УДК 581.142
МРНТИ 34.31.27

КАДМИЙ ЖӘНЕ ЭПИБРАССИНОЛИДТІҢ ЖУСАННЫҢ ЕКІ ТҮРІНІҢ ТҰҚЫМДАРЫНЫҢ ӨНГІШТІГІ МЕН ӨСУ КӨРСЕТКІШТЕРІНЕ БІРЛЕСКЕН ӘСЕРІ

Бабенко О.Н.[1], Сафронова Н.М.[1]
[1]Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті, Көкшетау, Қазақстан

Аңдатпа

Мақалада кадмий және эпибрассинолидтің жусанның екі түрінің тұқымдарының өнгіштігі мен өсу көрсеткіштеріне бірлескен әсерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Олар: *Artemisia absinthium* L. және *Artemisia vulgaris* L. Зерттеу жұмыстары зертханалық жағдайда жүргізілді. Кадмий көзі ретінде концентрациясы 0,01 мМоль-ден 0,5 мМоль-ге дейін кадмий хлоридінің тұзы, ал эпибрассинолид ретінде – Эпин-Экстра препараты пайдаланылды. Зерттеулер нәтижесінде кадмийдің дозасын 0,01-ден 0,5 ммольге дейін көбейткенде эпибрассинолидтің жусан тұқымдарының өнуіне оң әсері төмендегені анықталды. Бұл жағдайда Cd-дің әртүрлі дозаларында эпибрассинолидтің *A. absinthium* L. және *A. vulgaris* L. тұқымдарының өнуіне әсерінде айырмашылықтары көрсетілген. Эпибрассинолидтің жусанның екі түрінің де өскіндерінің өсу көрсеткіштеріне оң әсері анықталмаған. *A. vulgaris* L. өсімдігінің *A. absinthium* L-ге қарағандағы Cd-дің улы әсеріне төзімділігі жоғары екендігіне болжам жасалды.

Түйінді сөздер: кадмий, эпибрассинолид, бірлескен әсері, тұқымның өнуі, Ащы жусан (*A. Absinthium* L.), Ермен (*A. vulgaris* L.).

СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ КАДМИЯ И ЭПИБРАССИНОЛИДА НА ВСХОЖЕСТЬ И РОСТОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СЕМЯН ДВУХ ВИДОВ ПОЛЫНЕЙ

Бабенко О.Н.[1], Сафронова Н.М.[1]
[1] Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова, Кокшетау, Казахстан

Аннотация

В статье приведены результаты исследования совместного действия кадмия и эпибрассинолида на всхожесть и ростовые показатели двух видов полыней: Полынь горькая (*A. absinthium* L.) и Полынь обыкновенная (*A. vulgaris* L.). Исследования проводились в лабораторных условиях. В качестве источника кадмия использовалась соль - хлорид кадмия – в концентрациях от 0,01 мМоль до 0,5 мМоль, а эпибрассинолида – препарат Эпин-Экстра. В результате исследований было выявлено снижение положительного действия эпибрассинолида на всхожесть семян полыни с увеличением дозы кадмия от 0,01 до 0,5 мМоль. При этом были показаны различия в воздействии эпибрассинолида на всхожесть семян у *A. absinthium* L. и *A. vulgaris* L. на разных дозах Cd. Не выявлено положительного протекторного действия эпибрассинолида на ростовые показатели проростков обоих видов полыней. Сделано предположение о том, что *A. vulgaris* L. более устойчива к токсическому воздействию Cd, чем *A. absinthium* L.

Ключевые слова: кадмий, эпибрассинолид, совместное действие, всхожесть семян, Полынь горькая (*A. Absinthium* L.), Полынь обыкновенная (*A. vulgaris L.*).

THE COMBINED EFFECT OF CADMIUM AND EPIBRASSINOLIDE ON THE GERMINATION AND GROWTH INDICATORS OF SEEDS OF TWO TYPES OF WORMWOOD

O. Babenko[1], N. Safronova [1]
[1]Sh. Ualikhanov Kokshetau University, Kokshetau, Kazakhstan

Abstract

The article presents the results of a research of the combined effect of cadmium and epibrassinolide on the germination and growth parameters of two types of wormwood: *Artemisia absinthium* L. and *Artemisia vulgaris* L. The research was carried out under laboratory conditions. As a source of cadmium, a salt – cadmium chloride – was used in concentrations from 0.01 mMol to 0.5 mMol, and source of epibrassinolide – the preparation Epin-Extra. As a result of research, a decrease in the positive effect of epibrassinolide on the germination of wormwood seeds was revealed with an increase in the cadmium dose from 0.01 to 0.5 mMol. Differences in the effect of epibrassinolide on seed germination in *A. absinthium* L. and *A. vulgaris* L. at different Cd doses were shown. There was no positive protective effect of epibrassinolide on the growth parameters of seedlings of both types of wormwood. It is assumed that *A. vulgaris* L. is more resistant to Cd toxicity than *A. absinthium* L.

Key words: cadmium, epibrassinolide, combined effect, seed germination, *Artemisia absinthium* L., *Artemisia vulgaris* L.

Введение

Кадмий (Cd) один из самых высокотоксичных элементов. По данным рейтинга Агентства по регистрации токсичных веществ и болезней при Министерстве здравоохранения и социальных служб США Cd является седьмым по токсичности тяжелым металлом (ТМ) [1; 2]. Благодаря своим физическим и химическим свойствам, Cd нашел очень широкое применение в технике и промышленности: антикоррозионное покрытие металлов; производство и эксплуатация никель-кадмиевых электрических аккумуляторов и полупроводниковых элементов; производство пластмасс и некоторых красителей (пигментов); переработка полиметаллических руд и т.д. [3]. Основными путями поступления Cd в окружающую среду считаются отходы предприятий металлургии, сточные воды от гальванических и ряда других производств, где Cd задействован в технологическом процессе, а также при использовании фосфатных удобрений и сжигании нефти [4; 5].

Согласно данным Департамента экологического мониторинга Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан на 2019 год превышения ПДК по Cd в городах республики выявлены на границах санитарно-защитных зон крупных промышленных предприятий и в районах крупных автомагистралей [6; 7]. Данная ситуация в основном характерна для крупных и промышленных городов, какими являются Астана, Алматы, Атырау, Актау, Караганда, Усть-Каменогорск, Павлодар, Уральск, Балкаш, Тараз, Шымкент, Жезказган [3; 8-10]. Несмотря на то, что в городе Кокшетау нет промышленных предприятий, использующих Cd в производстве, и содержание этого ТМ в почве по данным Курманбаевой с соавторами [11] меньше ПДК, в городе есть многочисленный частный сектор, использующий угольное отопление, и городские котельные, работающие и на угле, и на мазуте. Известно, что многие угли могут содержать Cd в виде примеси [12-16], он также содержится в мазуте и дизельном топливе [17]. При их сжигании Cd способен переходить в газовую фазу и

выбрасываться с дымовыми газами в атмосферу, при этом существенная часть его оседает на почву. Зола, образующаяся при сжигании углей, также содержит Cd, причем зольный кларк данного элемента-примеси больше, чем кларк этого элемента в осадочных породах [13]. Возможно, этим объясняются показатели загрязнения Cd выше фоновых в районах таких предприятий как РК-2, ТОО Механизация, ТОО Хладокомбинат, Кокшетау СУ Арнасы [11].

Накопление Cd в биотических системах в результате человеческой деятельности становится серьезной экологической проблемой. Применение осадка сточных вод, городских отходов и Cd-содержащих удобрений также приводит к увеличению содержания Cd в почвах [18]. Cd, попавший в почву из любых вышеуказанных источников, будет оставаться в ней и ее отложениях в течение нескольких десятилетий, так как период его полувыведения из почвы один из самых больших (около 1100 лет) [19; 20]. Растения постепенно поглощают этот металл, который накапливается в них и концентрируется по всей пищевой цепочке, достигая в конечном итоге человеческого организма и приводя к серьезным проблемам со здоровьем для человека. Наличие избыточного количества Cd в почве вызывает у растений многие токсические симптомы, такие как снижение всхожести семян, роста, особенно корней [21], нарушения минерального питания и углеводного обмена [22], сбои в работе ферментативных систем клеток, окислительный стресс, дефицит питательных веществ в растениях [23] и т.д. Содержание Cd в почве на уровне 5 мг/кг наполовину снижает продуктивность сельскохозяйственных культур [19; 24].

Известно, что виды рода Полынь (*Artemisia* L.) часто широко распространены на загрязненных почвах и, по-видимому, способны поглощать в больших количествах и накапливать различные ТМ, в том числе и Cd, в токсичных для человека и животных количествах [25-29]. Это свойство, с одной стороны, позволяет их рассматривать как объекты фиторемедиации [29] и биоиндикации [30], а с другой стороны, вызывает опасения, поскольку многие виды полыней используются как лекарственные растения [31; 32]. Так, по данным группы исследователей из Пакистана [31], из 17 изученных видов рода Полынь (*Artemisia* L.), встречающихся у них на родине, только один накапливал Cd в количествах ниже токсичного уровня.

На территории города Кокшетау на заброшенных территориях и вблизи промышленных предприятий часто доминируют два вида полыни: Полынь горькая (*Artemisia absinthium* L.) и П. обыкновенная (*A. vulgaris* L.). Как показали ранее проведенные исследования, где анализировалось накопление ТМ растениями *A. absinthium* L., собранными в различных зонах города, эти растения накапливали Cd, мышьяк (As), и свинец (Pb) в высоких концентрациях [11]. По литературным данным, для *A. vulgaris* L. также была отмечена способность накапливать Cd [29; 31; 33], Pb [31] и медь (Cu) [29; 31].

В современной научной литературе рассматриваются различные методы снижения токсичности ТМ для растений. В частности, исследуется эффективность обработки растений брассиностероидами (БС). Известно, что эти фитогормоны способны повышать толерантность растений к стрессовым абиотическим воздействиям [34-40] и устойчивость к болезням [41-43]. Эпин-Экстра – синтетический препарат и аналог натуральных БС – универсальный стимулятор роста растений и адаптоген, применение которого снижает воздействие на растения повышенного содержания в почве ТМ [44]. Имеющиеся немногочисленные данные исследований [45-47] в качестве основной причины уменьшения проявления токсического действия ТМ при обработке БС называют уменьшение их кумуляции в

органах растения. Однако, на сегодняшний день опубликовано ограниченное количество результатов исследований [48-51], непосредственно касающихся применения БС и синтетических препаратов на их основе с целью защиты растений в условиях загрязнения среды ТМ и, в частности, Cd.

Методы исследования

Объектами исследований послужили два вида рода Полынь (*Artemisia* L.): Полынь горькая (*A. absinthium* L.) и Полынь обыкновенная (*A. vulgaris* L.). Оба этих вида относятся к подроду *Artemisia* и порядку *Absinthium*. Семена данных видов полыни были собраны на территории города Кокшетау в октябре 2018 года.

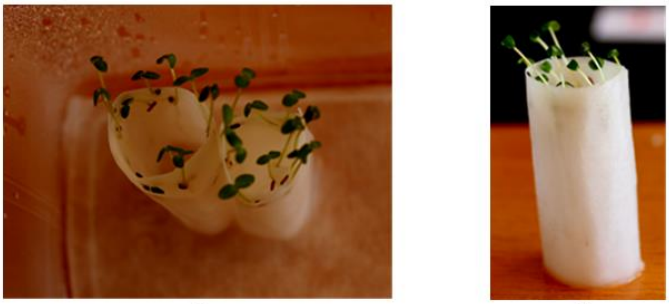
Структура исследования включала в себя следующие этапы:

1. Серия лабораторных экспериментов для определения вида соли Cd и установления ее репрезентативных концентраций, соответствующих токсическому действию низких, средних и высоких доз Cd на полынь.

2. Серия лабораторных экспериментов в чашках Петри.

3. Серия лабораторных экспериментов в рулонной культуре.

Предварительные эксперименты показали, что наиболее подходящим видом соли служит хлорид кадмия ($CdCl_2$), а наиболее репрезентативными концентрациями, соответствующими токсическому действию низких, средних и высоких доз Cd на полынь являются следующие концентрации: 0,01 мМоль, 0,1 мМоль и 0,5 мМоль. В связи с этим, для дальнейших экспериментов мы использовали вышеуказанный вид соли Cd и ее соответствующие концентрации. В начале каждого эксперимента поверхностность семян полыни стерилизовалась 10% раствором гипохлорита натрия (NaClO) в течение 15 мин с последующей многократной промывкой дистиллированной водой [52]. В качестве источника эпибрассинолида (ЭБЛ) использовали препарат Эпин-Экстра. Обработку семян Эпин-Экстра проводили перед посевом согласно инструкции, указанной производителем, для мелких семян. Семена замачивались в течение 2 ч в растворе 2,4-ЭБЛ (5 $мгл^{-1}$). В контрольном варианте семена замачивались на 2 часа в дистиллированной воде. С целью определения совместного действия Cd и ЭБЛ на всхожесть семян двух видов полыней проводилась серия экспериментов в чашках Петри. При этом, семена проращивались в чашках Петри на фильтровальной бумаге в температуро-контролируемой растильне при соблюдении следующих условий: длина дня – 16 часов света/ 8 часов темноты, температура $+25^0$C, относительная влажность 75-85% и освещенность 100 мкЕ $м^{-2}$ $с^{-1}$. Чашки Петри опытных вариантов содержали 5 мл $CdCl_2$ в концентрациях 0,01 ммоль, 0,1 ммоль и 0,5 ммоль, а контрольных вариантов – 5 мл дистиллированной воды. На 7 день проращивания определялась всхожесть семян. Для определения совместного действие Cd и ЭБЛ на длину корней и высоту побегов проростков двух видов полыней, растения выращивались в рулонной культуре. При этом семена помещались на фильтровальную бумагу, свернутую в рулон высотой 5 см и погруженную нижней частью в исследуемый (тестовый) раствор, как показано на рисунке 1. Далее рулоны помещались в пластиковые контейнеры и выдерживались при тех же условиях, что и чашки Петри.



a b

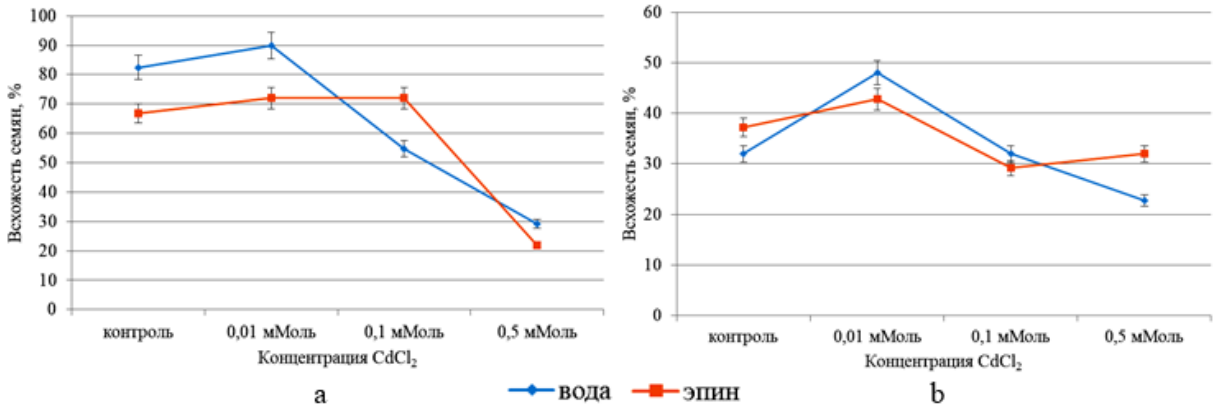
a – рулоны, погруженные нижней частью в исследуемый (тестовый) раствор в пластиковом контейнере; b – проростки полыни, выращенные методом рулонной культуры

Рисунок 1 – Проращивание семян полыни методом рулонной культуры

Результаты экспериментов обрабатывались статистически на ПК с помощью программы GraphPrism 6.

Результаты исследования

Как показали наши эксперименты, всхожесть семян Полыни горькой (*A. absinthium* L.) зависела как от обработки семян 2,4-ЭБЛ, так и от внесения в среду Cd (рисунок 2.a). В отсутствии Cd всхожесть семян *A. absinthium* L., обработанных ЭБЛ, снижалась на 15,7%. При концентрации Cd – 0,01 мМоль всхожесть *A. absinthium* L. опытного варианта была ниже по сравнению с контролем на 18%. В то же время при увеличении концентрации ТМ в среде в 10 раз (0,1 мМоль $CdCl_2$), показатели всхожести были лучше у обработанных ЭБЛ семян *A. absinthium* L. Высокая концентрация ТМ (0,5 мМоль $CdCl_2$) резко снижала всхожесть семян, как в контроле, так и в случае с ЭБЛ, на 53 и 45% соответственно (рисунок 2.a). При этом всхожесть семян варианта без обработки на высокой дозе Cd была выше. Таким образом, ЭБЛ оказывал положительное действие на всхожесть семян Полыни горькой (*A. Absinthium* L.) при повреждающих концентрациях Cd в среде, однако его эффективность падала на высоких токсичных концентрациях ТМ.



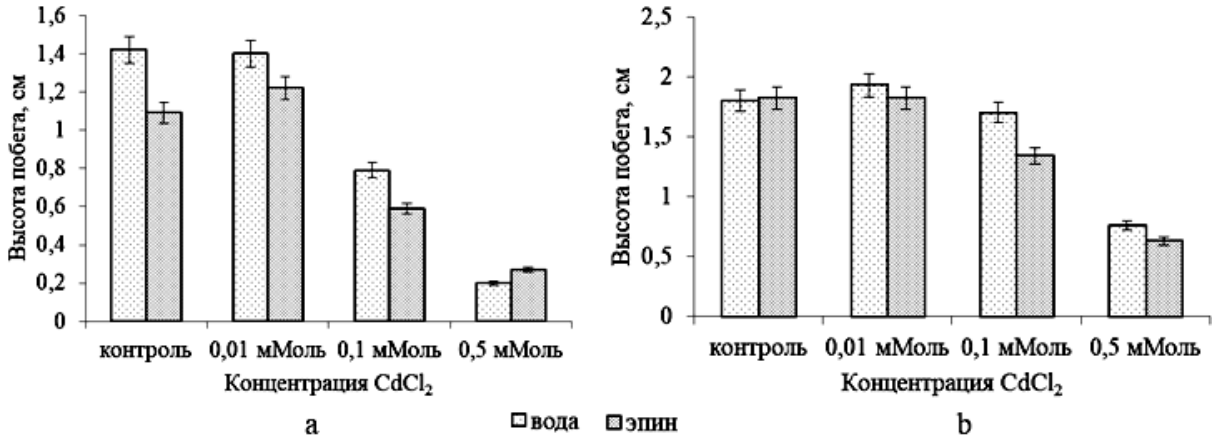
a – *A. absinthium* L., b – *A. vulgaris* L.

Рисунок 2 – Всхожесть семян двух видов Полыни при совместном действии кадмия и эпибрассинолида

Эффект 2,4-ЭБЛ на всхожесть семян Полыни обыкновенной (*A. vulgaris* L.) отличался от такового на Полыни горькой (*A. absinthium* L.) (рисунок 2.b). В контрольном варианте семена, обработанные ЭБЛ, показали более высокую всхожесть (37,2%) по сравнению с необработанными семенами. В тоже время внесение Cd в среду в низких (0,01 мМоль $CdCl_2$) и средних (0,1 мМоль $CdCl_2$) концентрациях снижало всхожесть обработанных семян на 5,2% и 2,8% соответственно. При этом, необходимо отметить, что, в отличие от *A. absinthium* L., на высокой дозе Cd (0,5 мМоль $CdCl_2$) обработанные семена *A. vulgaris* L. лучше сохраняли всхожесть. Таким образом, положительный эффект при низких концентрациях Cd был наиболее выражен у необработанных семян *A. vulgaris* L. Средние дозы, как и в случае с *A. absinthium* L. оказывали повреждающее действие, при этом в большей степени у обработанных семян. В то время как, на высокой дозе Cd ЭБЛ улучшал всхожесть семян Полыни обыкновенной (*A. vulgaris* L.).

Высота побега проростков Полыни горькой (*A. absinthium* L.) также зависела и от обработки семян 2,4-ЭБЛ, и от внесения в среду Cd (рисунок 3.a). В отсутствии Cd высота проростков *A. absinthium* L., обработанных ЭБЛ, снижалась на 23%. При концентрации Cd – 0,01 мМоль $CdCl_2$ и 0,1 мМоль $CdCl_2$ высота проростков *A. absinthium* L. опытного варианта также была ниже по сравнению с контролем на 13 и 25% соответственно.

Высота проростков полыни, обработанных ЭБЛ, на высокой дозе Cd (0,5 мМоль $CdCl_2$) была выше в среднем, чем у контрольных проростков. Однако, эти показатели не в полной мере отражают реальную картину. Как видно на рисунке 4, на высокой дозе Cd у проростков из семян, обработанных ЭБЛ, бурая окраска стеблей и семядолей свидетельствовала о начинающихся деструктивных процессах, протекающих в клетках. Тогда как в контроле окраска проростков была зеленоватая или светло-бурая (рисунок 4). Следовательно, проростки контрольного варианта пострадали в меньшей степени, а ЭБЛ не оказывал нужного протекторного действия. Эти данные не совпадают с литературными [47-50], где описывается положительный эффект данного препарата на устойчивость растений к воздействию ТМ.



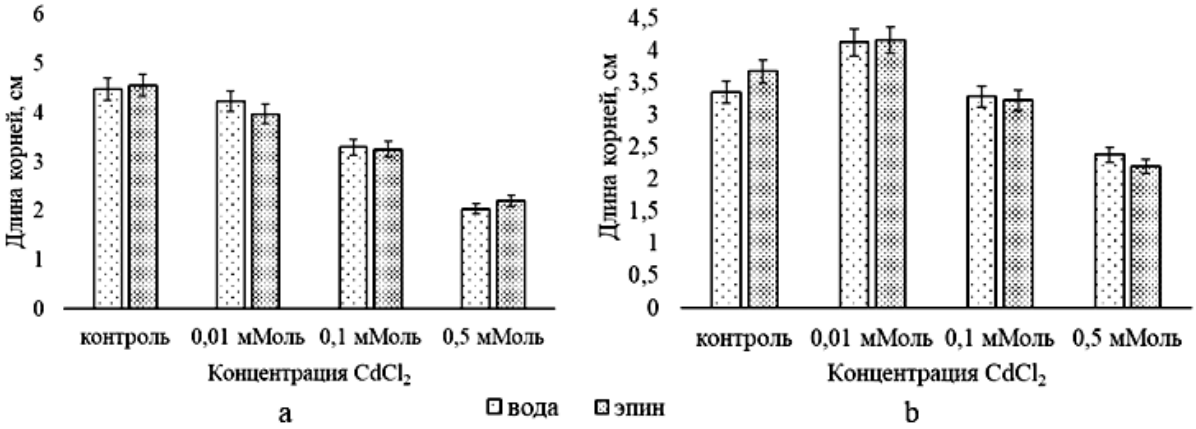
a – *A. absinthium* L., b – *A. vulgaris* L.

Рисунок 3 Высота проростков двух видов Полыни при совместном действии кадмия и эпибрассинолида

Рисунок 4 Внешний вид проростков Полыни горькой (*A. absinthium* L.) при высокой дозе кадмия (0,5 мМоль $CdCl_2$) в среде

У Полыни обыкновенной (*A. vulgaris* L.) ЭБЛ не оказывал существенного влияния на рост побега как в контроле, так и при низких дозах Cd (0,01 мМоль $CdCl_2$) в среде (рисунок 3.b). При повышении дозы Cd в 10 раз, рост побега замедлялся как в контроле, так и при обработке ЭБЛ. При чем, в последнем случае в большей степени. Если у контрольных проростков рост побега замедлялся на 13,5%, то у проростков, обработанных ЭБЛ, рост замедлялся на 35,8% (рисунок 3.b).

На длину корней проростков двух видов Полыни воздействовало только содержание Cd в среде, тогда как ЭБЛ не оказывал существенного влияния на корни. У Полыни горькой (*A. absinthium* L.) доза 0,01 мМоль Cd уже оказывала токсичное воздействие на рост корней (рисунок 5.a), в то время как у Полыни обыкновенной (*A. vulgaris* L.) эта доза была стимулирующей (рисунок 5.b) и наблюдался прирост корней в длину на 23% в контроле и на 13,4% - у проростков, обработанных ЭБЛ. Как видно на рисунке 4, у проростков П. горькой на высокой дозе Cd рост корней практически прекращался на обоих вариантах – без обработки и с обработкой ЭБЛ. Таким образом, можно сказать, что ЭБЛ не оказывал протекторное действие на корневую систему проростков двух видов Полыни при внесении в среду роста Cd.



a – *A. absinthium* L., b – *A. vulgaris* L.

Рисунок 5 Длина корней проростков двух видов Полыни при совместном действии кадмия и эпибрассинолида

Как показали исследования, длина корней в контроле у *A. absinthium* L. была выше на 119,6% по сравнению с длиной корней контрольных проростков варианта с

высокой дозой Cd (рисунок 5.a). У *A. vulgaris* L. эта разница составляла 40,8% (рисунок 5.b). Такая же закономерность прослеживалась и при оценке роста побега в высоту. Высота побега в контроле у *A. absinthium* L. была на 610% выше по сравнению с этим показателем контрольных проростков на высокой дозе Cd в среде (рисунок 3.a). У *A. vulgaris* L. эта разница составляла 136,8% (рисунок 5.b). Таким образом, можно предположить, что Полынь обыкновенная (*A. vulgaris* L.) более устойчива к токсическому воздействию Cd.

Заключение

По результатам проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. На всхожесть семян двух видов Полыни оказывает влияние как их обработка ЭБЛ, так и концентрация содержания Cd в среде. При увеличении дозы Cd в среде от 0,01 до 0,5 мМоль (в перерасчете на $CdCl_2$) эффективность воздействия ЭБЛ изменяется обратно пропорционально. При этом, наблюдаются различия в эффекте ЭБЛ на всхожесть у Полыни горькой (A. absinthium L.) и Полыни обыкновенной (A. vulgaris L.).

2. На ранних стадиях развития ЭБЛ не оказывает положительного протекторного эффекта на ростовые показатели проростков двух видов Полыни при повреждающих и токсических концентрациях Cd в среде.

3. Полынь обыкновенная (*A. vulgaris* L.) более устойчива к токсическому воздействию Cd, чем Полынь горькая (*A. absinthium* L.).

Литература:

1. Chakravarty B., Srivastava S. Toxicity of some heavy metals *in vivo* and *in vitro* in *Helianthus annuus* // Mutation research. – 1992. – Vol. 283(4). – P. 287-94.

2. Jaishankar M., Tseten T., Anbalagan N., Mathew B.B., Beeregowda K.N. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals // Interdisciplinary toxicology. – 2014. – Vol. 7(2). – P. 60-72.

3. Мадибеков А.С. Оценка загрязненности тяжелыми металлами снежного покрова на территории Южного Казахстана // Вестник КазНУ. – 2011. – №2 (33). – С. 39-46.

4. Кадмий, его токсичность и источники загрязнения. – URL: https://spravochnick.ru/ekologiya/ ekologiya_produktov_pitaniya/kadmiy_ego_toksichnost_i_istochniki_zagryazneniya/ (дата обращения: 15.08.2020).

5. Мышьяк, сера, кадмий. Воздух Усть-Каменогорска стал опаснее. – URL: https://tengrinews.kz/ kazakhstan_news/myishyak-sera-kadmiy-vozduh-ust-kamenogorska-stal-opasnee-356531/ (дата обращения: 15.08.2020).

6. Состояние загрязнения почв тяжёлыми металлами на территории Республики Казахстан // Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан. – 2019. – Вып. 1 (27). – С. 91.

7. Состояние загрязнения почв тяжёлыми металлами Акмолинской области за весенний период 2019 года // Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан. – 2019. – Вып. 1 (27). – С. 119-120.

8. Сакиева З.Ж., Крамбаева А.А. Уровень загрязнения почв тяжелыми металлами в РК // Вестник КазНТУ. – 2015. – №4. – С. 96-100.

9. Султанова Д.М., Чередниченко В.С. Химизм осадков на территории Республики Казахстан // Труды IV междунар. научно-практ. конф. молодых ученых

«Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование», 16-18 апреля 2015 года: сборник статей. – М.: Буки-Веди. – С.140-143.

10. Канатова Ж.К. Анализ экологического состояние окружающей среды горнодобывающих регионов Казахстана // Молодой ученый. – 2017. – №14. – С. 302-305.

11. Курманбаева А.С., Сарсенбаев Б.А., Сафронова Н.М. Анализ загрязнения почв тяжелыми металлами вблизи промышленных объектов г. Кокшетау и Васильковского горно-обогатительного комбината // Вестник ТарГУ им. М.Х. Дулати, труды межд. научно-практ. конф. «Актуальные проблемы экологии», 30 ноября-1декабря 2007 года, Тараз, 2007, С. 117-122.

12. Кадмий. – URL: http://www.protown.ru/information/hide/5569.html (дата обращения: 15.08.2020).

13. Кизильштейн Л. Угольные примеси – ценные и коварные // Наука и жизнь. – 2014. – №5. – С. 70-75.

14. Кизильштейн Л.Я. Экогеохимия элементов-примесей в углях. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНУ ВШ, 2002. – 296 с.

15. Сафонов А.А., Парафилов В.И., Маусымбаева А.Д., Ганеева Л.М., Портнов В.С. Микрокомпонентный состав углей Центрального Казахстана // Уголь. – 2018. – №9 (1110). – С. 70-75.

16. Ильенок С.С., Арбузов С.И. Минеральные формы редких элементов в углях и золах углей Азейского месторождения // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327. № 2. – С. 6-20.

17. Характеристика загрязняющего вещества – кадмия. – URL: https://vuzlit.ru/769620/harakteristika _zagryaznyayuschego_veschestva_kadmiya (дата обращения: 15.08.2020).

18. Dong J., Wu F., Zhang G. Effect of cadmium on growth and photosynthesis of tomato seedlings // Journal of Zhejiang University. Science. B – 2005. – Vol. 6(10). – P. 974–980.

19. Кадмий и почвы – URL: https://studwood.ru/998442/ekologiya/kadmiy (дата обращения: 15.08.2020).

20. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почве и растениях. – Л.: Наука, 1997. – 201 с.

21. Weigel H.J., Jäger H.J. Subcellular distribution and chemical forms of cadmium in beanplants // Plant physiology. – 1980. – Vol.65. – P. 480-482.

22. Moya J.L., Ros R., Picazo I. Influence of cadmium and nickel on growth, netphotosynthesis and carbohydrate distribution in rice plants // Photosynthesis research – 1993. – Vol. 36. – P. 75-80.

23. Irfan M., Hayat S., Ahmad A., Alyemeni M.N. Soil cadmium enrichment: Allocation and plant physiological manifestations // Saudi journal of biological sciences. – 2013. – Vol. 20(1). – P. 1-10.

24. Кадмий и растения. – URL: https://studwood.ru/998443/ekologiya/kadmiy_rasteniya#95(дата обращения: 15.08.2020).

25. Morishita T., Boratynski J.K. Accumulation of cadmium and other metals in organs of plants growing around metal smelters in Japan // Soil Science & Plant Nutrition. – 1992. – Vol. 38, №4. – P. 781-785.

26. Dai B.Y., Wang H.J., Wang H.B., Li Q.C., Pan N., Ning P. Characteristics of Heavy Metals and Tolerant Plants in Yangzonghai Phosphogypsum Stacking Area //

2nd Asian Pacific Conference on Energy, Environment and Sustainable Development, 2015. – P. 151-154.

27. Kanibolotskaya Yu.M. Analysis of heavy metal content in plants (*Artemisia austriaca* Jacq., *Agropyron pectinatum, Potentilla bifurca*) and soil in Pavlodar region // Mongolian Journal of Agricultural Sciences. – 2012. – Vol. 6(02). – P. 101-109.

28. Alirzayeva E., Neuman G., Horst W., Allahverdiyeva Y., Specht A., Alizade V. Multiple mechanisms of heavy metal tolerance are differentially expressed in ecotypes of *Artemisia fragrans* // Environmental Pollution. – 2017. – Vol. 220, Part B. – P. 1024-1035.

29. Porębska G., Ostrowska A. Heavy metal accumulation in wild plants: implications for phytoremediation // Polish Journal of Environmental Studies. – 1999. – Vol. 8, No. 6. – P. 433-442.

30. Каниболоцкая Ю.М. Возможность использования *Artemisia austriaca* Jacq. в качестве индикатора загрязнения окружающей среды некоторыми тяжелыми металлами // Социально-экологические технологии. – 2020. – №1. – С. 24-39; URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ vozmozhnost-ispolzovaniya-artemisia-austriaca-jacq-v-kachestve-indikatora-zagryazneniya-okruzhayuschey-sredy-nekotorymi-tyazhelymi (дата обращения: 21.09.2020).

31. Ashraf M., Hayat M.Q., Mumtaz A.S. A study on elemental contents of medicinally important species of *Artemisia* L. (*Asteraceae*) found in Pakistan // Journal of Medicinal Plants Research. – 2010. – Vol.4, Issue 21. – P. 2256-2263.

32. Badea D.N. Determination of Potentially Toxic Heavy Metals (Pb, Hg, Cd) in Popular Medicinal Herbs in the Coal Power Plant Area// Revista De Chimie. – 2015. – Vol.66, Issue 8. – P. 1132-1136.

33. Trifonova T.A., Alkhutova E.Y. Pecularities of heavy metals accumulation by the plants of meadow phytocenosis // Open Journal of Soil Science. – 2012. – Vol. 2. – P. 275-281.

34. Ali B., Hasan S.A., Hayat S., Hayat Q., Yadav S., Fariduddin Q., Ahmad A. A role of brassinosteroids in the amelioration of aluminium stress through antioxidant system in mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek) // Environmental and Experimental Botany. – 2008. – Vol. 62(2). – P. 153-159.

35. Kagale S., Divi U.K., Krochko J.E., Keller W.A., Krishna P. Brassinosteroid confers tolerance in Arabidopsis thaliana and Brassica napus to a range of abiotic stresses // Planta. – 2007. – Vol. 225(2). – P. 353-364.

36. Bajguz A., Hayat S. Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses // Plant Physiology and Biochemistry. – 2009. – Vol. 47(1). – P. 1-8.

37. Jiang Y.P., Huang L.F., Cheng F., Zhou Y.H., Xia X.J., Mao W.H., Shi K., Yu J.Q. Brassinosteroids accelerate recovery of photosynthetic apparatus from cold stress by balancing the electron partitioning, carboxylation and redox homeostasis in cucumber // Physiologia Plantarum. – 2013. - Vol. 148(1). – P. 133-145.

38. Fariduddin Q., Yusuf M., Ahmad I., Ahmad A. Brassinosteroids and their role in response of plants to abiotic stresses // Biologia Plantarum. – 2014. – Vol. 58(1). – P. 9-17.

39. Parmoon G., Ebadi A., Jahanbakhsh S., Hashemi M. Physiological response of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) to drought stress and plant growth regulators // Russian Journal of Plant Physiology. – 2019. – Vol. 66(5). – P. 795-805.

40. Грабовская Н.И., Бабенко О.Н. Протекторное действие на растения препаратов, содержащих брассиностероиды, в условиях загрязнения среды свинцом

(обзор) // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. – 2020. – Т.13(2). – С. 129-163.

41. Abe H. Advances in brassinosteroid research and prospects for its agricultural application // Japan Pesticide Information. – 1989. – Vol. 55. – P. 10-14.

42. Albrecht C., Boutrot F., Segonzac C., Schwessinger B., Gimenez-Ibanez S., Chinchilla D., Rathjen J.P., de Vries S.C., Zipfel C. Brassinosteroids inhibit pathogen-associated molecular pattern-triggered immune signaling independent of the receptor kinase BAK1 // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 2012. – Vol. 109(1). – P. 303-308.

43. Alazem M., Lin N.-S. Roles of plant hormones in the regulation of host-virus interactions // Molecular Plant Pathology. – 2015. – Vol. 16(5). – P. 529-540.

44. Шаповал О.А., Можарова И.П., Коршунов А.А. Регуляторы роста растений в агротехнологиях // Защита и карантин растений. – 2014. – Т. 6. – С. 16-20.

45. Bajguz A. Blockade of heavy metals accumulation in *Chlorella vulgaris* cells by 24-epibrassinolide // Plant Physiology and Biochemistry. – 2000. – Vol. 38(10). – P. 797-801.

46. Kaur S., Bhardwaj R. Brassinosteroids regulated heavy metals uptake in *Brassica campestris* L. // Annual Meeting of the American Society of Plant Biologists «Plant Biology 2003». – Honolulu, 2003. – P. 628.

47. Janeczko A., Koscielniak J., Pilipowicz M., Szarek-Lukaszewska G., Skoczowski A. Protection of winter rape photosystem 2 by 24-epibrassinolide under cadmium stress // Photosynthetica. – 2005. – 43(2). – P. 293-298.

48. Володькин А.А. Изменение содержания тяжелых металлов и радионуклидов в клубнях картофеля в зависимости от применения регуляторов роста // Бюллетень Всероссийского НИИ удобрений и агропочвоведения. – 2003. – Т. 118. – С. 219-221.

49. Титов В.Н., Смыслов Д.Г., Дмитриева Г.А., Болотова О.И. Регуляторы роста растений как биологический фактор снижения уровня тяжелых металлов в растении. Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2011. – Т. 4(31). – С. 4-6.

50. Hayat S., Alyemeni M.N., Hasan S.A. Foliar spray of brassinosteroid enhances yield and quality of *Solanum lycopersicum* under cadmium stress // Saudi Journal of Biological Sciences. – 2012. – Vol. 19(3). – P. 325-335.

51. Грузнова К.А. Влияние экзогенных регуляторов роста на степень токсичности тяжелых металлов в растениях пшеницы: автореф. дис. на соискание уч. ст. канд. биол. наук. - М., РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2016. – 24 с.

52. Martinez J.C., Wang K. A sterilization protocol for field-harvested maize mature seed used for in vitro culture and genetic transformation // Maize Genetics Cooperation Newsletter. – 2009. – Vol. 83. – P. 2.