

- навуковай канферэнцыі. Брэст, 16–18 чэрвеня 2004. Частка 2. – Брэст, 2004.
6. Бровка, Г. П. Исследование и прогнозирование заморозков на мелиорированных торфяных почвах / Г. П. Бровка, И. В. Дерюля, В. А. Свечевский // Природные ресурсы. – 2000. – № 1. – С. 13–14.
 7. Лихацевич, А. П. Состояние и перспективы сельскохозяйственного использования торфяных почв / А. П. Лихацевич, А. С. Мееровский, В. И. Белковский // Природные ресурсы. – 1997. – № 2. – С. 31–40.
 8. Лихацевич, А. П. Мелиорация земель в Беларуси / А. П. Лихацевич, А. С. Мееровский, Н. К. Вахонин // – Минск : БелНИИМиЛ, 2001. – С. 138–142.
 9. Пат. 9668 ВУ, С1 2007.08.30. Способ сохранения органического вещества торфа / Ерчак Н. П., Волчек А. А., Ерчак Д. П., Босак В. Н., заявители и патентообладатели Ерчак Н. П., Волчек А. А., Ерчак Д. П., Босак В. Н., ГНУ «Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси». – № а20040070, заявл. 09.02.04, опубл. 04.05.07, Бюл. № 4. – 3 с.
 10. Пат. 9669 ВУ, С1 2007.08.30. Способ снижения потерь органического вещества осушенных торфяников / Ерчак Н. П., Волчек А. А., Босак В. Н., Кот Н. А., заявители и патентообладатели Ерчак Н. П., Волчек А. А., Босак В. Н., Кот Н. А., ГНУ «Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси». – № а20040071, заявл. 09.02.04, опубл. 04.05.07, Бюл. № 4. – 3 с.

УДК 57.044

ПРОТЕКТОРНОЕ ДЕЙСТВИЕ 24-ЭПИКАСТАСТЕРОНА И ЕГО КОНЬЮГАТОВ С КИСЛОТАМИ НА ГАЗОННЫЕ ЗЛАКИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНОВ СВИНЦА

И. В. Бульская, В. В. Коваленко, А. А. Плинда, Я. В. Хомюк

БрГУ имени А. С. Пушкина, Брэст, Беларусь, inabulsksys@gmail.com

Аннотация

На растениях тимофеевки луговой и фестулолиума в лабораторных условиях исследовано протекторное действие 24-эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами в отношении повышенных концентраций ионов свинца. Показано, что защитное действие изучаемых соединений является видоспецифичным. Наиболее чувствительным к действию ионов свинца параметром роста в условиях опыта является длина корня.

Ключевые слова: конъюгаты brassinостероидов, 24-эпикастастерон, фестулолиум, тимофеевка луговая, свинец, почва.

ASSESSMENT OF THE PROTECTIVE EFFECT OF NATURAL BRASSINOSTEROID-ACID CONJUGATES ON LAWN GRASSES UNDER CONDITIONS OF EXPOSURE TO LEAD IONS

I. V. Bulska, V. V. Kavalenka, A. A. Plinda, Y. V. Khamiuk

Abstract

The protective effect of 24-epicastasterone and its conjugates with acids in relation to elevated concentrations of lead ions was studied on timothy grass and festulolium plants under laboratory conditions. It was shown that the protective effect of the studied compounds is species-specific. The most sensitive growth parameter to the action of lead ions under experimental conditions is the root length.

Key words: brassinosteroid conjugates, 24-epicastasterone, Festulolium, Phleum pratense L., lead, soil.

Введение. Почва является основным компонентом наземных экосистем и имеет жизненно важное значение для благополучного состояния окружающей нас среды. В почве накапливаются загрязнители из атмосферы и токсиканты, представляющие гигиеническую и экологическую опасность для человека, животных и растений, тормозящие очищение и восстановление окружающей среды. Самыми массовыми загрязнителями почв являются углеводороды, тяжелые металлы, полициклические ароматические углеводороды, хлорорганические соединения. Присутствие этих токсикантов в почве ухудшает экологическую обстановку: происходит угнетение растительности, подавляется ризосферная биота. Тяжелые металлы, накапливаясь в почве, связываются с ее минеральными компонентами и могут переходить в почвенный раствор и далее потребляются растениями и проникают в пищевые цепи, попадают в сельскохозяйственную продукцию, а также вымываются в грунтовые воды [1].

Извлечение токсикантов из почвы и ее восстановление являются дорогостоящим и сложным процессом, поэтому одним из активно разрабатываемых в последнее время в науке направлений является защита культурных декоративных и сельскохозяйственных растений от неблагоприятных факторов окружающей среды. Перспективной группой веществ, изучаемых в данном направлении, являются brassinостероиды и их производные.

Брассиностероиды присутствуют в тканях растений естественным образом и представляют собой группу фитогормонов (полигидроксилированный стероидный лактон brassинолид и его производные), для которых в последние годы были показаны самые разнообразные эффекты: удлинение, влияние на развитие корней, повышение способности противостоять различным видам стресса (недостатку питательных веществ в почве, низким температурам, недостатку воды, ингибирующему эффекту хлорида натрия и пестицидов, повышают устойчивость к болезням) [2, 3].

Несмотря на то, что физиологические эффекты воздействия brassиностероидов схожи с другими эндогенными гормонами (ауксинами, гибберелинами, этиленом), исследования свидетельствуют о существенных различиях в механизме действия [3].

Брассиностероиды и их производные – природные, нетоксичные соединения, применяемые в очень низких концентрациях и способные улучшить урожайность даже на не удобряемых полях, что делает их подходящими кандидатами к применению на практике, особенно в неблагоприятных

климатических условиях, позволяя сократить применение удобрений и агрохимикатов, являющихся серьезными загрязнителями воды и почвы [3].

Целью данного исследования являлась оценка протекторного действия 24-эпикастастерона (ЭК) и тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона (S31) в отношении влияния ионов свинца на растения тимофеевки луговой (*Phleum pratense* L.) сорта «Волия» и фестулолиума (*Festulolium*) в условиях лабораторного эксперимента.

Материалы и методы. Гормоны, использованные для проведения эксперимента, были получены в ГНУ «Институт биоорганической химии НАН Беларуси». На основании ранее полученных результатов [4] для проведения исследования выбраны следующие оптимальные концентрации гормонов, оказывающие ростстимулирующее действие в отношении растений-тестобъектов: 24-эпикастастерон в концентрациях 10^{-7} и 10^{-11} М, S31 в концентрациях 10^{-7} М для фестулолиума; 24-эпикастастерон (ЭК) в концентрации 10^{-8} М и тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона (S31) в концентрации 10^{-9} М для тимофеевки луговой (*Phleum pratense* L.) сорта «Волия».

Выбор тест-объектов обусловлен тем, что виды характеризуется высокой скоростью прорастания, индикативностью, корешки развиваются быстро и равномерно [5].

Увеличение тест-объектов в проводимых биоиспытаниях является важным, поскольку физиологические эффекты брассиностероидов зависят не только от видовых, но и сортовых особенностей растений [6].

Ввиду недостаточности литературных данных по воздействию ионов свинца, выбранных для исследования протекторного действия конъюгатов брассиностероидов в отношении потенциально токсичных элементов, на фестулолиум и тимофеевку луговую в первую очередь была проведена оценка всхожести, длины корня и длины побега проростков для выявления оптимальной концентрации. Диапазон концентраций 10^{-2} – 10^{-6} М.

Проращивание семян проводилось в соответствии с ГОСТ 12038–84. Всхожесть определялась на 8-е сутки для тимофеевки; 10-е сутки для фестулолиума. На 8-е сутки также определялась длина корня и длина побега проростков тимофеевки, на 10-е сутки для проростков фестулолиума.

Непосредственно для исследования протекторного действия конъюгатов брассиностероидов семена фестулолиума предварительно замачивают в течение 5 часов в растворах ЭК и S31. В качестве контроля использовалась дистиллированная вода. В качестве опытного варианта раствор с оптимальной концентрацией ионов свинца. Для оценки протекторного действия на рост и развитие растений выбраны следующие параметры: согласно ГОСТ 12038–84 [7] всхожесть, после чего замеряются длины подземной и надземной частей растений [8].

Для оценки влияния конъюгатов природных брассиностероидов с кислотами на морфометрические параметры роста фестулолиума были использованы следующие варианты опыта:

Для фестулолиума

1. дистиллированная вода (контроль);

2. $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ с концентрацией 10^{-3} М;
3. ЭК с концентрацией 10^{-7} М;
4. ЭК с концентрацией 10^{-11} М;
5. S31 с концентрацией 10^{-7} М;
6. ЭК с концентрацией 10^{-7} М + $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ с концентрацией 10^{-3} М;
7. ЭК с концентрацией 10^{-11} М + $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ с концентрацией 10^{-3} М;
8. S31 с концентрацией 10^{-7} М + $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ с концентрацией 10^{-3} М.

Для тимофеевки луговой

9. дистиллированная вода (контроль);
10. $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ с концентрацией 10^{-3} М;
11. ЭК с концентрацией 10^{-8} М;
12. S31 с концентрацией 10^{-9} М;
13. ЭК с концентрацией 10^{-8} М + $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ с концентрацией 10^{-3} М;
14. S31 с концентрацией 10^{-9} М + $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ с концентрацией 10^{-3} М.

Результаты и обсуждение. Параметры начальных этапов роста тестовых растений для оценки оптимальной концентрации ионов свинца приведены в таблицах 1 и 2. Семена обеих культур, подвергнутые действию ионов свинца в концентрации 10^{-2} М практически не взошли, поэтому данные по этой концентрации не приводятся. Для концентраций в диапазоне 10^{-4} М – 10^{-6} значимых отличий от контрольного опыта не выявлено.

Для оценки протекторного действия исследованных фитогормонов была выбрана концентрация ионов свинца 10^{-3} М. Результаты представлены на рисунках 1 и 2.

Таблица 1 – Влияние различных концентраций ионов свинца на параметры начальных этапов роста тимофеевки луговой

Вариант опыта	Всхожесть, %	Длина корня, мм	Длина побега, мм
Контроль	$77 \pm 2,1$	$16,86 \pm 0,81$	$25,55 \pm 0,59$
$\text{Pb}^{2+} 10^{-6}$ М	$73 \pm 2,2$	$16,18 \pm 0,82$	$27,45 \pm 0,63$
$\text{Pb}^{2+} 10^{-5}$ М	$77 \pm 2,1$	$17,54 \pm 0,82$	$26,97 \pm 0,69$
$\text{Pb}^{2+} 10^{-4}$ М	$70 \pm 2,3$	$12,46 \pm 0,72$	$24,62 \pm 0,81$
$\text{Pb}^{2+} 10^{-3}$ М	$51 \pm 2,5$	$1,38 \pm 0,36$	$16,60 \pm 0,94$

Таблица 2 – Влияние различных концентраций ионов свинца на параметры начальных этапов роста фестулолиума

Вариант опыта	Всхожесть, %	Длина корня, мм	Длина побега, мм
Контроль	$75,3 \pm 1,76$	$69,2 \pm 2,01$	$70,0 \pm 1,73$
$\text{Pb}^{2+}, 10^{-6}$ М	$83,3 \pm 3,33$	$71,7 \pm 1,83$	$74,2 \pm 1,77$
$\text{Pb}^{2+}, 10^{-5}$ М	$81,3 \pm 1,76$	$70,3 \pm 2,23$	$72,7 \pm 1,96$
$\text{Pb}^{2+}, 10^{-4}$ М	$76,0 \pm 2,31$	$71,0 \pm 1,77$	$71,9 \pm 1,70$
$\text{Pb}^{2+}, 10^{-3}$ М	$82,0 \pm 3,06$	$35,7 \pm 1,36$	$68,6 \pm 1,66$

Как видно из приведенных на рисунке 1 данных, тимофеевка луговая показала себя как более чувствительный к действию исследованных гормонов вид. ЭК и S31 способствуют увеличению показателя всхожести. Так, в варианте опыта с ЭК увеличение составляет 7 %, а в варианте опыта с S31 – 3 % по сравнению с контролем. Семена, подвергнувшиеся токсическому действию

ионов свинца и обработанные ЭК и S31, демонстрируют всхожесть выше, чем семена, подвергнувшиеся токсическому действию ионов свинца и необработанные brassinosterоидами.

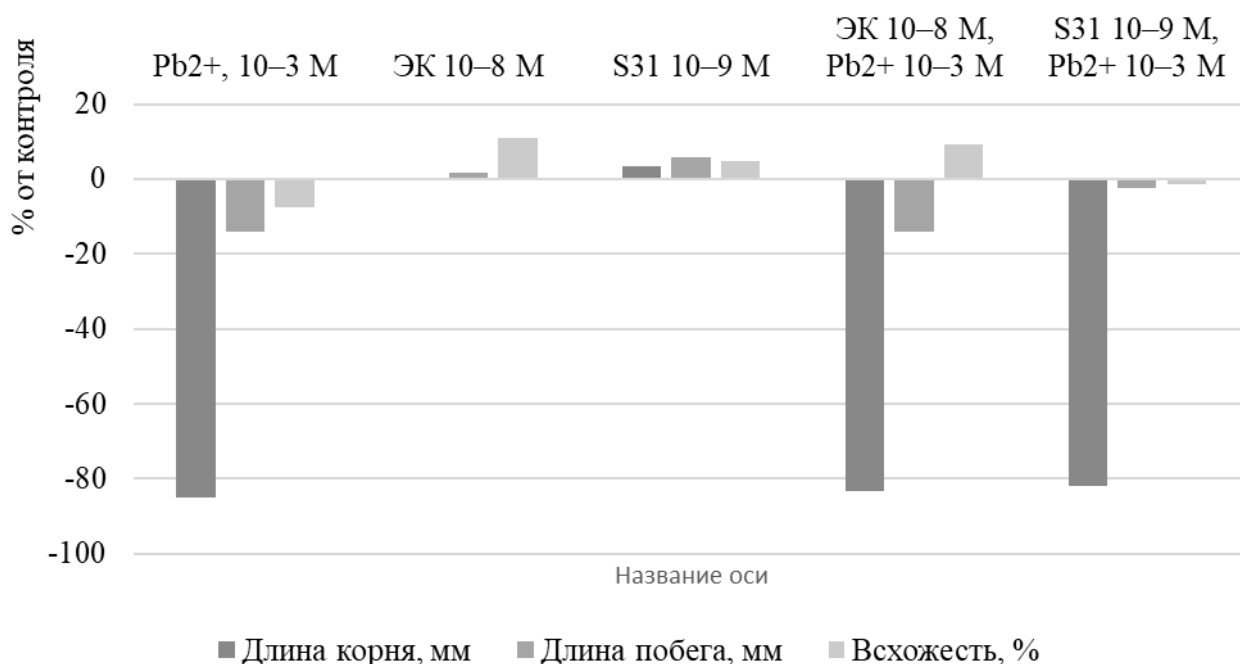


Рисунок 1 – Влияние ионов свинца на параметры начальных этапов роста тимофеевки луговой без обработки и с обработкой 24-эпикастастероном и тетраиндолилацетатом 24-эпикастастерона, % относительно контроля

Наиболее сильно токсическое действие ионов свинца (рисунок 1) сказывается на росте корня тимофеевки луговой. Растения, подвергнувшиеся токсическому действию ионов свинца, демонстрируют уменьшение длины корня на 85 % по сравнению с контролем. Растения, подвергнувшиеся токсическому действию ионов свинца и обработанные ЭК и S31, демонстрируют уменьшение длины корня на 83,5 % и 82 % соответственно по сравнению с контролем.

Токсическое действие ионов свинца в отношении длины побега проростков тимофеевки луговой может уменьшить предпосевная обработка семян S31. Если растения, подвергнувшиеся токсическому действию ионов свинца, демонстрируют уменьшение длины побега на 13,9 % по сравнению с контролем, то растения, подвергнувшиеся токсическому действию ионов свинца и обработанные S31, демонстрируют уменьшение длины побега только на 2,5 % по сравнению с контролем.

Таким образом, наиболее значительным является токсическое действие ионов свинца на рост корня растений тимофеевки луговой.

Уменьшение токсического действия ионов свинца под влиянием изучаемых brassinosterоидов проявляется в увеличении длины корня и длины побега растений, подвергнувшихся токсическому действию ионов свинца и обработанных ЭК и S31 по сравнению с растениями, которые подвергались действию ионов свинца, но не обрабатывались brassinosterоидами.

Для фестуолиума в условиях опыта защитного действия гормонов не наблюдалось (рисунок 2).

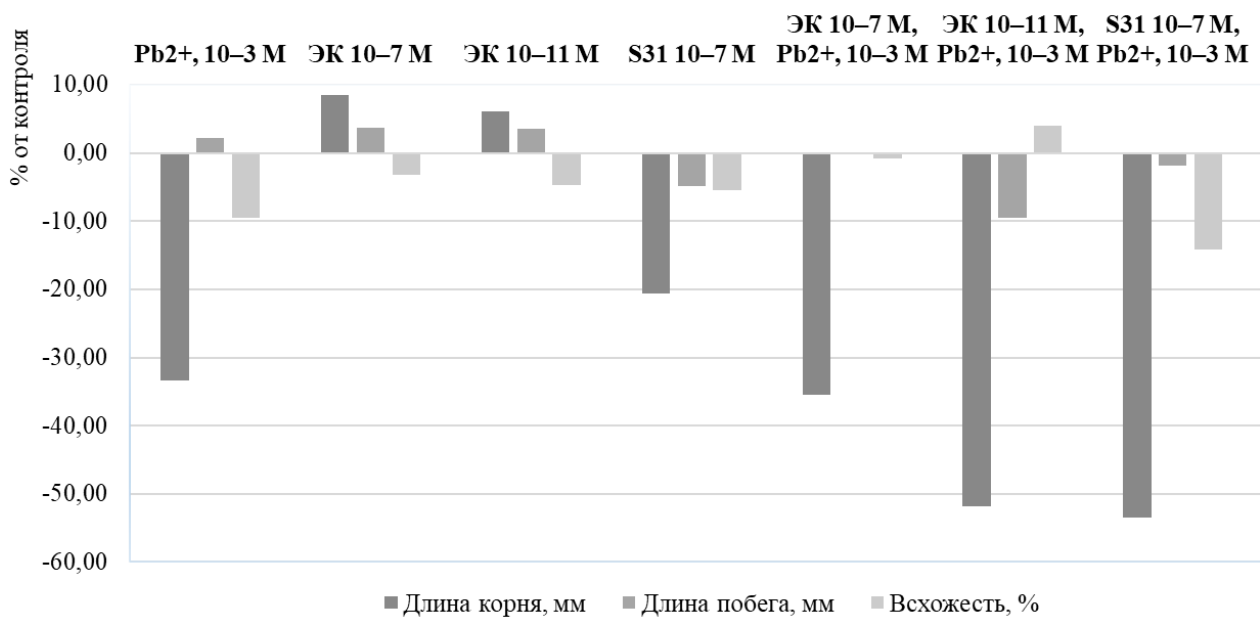


Рисунок 2 – Влияние ионов свинца на параметры начальных этапов роста фестулолиума без обработки и с обработкой 24-эпикастастероном и тетраиндолилацетатом 24-эпикастастерона, % относительно контроля

ЭК незначительно способствует увеличению длины корня и стебля проростков фестулолиума (на 8,5 % и 3,6 % соответственно в концентрации 10^{-7} М, на 6,1 % и 3,5 % в концентрации 10^{-11} М). Семена, подвергнувшиеся токсическому действию ионов свинца и обработанные ЭК и S31, демонстрируют всхожесть, длину корня и стебля проростков меньше, чем семена, подвергнувшиеся токсическому действию ионов свинца и необработанные brassinosterоидами. Только в варианте опыта с обработкой ЭК в концентрации 10^{-11} М всхожесть семян фестулолиума была выше контроля на 3,9 % и выше всхожести в опыте только со свинцом на 13,3 %.

Наиболее выражено токсическое действие ионов свинца отражается на длине корня фестулолиума. Растения, подвергнувшиеся действию ионов свинца, демонстрируют уменьшение длины корня на 33,4 % по сравнению с контролем. Растения, подвергнувшиеся токсическому действию ионов свинца и обработанные ЭК 10^{-7} М демонстрируют практически такой же результат (меньше на 35,5 %), а растения, обработанные ЭК 10^{-11} М и S31, демонстрируют уменьшение длины корня на 51,8 % и 53,5 % соответственно по сравнению с контролем.

Токсическое действие ионов свинца в отношении длины побега проростков фестулолиума не наблюдалось (плюс 2,2 % по сравнению с контролем). Однако у семян, обработанных гормонами и подвергшимся действию ионов свинца по сравнению с контролем наблюдается незначительное уменьшение длины побега (от 0,01 до 9,5 %).

Обобщая полученные данные, можно сделать вывод, что использованные в данном эксперименте гормоны не обладают защитным действием от токсического влияния ионов свинца для фестулолиума.

Заключение. 1. Защитное действие исследованных фитогормонов ЭК и S31 является видоспецифичным и проявляется на тест-объектах в разной степени. 2.

Исследованные фитогормоны являются перспективным средством защиты газонных злаков от повышенных концентраций ионов свинца на загрязненных почвах для чувствительных к их воздействию видов. 3. Наиболее чувствительным параметром в условиях лабораторного опыта является длина корня тестовых растений.

Благодарности. Работа выполнена в рамках НИР «Оценка влияния природных brassinosteroidов и их конъюгатов с кислотами на морфометрические и физиолого-биохимические параметры сельскохозяйственных и декоративных растений» подпрограммы 2.3 «Химические основы процессов жизнедеятельности (Биооргхимия)» ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия» на 2021–2025 гг.

Список цитированных источников

1. Янкевич, М. И. Биоремедиация почв: вчера, сегодня, завтра / М. И. Янкевич, В. В. Хадеева, В. П. Мурыгина // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». – 2015. – Т. 7. – № 2. – С. 199–208.
2. Карпин, В. И. Методика определения силы роста семян кормовых культур / В. И. Карпин [и др.]. – Москва : Изд-во РГАУ – МСХА, 2012. – 16 с.
3. Brosa, C Biological Effects of Brassinosteroids / C. Brosa // Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology. – 1999. – №34(5). – P. 339–358.
4. Колбас, А. П. Биотестирование влияния конъюгатов brassinosteroidов с кислотами на физиолого–биохимические параметры фестулолиума / А. П. Колбас, В. С. Нестерук // Проблемы оценки, мониторинга и сохранения биоразнообразия : сб. материалов IV Респ. науч.-практ. экол. конф., Брест, 25 нояб. 2021 г. / Брест. гос. ун–т им. А. С. Пушкина; редкол. : Н. М. Матусевич, Н. В. Шкуратова, М. В. Левковская. – Брест : БрГУ, 2021. – С. 95–97.
5. Колбас, А. П. Структурные и функциональные ответы растений на полиэлементное загрязнение в почвенных сериях / А. П. Колбас, Н. Ю. Колбас, М. А. Пастухова // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Сер. 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб Зямлі. – 2021. – № 1. – С. 23–33.
6. Ленивко, С. М. О потенциальных возможностях расширения спектра действия brassinosteroidов // С. М. Ленивко, Ю. В. Кирисюк / Менделеевские чтения – 2017 : материалы Междунар. науч.-практ. конф. по химии и хим. образованию, Брест, 24 февр. 2017 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; редкол.: Н. С. Ступень [и др.] ; под общ. ред. Н. С. Ступень. – Брест : БрГУ, 2017. – С. 100–105.
7. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. – Межгосударственный стандарт: ГОСТ 12038–84. – Введ. 01.07.86. – М. : Стандартинформ, 2011. – 29 с.
8. Тютюрев, С. Л. Физиолого-биохимические основы управления стрессоустойчивостью растений в адаптивном растениеводстве / С. Л. Тютюрев // Вестник защиты растений. – 2000. – № 1. – С. 11–26.