

УДК 577.175.1: 57.085

Виктор Викторович Коваленко

ст. преподаватель каф. химии

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Viktar Kavalenka

Senior Lecturer of the Department of Chemistry

of Brest State A. S. Pushkin University

e-mail: kvv0407@rambler.ru

**ПРОТЕКТОРНАЯ АКТИВНОСТЬ 24-ЭПИКАСТАСТЕРОНА
И ТЕТРАИНДОЛИЛАЦЕТАТА 24-ЭПИКАСТАСТЕРОНА
В ОТНОШЕНИИ ТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ИОНОВ СВИНЦА
НА КУЛЬТУРЕ ТИМОФЕЕВКИ ЛУГОВОЙ (*PHLEUM PRATENSE* L.)***

Изучено влияние 24-эпикастастерона и тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона на морфометрические и физиолого-биохимические параметры тимopheевки луговой, подвергшейся токсическому действию ионов свинца. Отмечается, что растения, которые подверглись токсическому действию ионов свинца и прошли предпосевную обработку 24-эпикастастероном и тетраиндолилацетатом 24-эпикастастероном, по сравнению с растениями, которые подверглись действию ионов свинца, но не обрабатывались стероидными соединениями, демонстрируют некоторые изменения физиолого-биохимического статуса. Установлено, что токсическое действие ионов свинца в определенной степени может быть минимизировано предпосевной обработкой 24-эпикастастероном и тетраиндолилацетатом 24-эпикастастерона.

Ключевые слова: тимopheевка луговая, энергия прорастания, всхожесть, брассиностероиды, 24-эпикастастерон, конъюгаты 24-эпикастастерона, хлорофилл, каротиноиды, каталаза.

***Protective Activity of 24-Epicastasterone and Tetra-Indolylacetate of 24-Epicastasterone
in Relation to the Toxic Effect of Lead Ions on the Culture of Timothy (Phleum Pratense L.)***

The effect of 24-epicastasterone and tetraindolyl acetate of 24-epicastasterone on morphometric and physiological and biochemical parameters of Timothy exposed to the toxic effects of lead ions was studied. It was noted that plants that had been exposed to the toxic effects of lead ions and had undergone pre-sowing treatment with 24-epicastasterone and tetraindolyl acetate of 24-epicastasterone, compared with plants that had been exposed to lead ions, but not treated with steroid compounds, showed some changes in the physiological and biochemical status. It was found that the toxic effect of lead ions to a certain extent can be minimized by pre-sowing treatment with 24-epicastasterone and tetraindolyl acetate of 24-epicastasterone.

Keywords: Timothy, germination energy, germination, brassinosteroids, 24-epicastasterone, conjugates of 24-epicastasterone, chlorophyll, carotenoids, catalase.

Введение

Брассиностероиды (БС) являются фитогормонами, которые участвуют в регуляции практически всех физиологических функций [1]. В основе их действия лежит стимуляция естественных защитных сил растительного организма, повышение фотосинтетической и анаболической активности, улучшение приспособительных реакций и иммунного статуса [2].

В лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии НАН Беларуси синтезированы конъюгаты БС с кислотами. Имеются данные о рострегулирующей, стресс-протекторной и антиоксидантной их активности [3; 4].

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

Нами исследовано влияние 24-эпикастерона (ЭК), а также 2-моносалицилата 24-эпакастерона и тетраиндолилацетата 24-эпикастерона (S31) на морфометрические и физиолого-биохимические параметры тимфеевки луговой (*Phleum pratense* L.) [5]. Показано, что ЭК в концентрации 10^{-8} М и S31 в концентрации 10^{-9} М оказывают ростстимулирующее действие в отношении растений тимфеевки луговой сорта Волия.

Целью данного этапа исследования является изучение протекторной активности ЭК и S31 в отношении токсического действия ионов свинца на растения тимфеевки луговой.

Материал и методы исследования

В первой серии экспериментов было изучено влияние различных концентраций ионов свинца на показатели энергии прорастания, всхожести, длины корня и длины побега проростков тимфеевки луговой. Предпосевное замачивание семян осуществляли в растворах нитрата свинца с концентрацией от 10^{-6} М до 10^{-2} М. Проращивание семян проводилось в соответствии с ГОСТ 12038–84 [6]. Энергия прорастания определялась на 4-е сутки, всхожесть – на 8-е сутки. На 8-е сутки также определялась длина корня и длина побега проростков тимфеевки.

Во второй серии экспериментов было изучено протекторное действие ЭК и S31 в отношении токсического действия ионов свинца (в концентрации 10^{-3} М) на растения тимфеевки луговой.

Были использованы следующие варианты опыта:

- 1) дистиллированная вода (контроль);
- 2) $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (10^{-3} М);
- 3) ЭК (10^{-8} М);
- 4) S31 (10^{-9} М);
- 5) ЭК (10^{-8} М) + $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (10^{-3} М);
- 6) S31 (10^{-9} М) + $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (10^{-3} М).

При предпосевной обработке семена замачивали в растворах стероидных соединений либо в дистиллированной воде, проращивали в соответствии с ГОСТ 12038–84 и поливали водой либо 10^{-3} М раствором нитрата свинца. Энергия прорастания определялась на 4-е сутки, всхожесть – на 8-е сутки. На 8-е сутки также определялась длина корня и длина побега проростков тимфеевки.

В третьей серии экспериментов было изучено протекторное действие ЭК и S31 в отношении токсического действия ионов свинца (в концентрации 10^{-3} М) на растения тимфеевки луговой в ходе вегетационного лабораторного эксперимента. Были использованы следующие варианты опыта:

- 1) дистиллированная вода (контроль);
- 2) $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (10^{-3} М);
- 3) ЭК (10^{-8} М);
- 4) S31 (10^{-9} М);
- 5) ЭК (10^{-8} М) + $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (10^{-3} М);
- 6) S31 (10^{-9} М) + $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (10^{-3} М).

При предпосевной обработке семена замачивали в растворах стероидных соединений либо в дистиллированной воде, далее высаживали в пластиковые контейнеры с универсальным почвогрунтом и выращивали в лабораторных условиях в течение 2 недель. В зависимости от варианта опыта растения поливали водой либо 10^{-3} М раствором нитрата свинца. На 8-е сутки эксперимента определяли всхожесть семян, длину корня и длину побега проростков, сырую массу побегов. Сухую массу побегов определяли после высушивания при комнатной температуре в течение 2 недель. На 14-е

сутки эксперимента определяли содержание фотосинтетических пигментов спектрофотометрическим методом [7; 8] и активность каталазы методом М. А. Королук [9].

Статистическую обработку результатов проводили в соответствии с общепринятыми методиками биологической статистики согласно П. Ф. Рокицкому [10] с использованием программы Microsoft Excel. Установление достоверности различий от контроля проводили нахождением t-критерия Стьюдента.

Результаты исследования и их обсуждение

Влияние различных концентраций ионов свинца на растения тимофеевки луговой. Воздействие ионов свинца в концентрации 10^{-2} М вызывало в эксперименте гибель растений. Статистически достоверное токсическое действие ионов свинца в отношении растений тимофеевки луговой отмечается в вариантах опыта с концентрацией ионов свинца 10^{-4} М и 10^{-3} М (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние различных концентраций ионов свинца на растения тимофеевки луговой в лабораторном эксперименте

Вариант опыта	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Длина корня, мм	Длина побега, мм
Контроль	$50 \pm 2,5$	$77 \pm 2,1$	$16,86 \pm 0,81$	$25,55 \pm 0,59$
$Pb^{2+} 10^{-6}$ М	$46 \pm 2,5$	$73 \pm 2,2$	$16,18 \pm 0,82$	$27,45 \pm 0,63$
$Pb^{2+} 10^{-5}$ М	$49 \pm 2,5$	$77 \pm 2,1$	$17,54 \pm 0,82$	$26,97 \pm 0,69$
$Pb^{2+} 10^{-4}$ М	$38 \pm 2,4^{***}$	$70 \pm 2,3^*$	$12,46 \pm 0,72^{***}$	$24,62 \pm 0,81$
$Pb^{2+} 10^{-3}$ М	$7 \pm 1,3^{***}$	$51 \pm 2,5^{***}$	$1,38 \pm 0,36^{***}$	$16,60 \pm 0,94^{***}$

Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; *** – при $P \leq 0,001$

На основании приведенных в таблице 1 данных можно констатировать, что в варианте опыта с концентрацией ионов свинца 10^{-4} М наблюдается уменьшение энергии прорастания на 12 %, уменьшение всхожести на 7 %, уменьшение длины корня на 26,1 %, уменьшение длины побега на 3,6 % по сравнению с контролем.

В варианте опыта с концентрацией ионов свинца 10^{-3} М уменьшение энергии прорастания составляет 43 % по сравнению с контролем, уменьшение всхожести – 26 %, уменьшение длины корня – 91,8 %, уменьшение длины побега – 35,0 %.

Таким образом, для растений тимофеевки луговой воздействие ионов свинца в концентрации 10^{-3} М является достаточно сильным стресс-фактором. Данная концентрация ионов свинца была отобрана для изучения протекторного действия изучаемых брассиностероидов.

Влияние ЭК и S31 на растения тимофеевки луговой при воздействии ионов свинца в лабораторном эксперименте. Данные, полученные в ходе лабораторного эксперимента по влиянию ЭК и S31 на растения тимофеевки луговой при воздействии ионов свинца, приведены в таблице 2.

Анализ данных, приведенных в таблице 1, позволяет утверждать, что под действием ионов свинца энергия прорастания и всхожесть семян тимофеевки луговой уменьшаются. По сравнению с контролем уменьшение данных показателей составляет 6 % и 5 % соответственно. Предпосевная обработка семян ЭК и S31 способствует увеличению показателей энергии прорастания и всхожести. Так, в варианте опыта с S31 наблюдается статистически достоверное увеличение энергии прорастания на 10 % по сравнению с контролем.

Таблица 2 – Влияние эпикастастерона и тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона на развития тимфефевки луговой при воздействии ионов свинца в лабораторном эксперименте

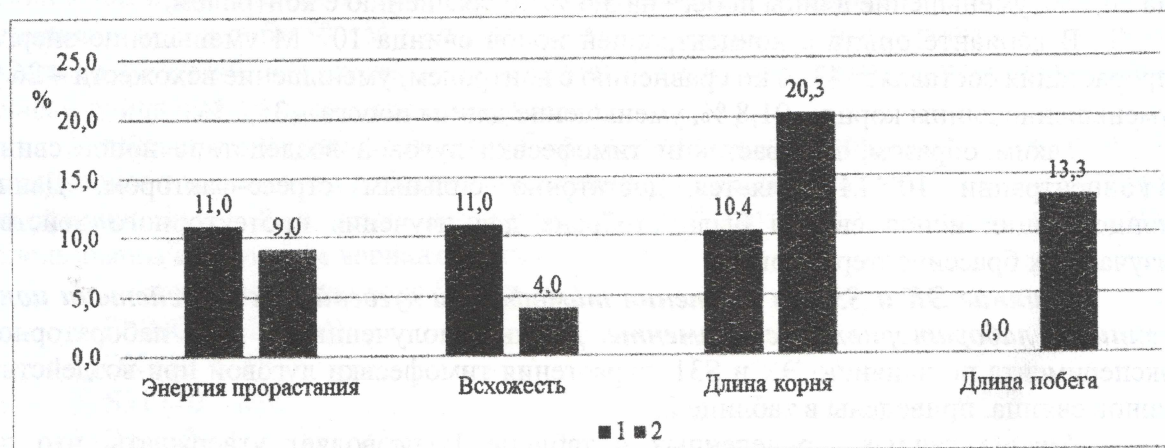
Вариант опыта	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Длина корня, мм	Длина побега, мм
Контроль	$47 \pm 2,9$	$65 \pm 2,8$	$25,03 \pm 0,77$	$30,18 \pm 0,81$
$Pb^{2+} 10^{-3} M$	$41 \pm 2,8$	$60 \pm 2,8$	$3,75 \pm 0,30^{***}$	$25,98 \pm 0,80^{***}$
ЭК $10^{-8} M$	$52 \pm 2,9$	$72 \pm 2,6$	$25,06 \pm 0,58$	$30,66 \pm 0,68$
S31 $10^{-9} M$	$57 \pm 2,9^*$	$68 \pm 2,7$	$25,92 \pm 0,66$	$31,91 \pm 0,77$
ЭК $10^{-8} M + Pb^{2+} 10^{-3} M$	$52 \pm 2,9^{**}$	$71 \pm 2,6^{**}$	$4,14 \pm 0,36$	$25,98 \pm 0,88$
S31 $10^{-9} M + Pb^{2+} 10^{-3} M$	$50 \pm 2,9^*$	$64 \pm 2,8$	$4,51 \pm 0,38$	$29,44 \pm 0,92^{**}$

Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$; *** – при $P \leq 0,001$.

Наиболее сильное токсическое действие ионы свинца оказывают на рост корня тимфефевки 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 тимфефевки 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.

Сравнение морфометрических показателей растений тимфефевки луговой, подвергнувшихся токсическому действию ионов свинца и обработанных ЭК и S31 по сравнению с растениями, не обработанными ЭК и S31, приведены на рисунке 1.



1 – ЭК, $10^{-8} M + Pb^{2+}, 10^{-3} M$; 2 – S31, $10^{-9} M + Pb^{2+}, 10^{-3} M$

Рисунок 1 – Влияние эпикастастерона и тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона на морфометрические показатели тимфефевки луговой, % относительно ионов свинца

Семена, подвергнувшиеся токсическому действию ионов свинца и обработанные ЭК, демонстрируют статистически достоверное повышение энергии прорастания и всхожести на 11 % соответственно по сравнению с семенами, которые подверглись

действию ионов свинца и не обрабатывались ЭК. Повышение показателя длины корня в данном варианте опыта составляет 10,4 % (рисунок 1).

Семена, подвергнувшиеся токсическому действию ионов свинца и обработанные S31, демонстрируют энергию прорастания и всхожесть выше на 9 и 4 % соответственно по сравнению с семенами, которые подверглись действию ионов свинца и не обрабатывались S31. Повышение показателя длины корня в данном варианте опыта составляет 20,3 %, показателя длины побега – 13,3 %. При этом статистически достоверными являются различия показателей энергии прорастания и длины побега.

Влияние ЭК и его конъюгата на растения тимopheевки луговой при воздействии ионов свинца в вегетационном лабораторном эксперименте. В таблице 3 приведены данные о влиянии эпикастастерона и тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона на морфометрические показатели тимopheевки луговой при воздействии ионов свинца в вегетационном эксперименте.

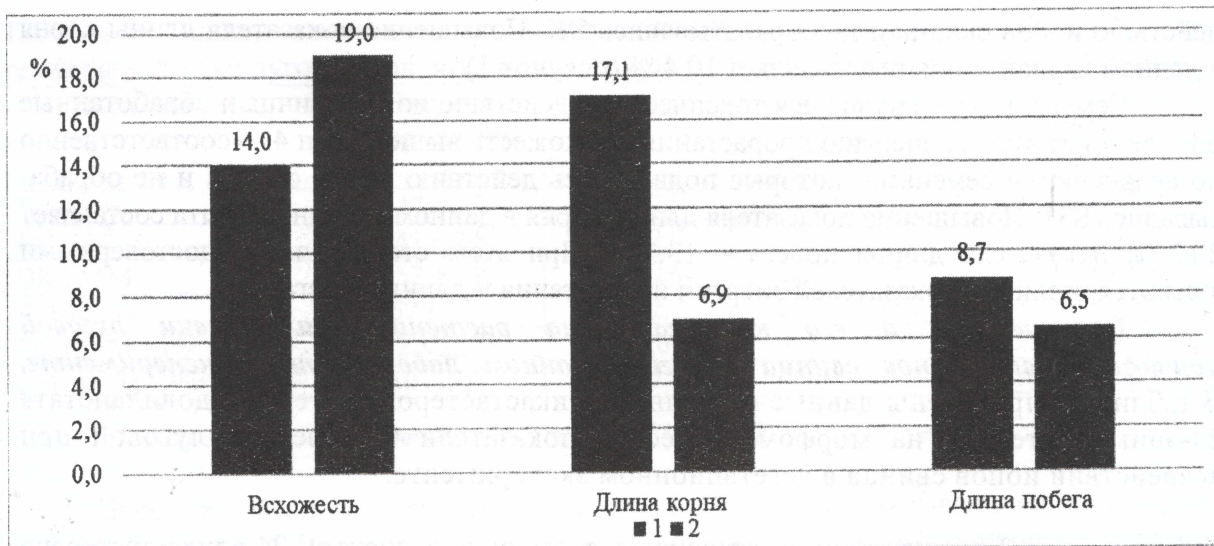
Таблица 3 – Влияние эпикастастерона и тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона на морфометрические показатели тимopheевки луговой при воздействии ионов свинца в вегетационном эксперименте

Вариант опыта	Всхожесть, %	Длина корня, мм	Длина побега, мм	Сырая масса 10 побегов, г	Сухая масса 10 побегов, г
Контроль	64 ± 3,4	24,79 ± 1,40	40,98 ± 1,36	0,0211 ± 0,0012	0,0022 ± 0,00025
Pb ²⁺ 10 ⁻³ М	58 ± 3,5	20,28 ± 0,93**	39,76 ± 1,43	0,0176 ± 0,0007	0,0018 ± 0,00026
ЭК 10 ⁻⁸ М	64 ± 3,4	22,22 ± 1,18	35,06 ± 1,24**	0,0183 ± 0,0005	0,0018 ± 0,00011
S31 10 ⁻⁹ М	70 ± 3,2	21,88 ± 1,23	36,18 ± 1,31*	0,0181 ± 0,0017	0,0018 ± 0,00023
ЭК 10 ⁻⁸ М + Pb ²⁺ 10 ⁻³ М	72 ± 3,2**	23,75 ± 1,04*	43,20 ± 1,33	0,0203 ± 0,0006*	0,0022 ± 0,00026
S31 10 ⁻⁹ М + Pb ²⁺ 10 ⁻³ М	77 ± 3,0***	21,68 ± 1,12	42,34 ± 1,15	0,0231 ± 0,0009**	0,0023 ± 0,00018

Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$; *** – при $P \leq 0,001$.

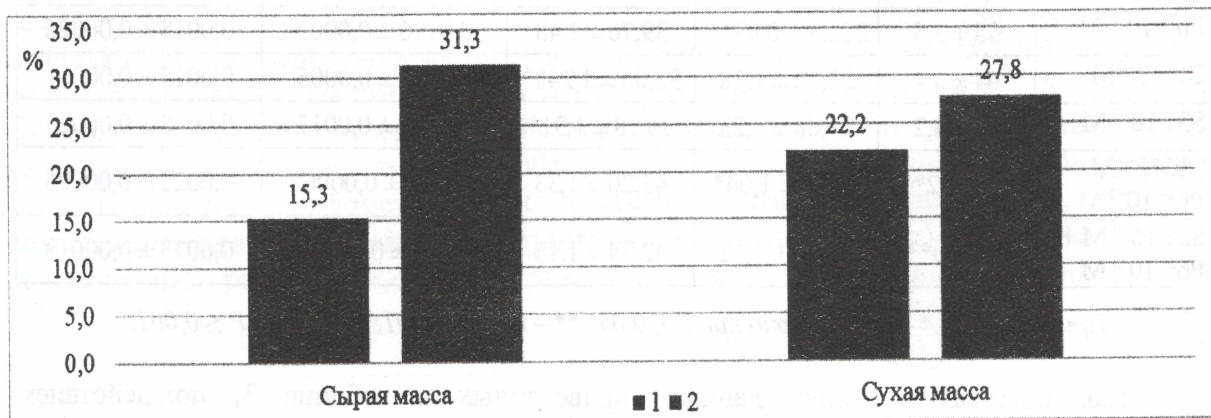
Как показывает анализ данных, приведенных в таблице 3, под действием ионов свинца все морфометрические показатели уменьшаются. Статистически достоверным является ингибирующий эффект в отношении показателя длины корня. По сравнению с контролем уменьшение длины корня составляет 18,2 %. При этом семена, не подвергшиеся воздействию ионов свинца и прошедшие предпосевную обработку стероидными соединениями, демонстрируют всхожесть, незначительно отличающуюся от контроля.

На рисунках 2, 3 приведены данные, позволяющие сопоставить действие эпикастастерона и тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона на растения тимopheевки луговой, подвергнувшиеся токсическому действию ионов свинца и обработанные ЭК и S31 по сравнению с растениями, не обработанными ЭК и S31 в вегетационном эксперименте.



1 – ЭК, $10^{-8} M + Pb^{2+}, 10^{-3} M$; 2 – S31, $10^{-9} M + Pb^{2+}, 10^{-3} M$

Рисунок 2 – Влияние эпикастастерона и тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона на показатели всхожести, длины корня и длины побега тимфеевки луговой, % относительно ионов свинца



1 – ЭК, $10^{-8} M + Pb^{2+}, 10^{-3} M$; 2 – S31, $10^{-9} M + Pb^{2+}, 10^{-3} M$

Рисунок 3 – Влияние эпикастастерона и тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона на показатели сырой и сухой массы побегов тимфеевки луговой, % относительно ионов свинца

Семена, прошедшие предпосевную обработку ЭК и S31 и подвергшиеся воздействию ионов свинца, демонстрируют повышение всхожести на 14 и 19 % соответственно по сравнению с семенами, которые не прошли предпосевную обработку изучаемыми стероидными соединениями (рисунок 2). У растений, которые подверглись токсическому действию ионов свинца и не прошли предпосевную обработку ЭК и S31, наблюдается уменьшение длины корня и длины побега соответственно на 18,2 и 3,0 % по сравнению с контролем. Растения, которые подверглись действию ионов свинца и прошли предпосевную обработку ЭК и S31, демонстрируют увеличение длины корня и длины побега по сравнению с растениями, которые предпосевную обработку не проходили (под действием ЭК различия данных показателей составляет 17,1 и 8,7 %, под действием S31 – 6,9 и 6,5 % соответственно).

Аналогичная тенденция наблюдается для показателей сырой и сухой массы побегов. Растения, подвергшиеся воздействию ионов свинца и не прошедшие

предпосевную обработку ЭК и S31, демонстрируют уменьшение сырой и сухой массы побегов 16,6 и 18,2 % по сравнению с контролем. Растения, подвергшиеся воздействию ионов свинца и прошедшие предпосевную обработку ЭК по сравнению с растениями, которые предпосевную обработку не прошли, демонстрируют увеличение сырой и сухой массы побегов на 15,3 и 22,2 % (рисунок 3). В случае предпосевной обработки S31 соответствующие показатели составляют 31,3 и 27,8 %.

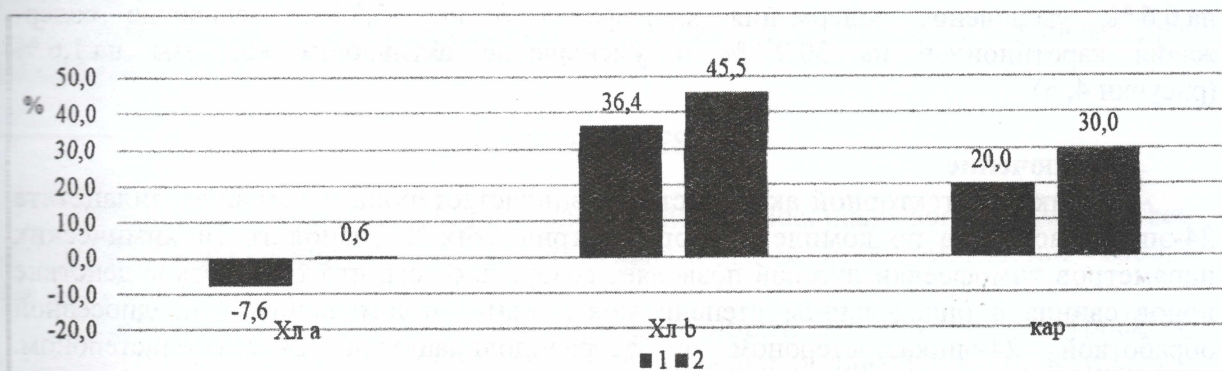
В таблице 4 приведены данные о влиянии эпикастастерона и тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона на физиолого-биохимические показатели тимOFFеевки луговой при воздействии ионов свинца в вегетационном эксперименте.

На рисунках 4 и 5 приведены данные, позволяющие сопоставить действие эпикастастерона и тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона на растения тимOFFеевки луговой, подвергнувшиеся токсическому действию ионов свинца и обработанные ЭК и S31 по сравнению с растениями, не обработанными ЭК и S31 в вегетационном эксперименте.

Таблица 4 – Влияние эпикастастерона и тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона на физиолого-биохимические показатели тимOFFеевки луговой при воздействии ионов свинца в вегетационном эксперименте

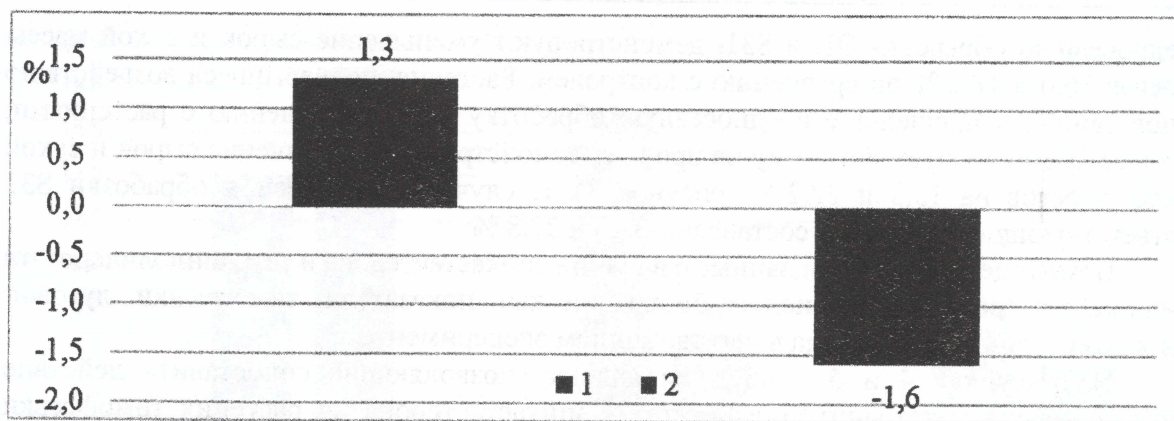
Вариант опыта	Содержание пигментов, мг/г			Активность каталазы, мкат/л
	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Каротиноиды	
Контроль	1,59 ± 0,118	0,19 ± 0,016	0,054 ± 0,006	835,3 ± 4,28
Pb ²⁺ 10 ⁻³ М	1,58 ± 0,145	0,11 ± 0,009	0,070 ± 0,008	867,9 ± 1,79*
ЭК 10 ⁻⁸ М	1,75 ± 0,156	0,22 ± 0,019	0,104 ± 0,008	867,3 ± 0,84*
S31 10 ⁻⁹ М	1,61 ± 0,134	0,19 ± 0,016	0,107 ± 0,009	849,8 ± 2,90
ЭК 10 ⁻⁸ М + Pb ²⁺ 10 ⁻³ М	1,46 ± 0,104	0,15 ± 0,017	0,084 ± 0,005	879,5 ± 0,78**
S31 10 ⁻⁹ М + Pb ²⁺ 10 ⁻³ М	1,59 ± 0,113	0,16 ± 0,019	0,091 ± 0,009	854,2 ± 0,48*

Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$.



1 – ЭК, 10⁻⁸ М + Pb²⁺, 10⁻³ М; 2 – S31, 10⁻⁹ М + Pb²⁺, 10⁻³ М

Рисунок 4 – Влияние эпикастастерона и тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона на содержание фотосинтетических пигментов тимOFFеевки луговой, % относительно ионов свинца



1 – ЭК, 10^{-8} М + Pb^{2+} , 10^{-3} М; 2 – S31, 10^{-9} М + Pb^{2+} , 10^{-3} М.

Рисунок 5 – Влияние эпикастерона и тетраиндолилацетата 24-эпикастерона на активность каталазы тимфеевки луговой, % относительно ионов свинца

Как показывает анализ данных таблицы 4, под действием ионов свинца наблюдается уменьшение содержания хлорофилла *a* и *b* (на 0,6 и 42,1 % соответственно) и одновременно увеличение содержания каротиноидов и активности каталазы (на 29,6 и 3,9 % соответственно).

Растения, подвергшиеся воздействию ионов свинца и прошедшие предпосевную обработку ЭК, по сравнению с растениями, которые предпосевную обработку не прошли, демонстрируют уменьшение содержания хлорофилла *a* на 7,6 %, увеличение содержания хлорофилла *b* на 36,4 %, увеличение содержания каротиноидов на 20,0 % и увеличение активности каталазы на 1,3 %.

Растения, подвергшиеся воздействию ионов свинца и прошедшие предпосевную обработку S31, по сравнению с растениями, которые предпосевную обработку не прошли, демонстрируют увеличение содержания хлорофилла *a* на 0,6 %, увеличение содержания хлорофилла *b* на 45,5 %, увеличение содержания каротиноидов на 30,0 % и уменьшение активности каталазы на 1,6 % (рисунки 4, 5).

Заключение

Оценка протекторной активности 24-эпикастерона и тетраиндолилацетата 24-эпикастерона по комплексу морфометрических и физиолого-биохимических параметров тимфеевки луговой позволяет говорить о том, что токсическое действие ионов свинца в определенной степени может быть минимизировано предпосевной обработкой 24-эпикастероном и тетраиндолилацетата 24-эпикастероном. Морфометрическими параметрами, наиболее отзывчивыми на их действие, являются длина корня, сырая и сухая масса побегов.

Растения, которые подверглись токсическому действию ионов свинца и прошедшие предпосевную обработку 24-эпикастероном и тетраиндолилацетатом 24-эпикастероном, по сравнению с растениями, которые подверглись действию ионов свинца, но не обрабатывались стероидными соединениями, демонстрируют некоторые изменения физиолого-биохимического статуса, о чем свидетельствует увеличение содержания хлорофилла *b* и каротиноидов. При этом активность каталазы, являющейся основным ферментом антиоксидантной системы растений, изменяется весьма незначительно.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kripach, V. Twenty years of brassinosteroids: steroidal plants hormones warrant better crops for the XXI century / V. Kripach, V. Zhabinskii, A. de Groot // *Annals Bot.* – 2000. – Vol. 86. – P. 441–447.
2. Хрипач, В. А. Брассиностероиды и урожай. Экологически дружественный подход к решению проблемы производства высококачественной продукции / В. А. Хрипач // *Химико-биологические технологии и экологическая безопасность : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 15–17 мая 2001 г. ; под ред. И. И. Лиштвана [и др.]. – Минск, 2001. – С. 121–130.*
3. Синтез и стресс-протекторное действие на растения конъюгатов брассиностероидов с салициловой кислотой / Р. П. Литвиновская [и др.] // *Химия природ. соединений.* – 2016. – № 3. – С. 394–398.
4. Индолил-3-ацетоксипроизводные брассиностероидов: синтез и рострегулирующая активность / Р. П. Литвиновская [и др.]. // *Химия природ. соединений.* – 2013. – Т. 49, № 3. – С. 408–414.
5. Коваленко, В. В. Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на морфометрические и физиолого-биохимические параметры тимфеёвки луговой (*Phleum pratense* L.) / В. В. Коваленко // *Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Біялогія. Навукі аб зямлі.* – 2022. – № 1. – С. 22–30.
6. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести : ГОСТ 12038–84. – Введ. 01.07.86. – М. : Стандартинформ, 2011. – 29 с.
7. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по фотосинтезу / В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова ; под ред. И. П. Ермакова. – М. : Академия, 2003. – 256 с.
8. Шульгин, И. А. Расчет содержания пигментов с помощью номограмм / И. А. Шульгин, А. А. Ничипорович // *Хлорофилл : сб. науч. ст. ; под ред. А. А. Шлыка.* – Минск : Наука и техника, 1974. – С. 121–136.
9. Метод определения активности каталазы / М. А. Королук [и др.] // *Лаб. дело.* – 1988. – № 1. – С. 16–19.
10. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск : Ураджай, 1973. – 320 с.

REFERENCES

1. Kripach, V. Twenty years of brassinosteroids: steroidal plants hormones warrant better crops for the XXI century / V. Kripach, V. Zhabinskii, A. de Groot // *Annals Bot.* – 2000. – Vol. 86. – P. 441–447.
2. Khripach, V. A. Brassinosteroidy i urozhaj. Ekologichieskij družestviennyi podkhod k riesheniju problemy proizvodstva vysokokachiestvennoj produkcii / V. A. Khripach // *Khimiko-biologichieskije tiekhnologii i ekologichieskaja biezopasnost' : materialy Miezhdunar. nauch.-prakt. konf., Minsk, 15–17 maja 2001 g. ; pod ried. I. I. Lishtvana [i dr.]. – Minsk, 2001. – S. 121–130.*
3. Sintez i stress-protektornoje diejstvije na rastienija konjugatov brassinostieroidov s salicilovoj kislotoj / R. P. Litvinovskaja [i dr.]. // *Khimija prirod. sojedinenij.* – 2016. – № 3. – S. 394–398.
4. Indolil-3-acetoksiproizvodnyje brassinostieroidov: sintez i rostriegulirujushchaja aktivnost' / R. P. Litvinovskaja [i dr.]. // *Khimia prirod. sojedinenij.* – 2013. – T. 49, № 3. – S. 408–414.

5. Kovalienko, V. V. Vlijanije epikastastierona i jeho konjugatov na morfometričieskije i fiziologo-biokhimichieskije paramietry timofiejevki lugovoj (*Phleum pratense* L.) / V. V. Kovalienko // Viesn. Besc. un-ta. Sier. 5, Bijalohija. Navuki ab ziamli. – 2022. – № 1. – S. 22–30.

6. Siemiena siel'skokhoziajstviennykh kul'tur. Mietody opriedielienija vskhozhesti : GOST 12038–84. – Vvied. 01.07.86. – M. : Standartinform, 2011. – 29 s.

7. Gavrilienko, V. F. Bol'shoj praktikum po fotosintezu / V. F. Gavrilienko, T. V. Zhigalova ; pod ried. I. P. Yermakova – M. : Akadiemiia, 2003. – 256 s.

8. Shul'gin, I. A. Raschiot sodierzhanija pigmientov s pomoshchju nomogramm / I. A. Shul'gin, A. A. Nichiporovich // Khlorofill : sb. nauch. st. ; pod ried. A. A. Shlyka. – Minsk : Nauka i tiekhnika, 1974. – S. 121–136.

9. Mietod opriedielienija aktivnosti katalazy / M. A. Koroliuk [i dr.] // Lab. dielo. – 1988. – № 1. – S. 16–19.

10. Rokickij, P. F. Biologichieskaja statistika / P. F. Rokickij. – Minsk : Uradzhaj, 1973. – 320 s.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 03.01.2023