

УДК 557.118.084

DOI: 10.21779/2542-0321-2021-36-4-117–125

**П.Б. Рамазанова**

## **Использование овощных культур в биотестировании тяжелых металлов**

*Дагестанский государственный университет; Россия, 367000, г. Махачкала,  
ул. М. Гаджиева, 43а; ramazanova\_p@mail.ru*

В статье изучена эффективность использования овощных культур (огурца, редиса, капусты) в качестве тест-объектов для диагностики влияния различных концентраций ( $10^{-3}$ – $10^{-5}$  М) солей тяжелых металлов (ТМ) ( $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{CoCl}_2$  и  $\text{ZnSO}_4$ ). Для разных тест-реакций: всхожести, энергии прорастания семян, прироста морфометрических показателей (длины и биомассы побегов и корней), а также для индекса токсичности фактора (ИТФ) установлена зависимость от типа и концентрации растворов солей тяжелых металлов (ТМ) и от вида растения.

Отмечено, что высокие концентрации солей подавляли ростовые процессы всех тест-объектов, низкие – оказывали стимулирующие действия. Наиболее токсичный эффект выражен в вариантах с медью и наименее – с цинком. Большему ингибированию подверглась корневая система. Процесс прорастания семян оказался более устойчивым к действию солей тяжелых металлов, однако повышенные концентрации подавляли этот процесс. Использованные тест-объекты имели разную устойчивость к солям ТМ по большинству тест-реакций. Так, наиболее чувствительными к высоким концентрациям металла оказались проростки огурца.

Результаты исследования показали, что имеет место значительная вариабельность эффектов солей ТМ на разные тест-функции растений капусты, редиса и огурца. В совокупности они дают полную картину негативного или положительного действия ТМ на растения и могут быть использованы как для оценки этих или других факторов, так и для подбора устойчивых к ним видов и сортов растений.

**Ключевые слова:** *биотесты, тяжелые металлы, овощные культуры, устойчивость, токсичность, тест-функция, тест-объект.*

### **Введение**

В последние десятилетия в связи с быстрым развитием промышленности и транспорта во всем мире усиливается загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами в масштабах, которые не свойственны природе, и, как следствие, это сопровождается накоплением их в растениях, животных и человеке [1]. Опасность тяжелых металлов для живых организмов обусловлена тем, что они имеют способность к аккумуляции и приводят к нарушению физиологических функций организма и обмена веществ, что оказывает негативное влияние на рост, развитие и продуктивность, и, как следствие, – изменению структуры экосистем [2]. В то же время большая часть тяжелых металлов, в том числе медь, цинк и кобальт, необходима в микродозах для нормального метаболизма растений [3].

В связи с этим важными являются разработка методики определения токсичности уровня тяжелых металлов [3; 4] и выявление растений, чувствительных к определенным загрязнителям окружающей среды. Для оценки уровня загрязнения окружающей среды поллютантами применяют методы биотестирования с использованием в качестве тест-объектов растений, отличающихся чувствительностью к поллютантам, несложным культивированием и, что особенно важно, имеющих реакцию, сопоставимую

с таковой других тест-объектов [3; 5; 9]. Несмотря на достаточно большое количество растительных тест-систем, вопрос о возможности использования растений для нужд биотестирования остается открытым, так как реакция различных растений отличается на генетическом, клеточном, организменном уровнях [3; 7; 8].

Кроме того, подходы, критерии и методы определения опасности для биоты техногенных загрязнений зависят от качественного и количественного состава поллютантов. Важность таких исследований обусловлена тем, что они, наряду с экспериментами в лабораторных условиях, дают возможность совершенствовать знания о механизмах и закономерностях формирования реакции биологических систем на совместное действие факторов разной природы, способствуют разработке корректных, научно обоснованных критериев и методов оценки опасности факторов окружающей среды, позволяют вырабатывать единые методологические подходы, используемые для защиты окружающей среды [3; 8; 9].

### Материалы и методы

Для исследования влияния тяжелых металлов  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{CoCl}_2$  и  $\text{ZnSO}_4$  на жизнеспособность растений в качестве тест-объектов были использованы семена огурца (*Cucumis sativus L.* сорт Феникс), редиса (*Raphanus sativus L.* сорт Розово-красный с белым кончиком) и капусты (*Brassica oleracea L.* сорт Южанка).

Семена проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге, увлажненной соответствующими растворами солей в диапазоне концентраций  $10^{-3}$ – $10^{-5}$  моль/л. Контроль – дистилированная вода.

Образцы культивировали в климатической камере (SANYO) при световом дне. Средняя температура культивирования 21–23 °C.

Параметрами оценки степени токсичности ТМ служили: энергия прорастания (ЭП), лабораторная всхожесть семян (ЛВ), морфометрические показатели: длина побега и корня, накопление биомассы наземной и подземной частей, коэффициент полярности (КП) – отношение биомассы надземной части к корням. Для оценки токсичности фактора рассчитывали (ИТФ) по разным параметрам для проростков огурца, капусты и редиса по вариантам. Степень фитотоксичности концентрации определяли по тому, насколько величина тест-функции в опыте ниже таковой в контроле по шкале токсичности [11; 12], состоящей из 6 классов: VI ( $> 1,10$ ) – фактор оказывает стимулирующее действие на тест-объект. Величина тест-функции в опыте превышает контрольные значения.

V (0,91–1,10) – фактор не оказывает существенного влияния на развитие тест-объекта. Величина тест-функции находится на уровне контроля. IV (0,71–0,90) – разная степень снижения величины тест-функции в опыте по сравнению с контролем. III (0,50–0,70) – средняя токсичность фактора. II ( $< 0,50$ ) – высокая токсичность фактора. I (сверхвысокая токсичность) – вызывает гибель тест-объекта.

Для получения сопоставимых результатов по итогам тестирования рассчитывали индекс токсичности фактора для каждой тест-функции по формуле:  $\text{ИТФ} = \frac{\text{TФ}_0}{\text{TФ}_K}$ , где  $\text{TФ}_0$  – значение регистрируемого тест-отклика в опыте;  $\text{TФ}_K$  – в контроле. Среднее значение индекса токсичности для каждой концентрации рассчитывали по формуле:  $\text{ИТФ ср.} = (\text{ИТФ}_1 + \text{ИТФ}_2 + \text{ИТФ}_3 + \dots) / n$ , где  $\text{ИТФ}_1, \text{ИТФ}_2, \text{ИТФ}_3$  – индексы токсичности, рассчитанные для каждой тест-функции;  $n$  – количество тест-откликов, за действованных в эксперименте для конкретного уровня  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{CoCl}_2$ ,  $\text{ZnSO}_4$  в среде.

Все полученные данные статистически обрабатывались в программе Microsoft Excel.

### Результаты и их обсуждение

Результаты исследований показали, что степень токсичности растворов тяжелых металлов (ТМ) зависит от выбора тест-параметра и растения, относящихся к разным семействам. Заметно различаются по реакции на воздействие ТМ всхожесть и энергия прорастания семян. Так, при увеличении концентрации меди, цинка и кобальта с  $10^{-5}$  до  $10^{-3}$  М энергия прорастания и всхожесть семян почти всех изученных культур снижались в среднем на 10–15 % относительно контроля (табл. 1). Наиболее токсичное действиеоказал раствор  $10^{-3}$  М, при котором энергия прорастания семян огурца снизилась до 46 % относительно контроля, а всхожесть – на 15 %. Для редиса – 75 и 50 % и капусты – 93 и 25 % к контролю соответственно.

Наиболее показательным тест-параметром оказалась энергия прорастания семян, которая существенно менялась в зависимости от концентрации растворов. Так, ЭП огурца в растворах  $10^{-3}$ – $10^{-5}$  М  $\text{CuSO}_4$  составила 30; 70; 85 %, а в контроле – 65 %. У редиса эти показатели соответствуют – 20; 30; 45 %, капусты – 20; 40; 30 %. Наименее токсичным оказался раствор  $\text{ZnSO}_4$ , в котором ЭП семян огурца, редиса и капусты составила – 40; 70; 70, 20; 45; 40 и 20; 35; 50 % соответственно (табл. 1).

**Таблица 1. Влияние солей тяжелых металлов на лабораторную всхожесть (ЛВ, %) и энергию прорастания (ЭП, %) семян огурца, редиса и капусты**

Варианты, М		Огурцы		Редис		Капуста	
		ЛВ	ЭП	ЛВ	ЭП	ЛВ	ЭП
$\text{H}_2\text{O}$		95	65	60	40	75	40
$\text{CuSO}_4$	$10^{-3}$	60	30	45	20	70	20
	$10^{-4}$	90	70	55	30	85	40
	$10^{-5}$	95	85	65	45	70	30
$\text{ZnSO}_4$	$10^{-3}$	80	40	45	20	70	20
	$10^{-4}$	95	70	45	45	65	35
	$10^{-5}$	90	70	60	40	82	50
$\text{CoCl}_2$	$10^{-3}$	70	35	35	20	55	20
	$10^{-4}$	95	45	60	35	70	50
	$10^{-5}$	95	55	55	35	65	55

В растворах  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{ZnSO}_4$  в концентрациях  $10^{-5}$  М энергия прорастания семян была выше, чем в контроле и составляла 85 и 70 % для огурца, в контроле – 60 %, для редиса – 45 и 40 %, в контроле – 40 %. Однако в вариантах с  $\text{CoCl}_2$  эти показатели не превышали контрольные значения (табл. 1). Наиболее низкая энергия прорастания отмечена для семян капусты по вариантам.

**Таблица 2. Жизнеспособность проростков на 10-е сутки культивирования**

Варианты, М	огурцы		редис		капуста	
	длина, мм	КП	длина, мм	КП	длина, мм	КП
					<i> побег</i> корень	
$\text{H}_2\text{O}$	$31,0 \pm 2,0$	3,2	$36,0 \pm 0,3$	2,9	$13,6 \pm 2,1$	2,0
	$68,0 \pm 7,0$		$130,0 \pm 9,0$		$46,1 \pm 5,5$	

$\text{CuSO}_4$	$10^{-3}$	<u>2,0±2,1</u> 5,4±1,8 <u>22,0±2,0</u> 20,8±6,0 <u>27,0±2,0</u> 84,0±12,0	0,5	<u>1,8±3,1</u> 4,8±2,0 <u>16,0±0,2</u> 8,7±2,0 <u>38,0±0,4</u> 104,0±10,0	8,7	<u>7,8±1,6</u> 5,6±0,8 <u>11,8±2,3</u> 8,8±1,2 <u>10,7±1,8</u> 46,4±4,5	6,0
	$10^{-4}$		6,3		7,1		2,8
	$10^{-5}$		2,7		3,5		3,1
$\text{ZnSO}_4$	$10^{-3}$	<u>13,0±2,8</u> 18,0±5,4 <u>20,0±4,0</u> 33,0±8,0 <u>28,0±2,0</u> 108,0±7,0	6,0	<u>15,0±1,6</u> 35,6±5,4 <u>29,0±0,3</u> 69,0±7,0 <u>32,0±0,3</u> 143,0±17,0	4,0	<u>8,0±0,4</u> 4,7±0,3 <u>9,5±0,6</u> 48,8±4,1 <u>9,4±0,7</u> 53,7±8,2	4,3
	$10^{-4}$		5,8		3,7		1,8
	$10^{-5}$		2,8		4,1		2,0
$\text{CoCl}_2$	$10^{-3}$	<u>14,0±2,0</u> 21,0±6,0 <u>24,0±2,0</u> 27,0±6,0 <u>20,0±2,0</u> 57,0±8,0	8,4	<u>10,0±1,3</u> 40,0±5,2 <u>30,0±0,3</u> 40,0±5,0 <u>36,0±0,4</u> 147,0±13,0	4,3	<u>7,4±5,3</u> 8,7±3,1 <u>10,7±2,6</u> 12,9±2,3 <u>22,6±1,7</u> 45,5±9,8	5,0
	$10^{-4}$		6,3		5,3		3,6
	$10^{-5}$		2,3		4,3		2,7

Дальнейшее культивирование проростков в растворах ТМ вызывало ингибиравание процессов роста при увеличении концентрации ТМ. Наиболее отрицательный эффект на прирост побегов и корней оказали ионы меди в вариантах  $10^{-3}$  М. Так, прирост длины побега и корня у огурца составил – 2,0 и 5,4 мм, в контроле – 31 и 68 мм соответственно. Прирост длины побегов и корней в растворах  $\text{ZnSO}_4$  и  $\text{CoCl}_2$  несколько выше и составил – 13 и 18 мм; 14 и 21 мм соответственно (табл. 2).

Тенденция уменьшения длины побегов и корней по мере увеличения концентрации ТМ отмечена и для проростков редиса и капусты. Так, в растворах  $10^{-3}$  М  $\text{CuSO}_4$  прирост побега и корня составил – 1,8 и 4,8 мм,  $10^{-4}$  М – 16 и 8,7 мм, а  $10^{-5}$  М – 38 и 104 мм соответственно. В вариантах с  $\text{ZnSO}_4$  эти показатели были выше, но в растворах  $10^{-3}$  и  $10^{-5}$  не превышали контрольных значений и составили 15 и 35 мм 29 и 69 мм соответственно.

Наиболее чувствительным к действию ТМ оказался процесс корнеобразования. Так, у капусты в контроле длина корня составила 46,1 мм. В растворах  $\text{ZnSO}_4$  эти показатели соответствовали 53,7; 48,8 и 4,7 мм. Для проростков огурца  $10^{-5}$ – $10^{-3}$  М  $\text{CuSO}_4$  – 84; 20,8 и 5,4 мм, в растворах  $\text{ZnSO}_4$  – 108; 33 и 18 мм соответственно. Та же тенденция сохраняется и в вариантах с  $\text{CoCl}_2$  (табл. 2). Ответную реакцию корней на увеличение концентрации ТМ можно считать универсальной.

Низкие концентрации ( $10^{-5}$  М) ионов меди, цинка и кобальта оказали стимулирующее действие на морфометрические параметры проростков. Однако реакция изученных тест-объектов не была однозначной. Так, в растворах  $\text{CuSO}_4$  прирост корней огурца превышал контрольные значения, тогда как у редиса и капусты показатели оказались ниже или в пределах контроля (табл. 2). В растворах  $\text{CoCl}_2$  прирост выше контроля отмечен у редиса и незначительный – у капусты. Наиболее благоприятным оказался раствор  $\text{ZnSO}_4$ , в котором у всех тест-объектов показатели выше контроля.

Важным показателем, характеризующим рост растений и его органов, является накопление биомассы (рис. 1). Прирост биомассы побегов и корней в растворах высоких концентраций ТМ угнетается по вариантам. Наиболее ингибирующее действие ТМ оказывают на прирост корней. Так, у проростков редиса в растворах  $10^{-3}$  М меди, цинка, кобальта он составил – 12; 58 и 54 % к контролю соответственно. В этих же вариантах в растворе  $10^{-5}$  М – 104; 73 и 73 % соответственно. Прирост же биомассы побега в  $10^{-3}$  М  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{ZnSO}_4$  и  $\text{CoCl}_2$  – 34; 79; и 79 %, в  $10^{-5}$  М – 124; 103 и 107 % к контролю соответственно.

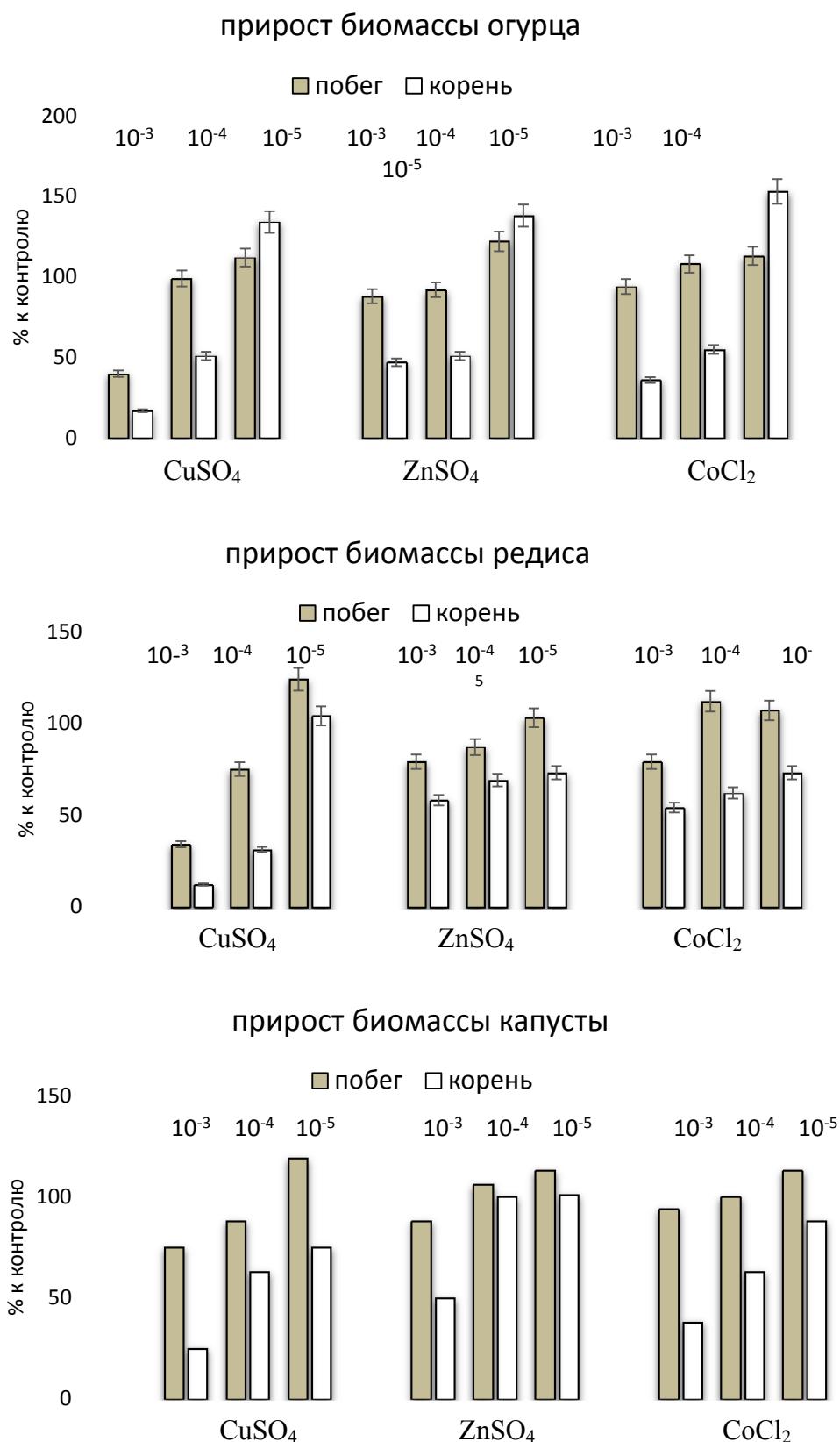


Рис. 1. Прирост сырой биомассы (% к контролю) побегов и корней проростков огурца, редиса и капусты на 10 суток культивирования по вариантам ( $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  M)

Из изученных культур по параметрам прироста биомассы наиболее устойчивыми оказались проростки огурца. Так, прирост биомассы корней в растворах  $10^{-3}$  М  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{ZnSO}_4$  и  $\text{CoCl}_2$  составил 17; 47 и 36 % к контролю, а побегов – 40; 88 и 94 % соответственно. В растворах же  $10^{-5}$  М прирост корней – 134; 138 и 153 %, побегов – 112; 122 и 113 % соответственно. Наиболее чувствительными по этому параметру оказались проростки капусты и редиса (рис. 1).

Тест-реакцией у растений на стрессовые факторы является коэффициент полярности (КП) – соотношение биомассы надземной части к биомассе корней [6; 13]. Так, КП в растворе  $10^{-4}$  М  $\text{CuSO}_4$  у огурца составил 6,3; у редиса – 7,1; капусты – 2,8, тогда как в контроле – 3,2; 2,9 и 2,0 соответственно. В растворах низких концентраций ( $10^{-5}$  М) КП составил для вышеперечисленных тест-объектов – 2,7; 3,5 и 3,1 соответственно. В растворах  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  М  $\text{ZnSO}_4$  и  $\text{CoCl}_2$  КП у огурца соответствовал 6,0; 5,8; 2,8 и 8,4; 6,3; 2,3, что показывает менее выраженное токсическое действие этих растворов. Низкие величины КП свидетельствуют об уравновешенности проростков (табл. 2).

Для получения сопоставимых между собой результатов, полученных с помощью разных методических подходов, нами были рассчитаны индекс токсичности (ИТФ) на основе всех зарегистрированных тест-реакций и средняя ИТФ по всем параметрам (табл. 3). Метод биотестирования, основанный на показателях изменения длины побега и корня проростков, оказался высокочувствительным. Так, в  $10^{-3}$  М  $\text{CuSO}_4$  у огурца ИТФ по изменению длины побега и корня составил 0,06 и 0,08, у редиса – 0,05 и 0,37, у капусты – 0,57 и 0,12. По шкале токсичности это соответствует I классу (< 0,50) – сверхвысокой токсичности, вызывающей гибель тест-объекта, тогда как в  $10^{-5}$  М эти показатели составляют у огурца – 0,87 и 1,24; у редиса – 1,06 и 0,8; у капусты – 0,79 и 1,0, что соответствует V классу (0,91–1,10) – норме и IV классу (0,71–0,90) – низкой токсичности фактора. ИТФ по параметрам прироста биомассы также отличается и по тест-объектам, и по концентрациям, и типам ТМ. В растворах  $10^{-3}$  М  $\text{CuSO}_4$  – 0,05 и 0,32 у огурца; 0,34 и 0,12 у редиса; 0,79 и 0,54 у капусты, тогда как в  $\text{ZnSO}_4$  – 0,88 и 0,47 у огурца; 0,79 и 0,58 у редиса; 1,06 и 0,50 у капусты, что свидетельствует о высокой токсичности ионов меди и низкой – ионов цинка. По тест-реакции энергии прорастания отмечена та же закономерность. ИТФ  $10^{-3}$  М  $\text{CuSO}_4$  – 0,46 у огурца; 0,50 у редиса и 0,50 у капусты, тогда как ИТФ  $10^{-5}$  М  $\text{CuSO}_4$  – 1,31 у огурца; 1,13 у редиса; 0,75 у капусты, что соответствует V классу (0,91–1,10) – норме и VI классу (>1,10) – стимулирующего действия фактора на тест-объект.

Видно, что ИТФ по разным тест-реакциям отличается в зависимости от тест-объекта, концентрации и вида ТМ (табл. 3). Поэтому для составления полной картины о степени токсичности среды следует использовать комплекс показателей тест-реакций. Средняя величина ИТФ по всем тест-реакциям огурца в вариантах с низкой концентрацией  $10^{-5}$  М  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{ZnSO}_4$  и  $\text{CoCl}_2$  соответствует – 1,15; 1,19; 1,0. Эти показатели по шкале токсичности лежат в пределах VI класса (> 1,10) – фактора, оказывающего стимулирующее действие на тест-объект. Для растений редиса в этих же вариантах – 1,06; 0,98; 0,96, это соответствует V классу (0,91–1,10) – норме. То же и для капусты (табл. 3). Наиболее информативными оказались концентрации  $10^{-4}$  М  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{ZnSO}_4$  и  $\text{CoCl}_2$ . Так, ИТФ ср. для огурца соответствует – 0,76; 0,78; 0,75; для редиса – 0,54; 0,80; 0,82 и для капусты – 0,78; 0,90; 0,84. Эти показатели лежат в пределах IV класса (0,71–0,90) – низкой токсичности и III класса (0,50–0,70) – средней токсичности фактора. По показателям ИТФ ср. наиболее устойчивыми к действию солей ТМ оказались капуста → редис → огурец.

**Таблица 3. Индекс токсичности фактора (ИТФ) для растений по разным параметрам**

Варианты, М	Длина		Биомасса		ЛВ	ЭП	ИТФ средняя	
	побег	корень	побег	корень				
<b>огурцы</b>								
CuSO <sub>4</sub>	10 <sup>-3</sup>	0,06	0,08	0,05	0,32	0,63	0,46	0,27
	10 <sup>-4</sup>	0,71	0,31	0,99	0,51	0,95	1,08	0,76
	10 <sup>-5</sup>	0,87	1,24	1,12	1,34	1,0	1,31	1,15
ZnSO <sub>4</sub>	10 <sup>-3</sup>	0,42	0,25	0,88	0,47	0,84	0,62	0,58
	10 <sup>-4</sup>	0,65	0,50	0,92	0,51	1,0	1,08	0,78
	10 <sup>-5</sup>	0,90	1,59	1,22	1,38	0,95	1,08	1,19
CoCl <sub>2</sub>	10 <sup>-3</sup>	0,45	0,31	0,94	0,36	0,74	0,54	0,56
	10 <sup>-4</sup>	0,77	0,40	1,08	0,55	1,0	0,69	0,75
	10 <sup>-5</sup>	0,65	0,84	1,13	1,53	1,0	0,85	1,0
<b>редис</b>								
CuSO <sub>4</sub>	10 <sup>-3</sup>	0,05	0,37	0,34	0,12	0,75	0,50	0,36
	10 <sup>-4</sup>	0,44	0,07	0,75	0,31	0,92	0,75	0,54
	10 <sup>-5</sup>	1,06	0,8	1,24	1,04	1,08	1,13	1,06
ZnSO <sub>4</sub>	10 <sup>-3</sup>	0,42	0,27	0,79	0,58	0,75	0,50	0,55
	10 <sup>-4</sup>	0,81	0,53	0,87	0,69	0,75	1,13	0,80
	10 <sup>-5</sup>	0,89	1,10	1,03	0,73	1,0	1,10	0,98
CoCl <sub>2</sub>	10 <sup>-3</sup>	0,28	0,31	0,79	0,54	0,58	0,50	0,50
	10 <sup>-4</sup>	0,83	0,45	1,12	0,62	1,0	0,88	0,82
	10 <sup>-5</sup>	1,0	1,13	1,09	0,73	0,92	0,88	0,96
<b>капуста</b>								
CuSO <sub>4</sub>	10 <sup>-3</sup>	0,57	0,12	0,75	0,25	0,93	0,50	0,52
	10 <sup>-4</sup>	0,87	0,19	0,88	0,63	1,13	1,0	0,78
	10 <sup>-5</sup>	0,79	1,0	1,19	0,75	0,93	0,75	0,91
ZnSO <sub>4</sub>	10 <sup>-3</sup>	0,59	0,10	1,06	0,50	0,93	0,5	0,61
	10 <sup>-4</sup>	0,70	1,06	0,88	1,00	0,87	0,88	0,90
	10 <sup>-5</sup>	0,69	1,16	1,13	1,13	1,09	1,25	1,10
CoCl <sub>2</sub>	10 <sup>-3</sup>	0,54	0,19	0,94	0,38	0,73	0,50	0,55
	10 <sup>-4</sup>	0,79	0,28	1,13	0,63	0,93	1,25	0,84
	10 <sup>-5</sup>	1,67	0,99	1,19	0,88	0,87	1,38	1,16

Проведенные исследования по выявлению различных тест-реакций на разные типы и диапазоны концентраций ТМ, при которых они оказывают стимулирующее или угнетающее действие на процесс формирования проростков растений, свидетельствуют о возможности использования метода биотестирования для определения пригодности конкретных растений для оценки уровня загрязненности тяжелыми металлами различных сред (почв, воды, и др.).

### Заключение

Лабораторная оценка воздействия тяжелых металлов на посевные качества семян и биометрические характеристики проростков огурца, редиса и капусты показала

их негативное влияние в повышенных дозах и стимулирующее действие в низких концентрациях.

Пороговая чувствительность семян и проростков овощных культур к действию  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{ZnSO}_4$  и  $\text{CoCl}_2$  отличается. Более устойчивым к действию солей тяжелых металлов оказался процесс прорастания семян. Однако повышенные концентрации подавляли и его. Устойчивость семян к тяжелым металлам связывают с аккумуляцией их в семенной кожуре, что предотвращает токсический эффект на зародыш [2]. Овощные культуры имели разную устойчивость к солям тяжелых металлов по большинству показателей. Так, наиболее чувствительными к высоким концентрациям металла оказались проростки огурца по сравнению с растениями редиса и капусты, тогда как в низких концентрациях по разным тест-реакциям у всех тест-объектов значения несколько превышали контрольные показатели (табл. 1, 2, 3; рис. 1). Отмечена неодинаковая реакция проростков огурца, редиса, капусты на различные типы солей ТМ: наиболее токсичный эффект выражен в вариантах с медью и наименее – с цинком. Также отличается реакция отдельных органов растения на воздействие исследуемых солей. Наибольшему ингибированию подверглась корневая система (главный корень и боковые) как первичный барьер на пути транспорта ионов в растения. Не столь значительно подавление роста побегов, даже в вариантах повышенных концентраций.

Таким образом, проведенные исследования показали, что имеет место значительная вариабельность эффектов солей тяжелых металлов на растения капусты, редиса и огурца. Тем не менее, использованные методы в совокупности дают полную картину негативного или положительного действия солей ТМ и могут быть использованы как для оценки чувствительности приведенных тест-параметров, так и для подбора устойчивых видов и сортов растений.

### Литература

1. Теплая Г.А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды (обзор литературы) // Астраханский вестник экологического образования. – 2013. – № 1 (23). – С. 182–192.
2. Титов А.Ф., Казнина Н.М., Таланова В.В. Тяжелые металлы и растения. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2014. – 194 с.
3. Биодиагностика и оценка качества природной среды: подходы, методы, критерии и эталоны сравнения в экотоксикологии // Материалы Международного симпозиума (МГУ, 25–28 октября 2016 г.). – М.: ГЕОС, 2016. – 434 с.
4. Елизарьева Е.Н., Янбаев Ю.А., Редькина Н.Н. Влияние соединений некоторых тяжелых металлов на процесс формирования проростков редиса // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – № 6. – С. 252–259. – Режим доступа: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=27181>
5. Рамазанова П.Б. Биотести для оценки засоления среды на растения // Тез. докл. 6-го съезда ОФР России. – Сыктывкар, 2007. – С. 340–341.
6. Рамазанова П.Б. Гуруева К.М. Влияние солевого стресса на рост и ризогенез проростков различных сортов огурца и редиса // Вестник Дагестанского государственного университета. – 2009. – Вып. 1. – С. 68–71.
7. Лисовицкая О.В., Терехова В.А. Фитотестирование: основные подходы, проблемы лабораторного метода и современные решения // Доклады по экологическому почвоведению / Институт экологического почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва). – 2010. – Т. 1, № 13. – С. 1–18.
8. Алиева З.М. Эколо-физиологические аспекты воспроизведения и устойчивости к абиотическим стрессорам ресурсных видов растений Дагестана: специальность 03.02.14 – «Биологические науки»; дис. ... д. биол. наук / Горский государственный аграрный университет. – Владикавказ, 2017. – 361 с.

9. Шунелько Е.В., Федорова А.И. Экологическая оценка городских почв и выявление уровня токсичности тяжелых металлов методом биотестирования // Вестник Воронежского госуниверситета. География и экология. – 2000. – № 4. – С. 77–83.
10. Прусаченко А.В. Проценко Е.П., Миронов С.Ю., Клеева Н.А., Гриненко И.А., Галяс А.В. Фитотестирование в оценке токсичности городских почв // Экология урбанизированных территорий. – М.: Издательский дом "Камертон". – 2010. – № 2. – С. 105–109.
11. Кабиров Р.Р. Сагитова А.Р., Суханова Н.В. Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории // Экология / Уральское отделение РАН (Екатеринбург). – 1997. – № 6. – С. 408–411.
12. Багдасарян А.С. Биотестирование почв техногенных зон городских территорий с использованием растительных организмов: специальность 03.00.16; автореф. дис. ... к. биол. н.; Ставропольский государственный университет. – Ставрополь, 2005. – 25 с.
13. Юсуфов А.Г., Алиева З.М. Пороговая чувствительность к стрессам индивидуума и органов растений // Проблемы развития АПК региона. – 2014. – № 2 (14). – С. 43–47.

*Поступила в редакцию 11 сентября 2021 г.*

UDC 557.118.084

DOI: 10.21779/2542-0321-2021-36-4-117-125

## **The Use of Vegetable Crops in Biotesting the Effects of Heavy Metals**

**P.B. Ramazanova**

*Dagestan State University; Russia, 367000, Makhachkala, M. Gadzhiev st., 43a; ramazanova\_p@mail.ru*

The article examines the effectiveness of using vegetable crops (cucumber, radish, cabbage) as test objects for diagnosing the effect of various concentrations (10<sup>-3</sup>-10<sup>-5</sup> M) of heavy metal salts (CuZO<sub>4</sub>, CoCl<sub>2</sub> and ZnSO<sub>4</sub>). For different test reactions: germination, seed germination energy, growth of morphometric indicators (length and biomass of shoots and roots), as well as for the factor toxicity index (ITF), dependence on the type and concentration of solutions of heavy metal salts (TM) and on the type of plant was established.

It was noted that high concentrations of salts suppressed the growth processes of all test objects, low concentrations had stimulating effects. The most toxic effect is expressed in variants with copper and the least - with zinc. The root system was subjected to greater inhibition. The process of seed germination turned out to be more resistant to the action of heavy metal salts, however, increased concentrations suppressed this process. The test objects used had different resistance to TM salts in most test reactions. Thus, cucumber seedlings turned out to be the most sensitive to high concentrations of metal.

The results of the study showed that there is a significant variability in the effects of TM salts on different test functions of cabbage, radish and cucumber plants. Taken together, they give a complete picture of the negative or positive effect of TM on plants and can be used both to assess these or other factors and to select plant species and varieties resistant to them.

**Keywords:** *biotests, heavy metals, vegetable crops, resistance, toxicity, test function, test object.*

*Received 11 September 2021*