккумулируют хром активнее, полагают, что именно эта особенность распределения хрома в растениях и обуславливает большее торможение роста корней. Вместе с тем в растения хром может поступать не только через корневую систему, но и через листья, причём интенсивность поступления хрома в растения зависит от толщины листовой кутикулы – чем она была тоньше, тем более интенсивно происходит поглощение элемента [4, с. 106]. В нашем эксперименте мы наблюдали, что корни в условиях воздействия хрома росли более интенсивно, чем стебли. Одной из причин этого может быть то, что в рулонной культуре большая часть ростка у проростка также находилась в контакте с раствором хрома и, возможно, хром проникал в клетки ростка. В любом случае, обнаруженный факт требует подтверждения и дальнейшего исследования.

Определённый интерес представляет изучение корреляции длины корня с длиной стеблей проростков проса в контроле и в опытных вариантах, а также анализ корреляции средних длин корней со средними длинами стеблей при изменении концентрации хрома в среде прорастания.

Коэффициент корреляции длины стеблей с длиной корней проростков в контрольном варианте опыта оказался равен 0,599, а зависимость этих двух признаков может быть описана уравнением $y = -1,240 + 0,474 \cdot x$ (рис. 4).

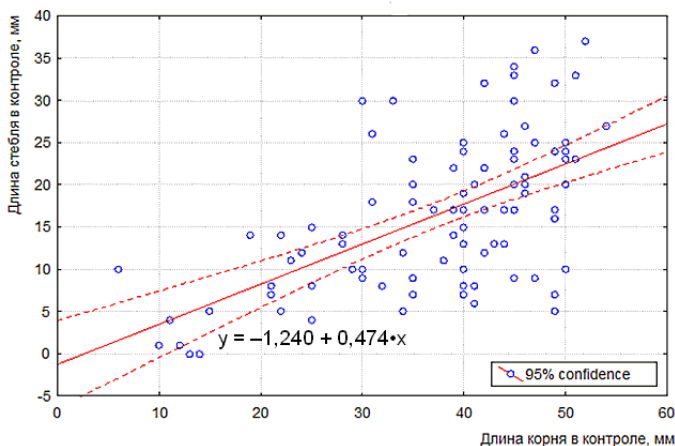


Рисунок 4 – Корреляция длины стеблей с длиной корней у семидневных проростков проса в контроле (без дополнительного хрома).

Аналогичным образом были проанализированы корреляционные зависимости в опытных группах проростков, подвергнутых воздействию хрома. В результате получены следующие коэффициенты корреляции и математические выражения корреляции длин стеблей с длинами корня (табл. 4).

Таблица 4 – Коэффициенты корреляции и математические выражения зависимости длины стебля и длины корня при различных концентрациях хрома в среде прорастания проростков.

Концентрация Cr^{+6} , мг/л	Размер выборки	Коэффициент корреляции	Выражение зависимости длины стебля от длины корня
0, Контр.	92	0,599	$y = -1,240 + 0,274 \cdot x$
10	116	0,421	$y = 11,966 + 0,277 \cdot x$
20	105	0,250	$y = 11,833 + 0,190 \cdot x$
40	95	0,147	$y = 17,488 + 0,180 \cdot x$
60	96	0,529	$y = 18,264 + 0,337 \cdot x$
80	49	0,435	$y = 8,947 + 0,459 \cdot x$
160	96	0,423	$y = 7,955 + 0,510 \cdot x$
320	56	0,487	$y = 6,893 + 0,476 \cdot x$

Интересно отметить, что в варианте с максимальной концентрацией хрома люнаражены два проростка, один из которых выделялся очень большой (по сравнению с остальными вариантами выборки) длиной ростка, а у второго был очень длинный корень (рис 5).

2) статистически достоверно уменьшает интенсивность роста первичного корня проса при всех концентрациях хрома;

3) увеличивает интенсивность роста стеблей проса при низких (10-60 мг/л) концентрациях хрома и ингибирует их рост при высоких (80-320 мг/л) концентрациях.

Список использованной литературы

1. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почве и растениях / Алексеев Ю.В. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.
2. Будников Г.К. Тяжёлые металлы в экологическом мониторинге водных систем // Соровский образовательный журнал. 1998. № 5, –С. 23-29.
3. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. –М.: Мир, 1989. – 439 с.
4. Негруцкий С.Ф. и др. Закономерности проникновения химических загрязнителей в организм высшего растения / С.Ф. Негруцкий, В.А. Попов, Ю.Г. Приседский, Е.В. Еремка // Проблемы фитогигиены и охрана окружающей среды. –Л.: Наука, 1981. –С. 104-108.
5. Щеглов А.Т. Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине / А.Т. Щеглов. – Л.: Наука, 1970. – Т.1. – 230 с.
6. Щеглов А.Т. Влияние хрома на некоторые физиологические показатели у кукурузы / А.Т. Щеглов // Применение удобрений, микроэлементов и регуляторов роста в сельском хозяйстве: науч. труды. Ставропольского сельскохозяйственного ин-та. – В. 44, Т. 1. – Ставрополь, 1981. – С. 35–40.
7. Barcelo J. et al. Beneficial and toxic effects of chromium in plants: solution culture, pot and field studies. / Barcelo J., Poschenrieder C., Vazquez M.D., Gunse B., Vernet J.P. // Environmental contamination : a selection of papers presented at the 5th International Conference on Environmental Contamination, Morges, Switzerland, 29 September-1 October 1992. V. 55. Edited by J.-P. Vernet. –Amsterdam; New York : Elsevier, 1993. 479 p.
8. Datta J.K., et al. Phytotoxic effect of chromium on the germination, seedling growth of some wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under laboratory condition. / Datta J.K., Bandyopadhyay A., Banerjee, A. and Mondal N.K. //J. Agric. Techn., 2011. V.7, № 2. –P. 395-402.
9. Dey S.K. et al. Antioxidative efficiency of *Triticum aestivum* L exposed to chromium stress / Surjendu Kumar Dey, Priyanka Priyadarshani Jena and Satyajit Kundu // Journal of Environmental Biology. 2009. V. 30. № 4. –P. 539-544.
10. Dheeba B., Sampathkumar P. A Comparative study on the phytoextraction of five common plants against chromium toxicity / B. Dheeba and P. Sampathkumar // Oriental Journal of Chemistry. 2012. V. 28, № 2. –P. 867-879.
11. Hamid R. et al. Chromium stress in *Brassica juncea* L. cv. «Pusa Jai Kissan» under hydroponic culture / Rehana Hamid, Javid A. Parray, Azra N. Kamili and Mahmooduzzafar. // African Journal of Biotechnology. 2012.V. 11 (90), –P. 15658-15663.
12. Hu J. et al. Influence of heavy metals on seed germination and early seedling growth in *Crambe abyssinica*, a potential industrial oil crop for phytoremediation. / Hu J., Deng Z., Wang B., Zhi Y., Pei B., Zhang G., Luo M., Huang B., Wu W., Huang B. // American Journal of Plant Sciences. 2015. V. 6. –P. 150-156.

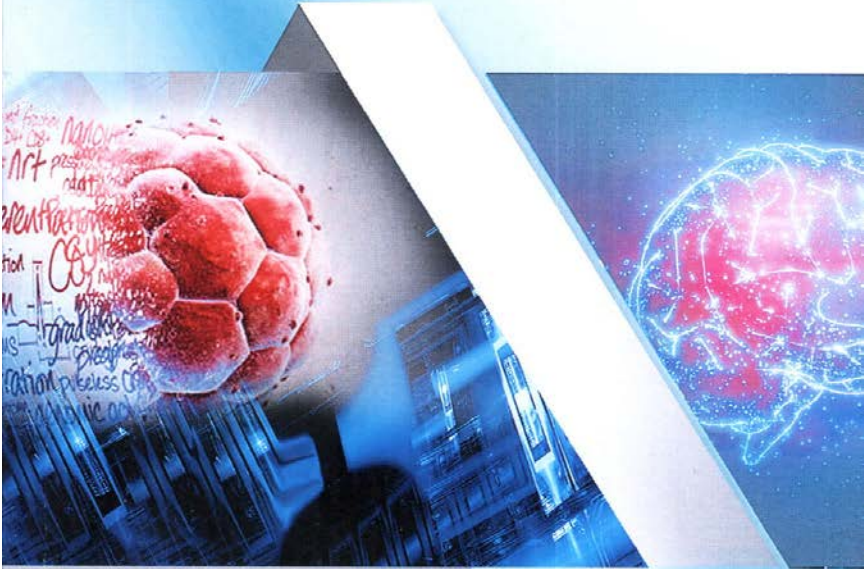
13. Huffmann E.W.D., Allaway W.H. Growth of plants of solution culture containing low levels of chromium / E.W.D. Huffmann, W.H. Allaway // *Pl. Physiol.* – 1973. – Vol. 52, № 1. – P. 72–75.
14. Jamal, S.N. et al. Phytotoxic effect of aluminum and chromium on the germination and early growth of wheat (*Triticum aestivum*) varieties Anmol and Kiran. / Jamal, S. N., Iqbal, M. Z., Athar, M. // *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, V. 3. № 4. –P.411-416.
15. Jun R. et al. Effects of chromium on seed germination, root elongation and coleoptile growth in six pulses. / R. Jun, T. Ling, Z. Guanghua // *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 2009. V. 6, № 4. –P. 571-578.
16. Kurshid S. et al. Chromium toxicity to tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill) susceptible to *Fusarium* wilt pathogen / Saba Kurshid, Amna Shoaib and Arshad Javaid // *Current Science*, 2016. V. 110, № 3. –P. 399-404.
17. Mallick S. et al. Interactive effects of Cr and Fe treatments on plants growth, nutrition and oxidative status in *Zea mays* L. / S. Mallick, G. Sinam, R. Kumar Mishra, and S. Sinha // *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2010. V. 73, № 5, –P. 987-995.
18. Mohanty M., Patra H.K. Effect of chelate assisted hexavalent chromium on physiological changes, biochemical alterations and Cr bioavailability in crop plants - an in vitro phytoremediation approach. // *Bioremediat. Journal*. 2012. V. 16. № 3. –P. 147–155.
19. Nagarajan M., Ganesh K. S. Toxic effects of chromium on growth of some paddy varieties / M. Nagarajan, K. Sankar Ganesh // *International Letters of Natural Sciences*. 2015. Vol. 35, –P. 36-44. DOI:10.18052/www.scipress.com/ILNS.35.36
20. Nagarajan M., Sankar K.G. Effect of chromium on growth, biochemicals and nutrient accumulation of paddy (*Oryza sativa* L.) / M. Nagarajan, K. Sankar Ganesh // *International Letters of Natural Sciences*. 2014. V. 23. –P.63-71
21. Panda S.K. Chromium mediated oxidative stress and ultrastructural changes in root cells of developing rice seedlings. // *J. Plant Physiol*. 2007. V 164. № 11. –P. 1419–1428.
22. Peralta J.R. et al. Uptake and effects of five heavy metals on seed germination and plant growth in alfalfa (*Medicago sativa* L.). / J.R. Peralta, J.L. Gardea-Torresdey, K.J. Tiemann, E. Gomez, S. Arteaga, E. Rascon, J.G. Parsons // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2001. V. 66, № 6, –P. 727-734.
23. Saddiqe Z. et al. Effect of Chromium (VI) on physical growth and biochemical parameters of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings / Zeb Saddiqe, Ayesha Farooq, Farah Khan, Hafsa Khalid, Sana Javeria // *Biologia (Pakistan)*. 2015. V. 61. № 2. – P. 219-226.
24. Shanker A.K et al. Differential antioxidative response of ascorbate glutathione pathway enzymes and metabolites to chromium speciation stress in green gram (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek. cv CO 4) roots / Arun K. Shanker, M. Djanaguiraman, R. Sudhagar, C.N. Chandrashekar, G. Pathmanabhan // *Plant Science*. 2004. V. 166. № 4. –P. 1035-1043.
25. Zeid, I.M. Responses of *Phaseolus vulgaris* to chromium and cobalt treatment. // *Biologia Plantarum*. 2001. V. 44. № 1. –P 111-115.

© Крюков В.И., Золотухин А.И., Репина Е.Ю. 2017

Другие работы авторов: http://www.labogen.ru/50_bookcase/shelf-1.html



АЭТЕРНА
НАУЧНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР



ИННОВАЦИОННО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ НАУКИ

часть 3