

УДК 577.175.1:581.143:57.085

Елена Георгиевна Артемук

канд. биол. наук, доц., зав. каф. зоологии, генетики и химии
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Alena Artsiamuk

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Zoology, Genetics and Chemistry
of Brest State A. S. Pushkin University

e-mail: artsiamuk@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ТЕТРАСУКЦИНАТА 24-ЭПИКАСТЕРОНА НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ *TRIFOLIUM PRATENSE* L.*

Изучена биологическая активность конъюгата 24-эпикастерона (ЭК) – тетрасукцината 24-эпикастерона на морфометрические параметры и содержание фотосинтетических пигментов в растениях клевера лугового в зависимости от типов обработки. В опытах на беспочвенной среде отмечается положительное действие тетрасукцината 24-эпикастерона на рост корней клевера лугового в концентрациях 10^{-9} М и 10^{-8} М. По результатам вегетационного лабораторного опыта из протестированных веществ и концентраций для клевера лугового максимальным эффектом повышения морфометрических параметров (длины корня и побега) и содержания фотосинтетических пигментов обладает тетрасукцинат 24-эпикастерона в концентрации 10^{-9} М (как при использовании предпосевной обработки семян, так и при внекорневой обработке), а также 24-эпикастерон в концентрации 10^{-10} М при внекорневой обработке растений (опрыскивание).

Ключевые слова: brassinosteroids, 24-эпикастерон, тетрасукцинат 24-эпикастерона, клевер, рострегулирующая активность, фотосинтетические пигменты.

The Effect of 24-Epicasterone Tetrasuccinate on the Morphometric Parameters and Content Photosynthetic Pigments in *Trifolium Pratense* L. Plants

The biological activity of the 24-epicasterone (EC) conjugate – 24-epicasterone tetrasuccinate was studied on morphometric parameters and the content of photosynthetic pigments in red clover plants depending on the types of treatment. In experiments on a soilless medium, a positive effect of 24-epicasterone tetrasuccinate on the growth of meadow clover roots was noted at concentrations of 10^{-9} M and 10^{-8} M. According to the results of a vegetation laboratory experiment, of the tested substances and concentrations for red clover, the maximum effect of increasing morphometric parameters (root and shoot length) and the content of photosynthetic pigments has 24-epicasterone tetrasuccinate at a concentration of 10^{-9} M, both when using pre-sowing seed treatment and foliar treatment, as well as 24-epicasterone at a concentration of 10^{-10} M during foliar treatment of plants (spraying).

Key words: brassinosteroids, 24-epicasterone, 24-epicasterone tetrasuccinate, clover, growth-regulating activity, photosynthetic pigments.

Введение

Повышение продуктивности сельскохозяйственных культур в изменяющихся условиях среды остается одной из важнейших задач в растениеводстве. Сегодня наряду с общепринятыми способами улучшения качества сельскохозяйственной продукции, а также повышения его устойчивости к неблагоприятным факторам используют различные биологически активные вещества, которые способны не только повышать

*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 «Химические основы процессов жизнедеятельности» (Биоорхимия) ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия» на 2021–2025 гг. (№ госрегистрации 20211450 от 20.05.2021 г.).

иммунитет растений к стрессовым факторам, но и не наносит вреда почве, в которой выращивается культура. К таким веществам относятся брассиностероиды (БС) – класс растительных стероидных соединений, играющих важную роль в регуляции физиологических процессов у растений [1]. Доказано, что в небольших концентрациях они оказывают положительное влияние на урожайность и качество урожая некоторых сельскохозяйственных культур [2; 3]. Имеются исследования, доказывающие защитное действие БС в определенном диапазоне концентраций, приводящее к ослаблению ингибирующих растения стрессовых факторов [4; 5]. Для возможного улучшения физико-химических, регуляторных и защитных свойств БС синтезированы их конъюгаты с другими органическими соединениями, в том числе и кислотами, обладающими определенной биологической активностью. Сегодня продолжаются исследования фитостероидных гормонов – брассиностероидов – и их новых синтезированных производных (конъюгатов) [6–8] с целью определения наиболее эффективных концентраций и способов обработки, оказывающих влияние на функциональные параметры (морфометрические и биохимические), в особенности на рост и развитие растений, в частности клевера лугового *Trifolium pratense* L.

Целью данного исследования является изучение биологической активности 24-эпикастастерона и его конъюгата с янтарной кислотой на морфометрические параметры и содержание фотосинтетических пигментов в растениях клевера лугового *Trifolium pratense* L.

Материалы и методы

Для изучения влияния биологической активности 24-эпикастастерона и его конъюгата – тетраэпикастастерона в качестве объекта исследования был выбран клевер луговой (*Trifolium pratense* L.) сорта Слуцкий. Клевер луговой сорта Слуцкий – местный сорт, широко распространенный в хозяйствах Республики Беларусь.

24-эпикастастерон и его конъюгат – 2,3,22,23-тетраэпикастастерон (S439) синтезированы в Лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси.

Определение эффективных концентраций 2, 3, 22, 23-тетраэпикастастерона в лабораторных условиях. Обработка исследуемыми веществами проводилась однократно в виде предварительного замачивания семян на 5 ч. Для исследований был использован широкий диапазон концентраций тетраэпикастастерона – 10^{-6} – 10^{-11} М. 24-эпикастастерон (ЭК) для лабораторных исследований использовался в концентрации 10^{-10} М, при которой в предыдущих опытах оказывался максимальный эффект на морфометрические параметры (длину корня и побега) клевера лугового. Изучение морфометрических параметров клевера, характеризующих начальные этапы роста и развития сельскохозяйственных культур, проводилось по ГОСТу 12038–84 [9]. Проращивание осуществлялось на фильтровальной бумаге в термостате при 20 °С в темноте, на третьи сутки фиксировали энергию прорастания семян, на седьмые сутки определяли всхожесть, среднюю длину корней и побегов проростков клевера [10]. Все опыты проводились в четырехкратной повторности. В качестве контроля использовалась обработка водой. В результате проведенных исследований были отобраны эффективные концентрации 2, 3, 22, 23-тетраэпикастастерона, оказывающие наибольший достоверный эффект на рост корней и побегов клевера лугового.

Определение воздействия ЭК и его конъюгата – тетраэпикастастерона на клевер луговой в вегетационном лабораторном эксперименте при различных способах обработки. В лабораторных условиях на почвенной среде [11–13] были протестированы два способа обработки растений гормонами в отобранных концентрациях: предпосевная (замачивание семян) и внекорневая обработка (опрыскивание рас-

тений). При предпосевной обработке семена замачивали в растворе ЭК и его конъюгата – тетраэукцината 24-эпикастестерона в течение пяти часов, далее высаживали в пластиковые контейнеры $9 \times 9 \times 8$ см на универсальном почвогрунте («Хозяин, Карио», Республика Беларусь) и выращивали при $22-25^\circ\text{C}$ в лабораторных условиях вегетационного эксперимента в течение месяца. При внекорневой обработке семена высаживались в контейнеры без обработки, внесение исследуемых соединений проводили путем опрыскивания растений. Внекорневая обработка проводилась дважды – на стадии всходов растений и на стадии первого настоящего тройчатого листа.

В качестве контроля растения выращивали с обработкой водой. Фиксировались значения длины подземной (корней) и надземной (побегов) частей клевера лугового, а также содержания основных фотосинтетических пигментов (хлорофилла *a* и *b*, каротиноидов). Для определения содержания основных фотосинтетических пигментов использовали спектрофотометрический метод [14; 15]. В качестве растворителя был выбран 100 %-й ацетон.

Статистическую обработку всех полученных результатов проводили по общепринятым методикам биологической статистики согласно П. Ф. Рокицкому [16] с использованием программы Microsoft Excel и *t*-критерия Стьюдента.

Результаты и их обсуждение

Изучение влияния конъюгата 24-эпикастестерона – тетраэукцинат 24-эпикастестерона (S439) на длину корня клевера лугового показало, что растения клевера положительно отзываются на предварительное замачивание в растворах исследуемого стероидного соединения в концентрациях 10^{-9} М и 10^{-8} М (таблица 1, рисунок 1). Так, использование S439 в концентрации 10^{-9} М приводило к увеличению средней длины корней на 15,0 % по сравнению с контролем (различия статистически достоверны). Использование S439 в концентрации 10^{-8} М приводило к статистически достоверному увеличению средней длины корней на 22,7 % по сравнению с контролем, а побегов – на 3,5 %.

В сравнении с действием 24-эпикастестерона (ЭК) на клевер луговой (в концентрации 10^{-10} М) тетраэукцинат 24-эпикастестерона (S439) в концентрациях 10^{-9} М и 10^{-8} М оказывал незначительное, но все-таки более высокое воздействие на рост корней клевера лугового на начальной стадии их роста. Так, наблюдалось повышение длины корней на 1,1 и 7,9 % по сравнению с ЭК (таблица 1, рисунок 1).

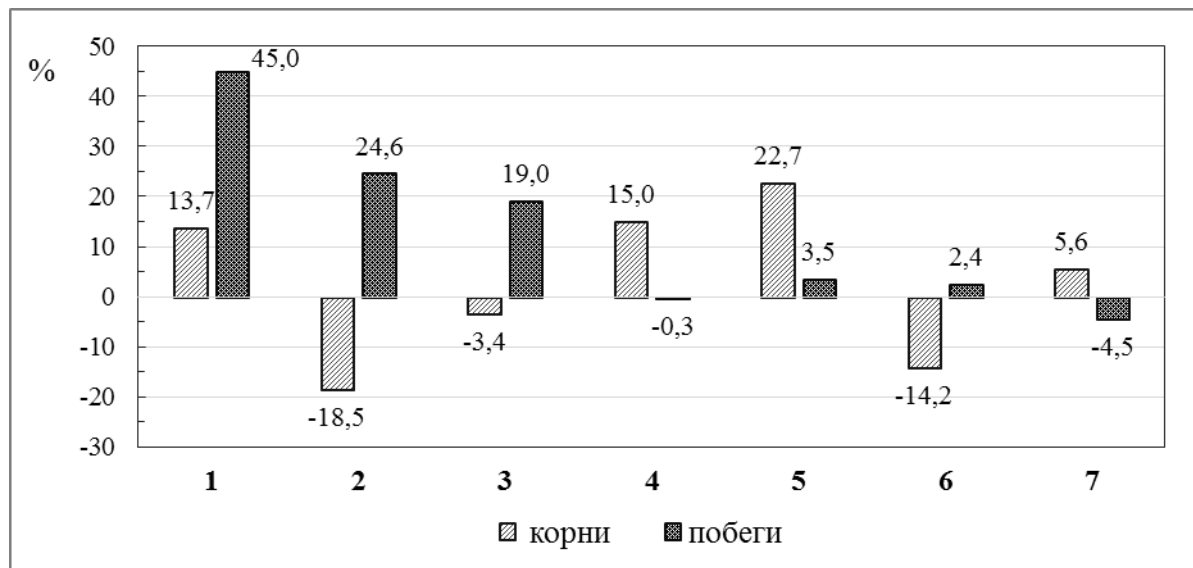
Таблица 1 – Влияние 24-эпикастестерона и тетраэукцината 24-эпикастестерона на морфометрические параметры клевера лугового сорта Слуцкий в лабораторном эксперименте

Вариант опыта	Корень		Побег	
	длина, мм	% к контролю	длина, мм	% к контролю
Контроль	$23,3 \pm 0,74$	100,0	$28,9 \pm 0,65$	100,0
ЭК, 10^{-10} М	$26,5 \pm 0,42^{***}$	113,7	$41,9 \pm 0,61^{***}$	145,0
S439, 10^{-11} М	$19,0 \pm 0,47^{***}$	81,5	$36,0 \pm 0,34^{***}$	124,6
S439, 10^{-10} М	$22,5 \pm 0,59$	96,6	$34,4 \pm 0,53^{***}$	119,0
S439, 10^{-9} М	$26,8 \pm 0,75^{***}$	115,0	$28,8 \pm 0,42$	99,7
S439, 10^{-8} М	$28,6 \pm 0,58^{***}$	122,7	$29,9 \pm 0,44$	103,5
S439, 10^{-7} М	$20,0 \pm 0,62^{***}$	85,8	$29,6 \pm 0,51$	102,4
S439, 10^{-6} М	$24,6 \pm 0,72$	105,6	$27,6 \pm 0,58$	95,5

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

Таким образом, по результатам лабораторного опыта наиболее эффективными концентрациями тетраэукцината 24-эпикастестерона (S439), оказывающими наибольший достоверный эффект на рост корней клевера лугового, являются 10^{-9} М и 10^{-8} М.

Эти концентрации были использованы для анализа влияния конъюгата 24-эпикастастерона – тетраСУКЦИНАТА 24-эпикастастерона на морфометрические параметры и содержание фотосинтетических пигментов в растениях клевера лугового, выращенного в защищенном грунте в результате вегетационного лабораторного опыта.



1 – ЭК, 10^{-10} М; 2 – S439, 10^{-11} М; 3 – S439, 10^{-10} М; 4 – S439, 10^{-9} М;
5 – S439, 10^{-8} М; 6 – S439, 10^{-7} М; 7 – S439, 10^{-6} М

Рисунок 1 – Влияние 24-эпикастастерона и тетраСУКЦИНАТА 24-эпикастастерона на морфометрические параметры клевера лугового сорта Слуцкий, % относительно контроля

Вегетационный лабораторный эксперимент

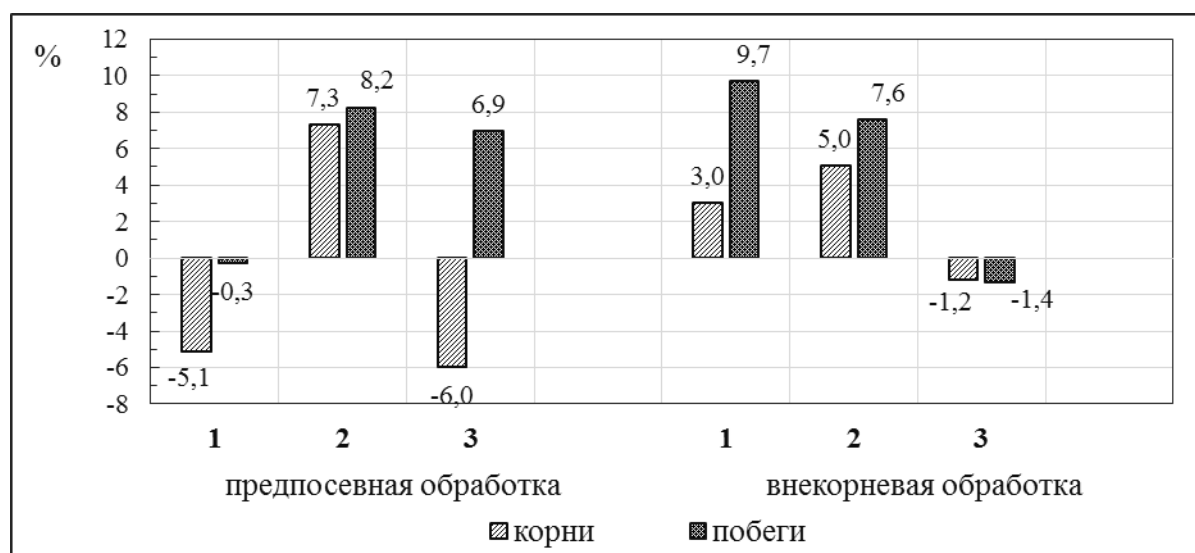
Второй блок исследований был связан с анализом влияния конъюгата 24-эпикастастерона – тетраСУКЦИНАТА 24-эпикастастерона на морфометрические и физиолого-биохимические параметры клевера лугового, выращенного в защищенном грунте в результате вегетационного лабораторного опыта, с изучением параметров длины подземной и надземной частей, а также содержания основных фотосинтетических пигментов. Для проведения вегетационного опыта были использованы наиболее эффективные концентрации ЭК и его конъюгата – тетраСУКЦИНАТА 24-эпикастастерона, которые в предварительном лабораторном опыте оказывали наибольший эффект на посевные качества семян, рост корней и побегов клевера лугового.

Исследование воздействия ЭК и его конъюгата S439 на морфометрические параметры клевера лугового (средняя длина корней и средняя длина побегов) показало, что только S439 в концентрации 10^{-9} М оказывал положительное влияние при предпосевной обработке семян клевера лугового (таблица 2, рисунок 2). Так, при обработке S439 в концентрации 10^{-9} М длина корней увеличивалась на 7,3 %, побегов – на 8,2 % по сравнению с контролем (различия статистически достоверны). При внекорневой обработке (двойное опрыскивание растений) положительное влияние на рост корней и побегов оказал ЭК в концентрации 10^{-10} М (длина корней увеличивалась на 3,0 % (однако различия статистически не достоверны), побегов – на 9,7 % по сравнению с контролем) и его конъюгат S439 в концентрации 10^{-9} М (длина корней была выше на 5,0 %, побегов – на 7,6 % по сравнению с контролем, различия статистически достоверны) (таблица 2, рисунок 2).

Таблица 2 – Влияние 24-эпикастерона и тетраСУКЦИНАТА 24-эпикастерона на морфометрические параметры клевера лугового сорта СЛУЦКИЙ (вегетационный лабораторный опыт)

Вариант опыта	Корень		Побег	
	длина, мм	% к контролю	длина, мм	% к контролю
Предпосевная обработка				
Контроль	46,8 ± 0,96	100,0	63,6 ± 1,0	100,0
ЭК ⁻¹⁰ М	44,4 ± 0,72*	94,9	63,4 ± 0,87	99,7
S439, 10 ⁻⁹ М	50,2 ± 0,84**	107,3	68,8 ± 1,15***	108,2
S439, 10 ⁻⁸ М	44,0 ± 1,06	94,0	68,0 ± 1,22**	106,9
Внекорневая обработка				
Контроль	49,6 ± 0,53	100,0	65,9 ± 0,97	100,0
ЭК ⁻¹⁰ М	51,1 ± 0,56	103,0	72,3 ± 1,02***	109,7
S439, 10 ⁻⁹ М	52,1 ± 0,57**	105,0	70,9 ± 1,04***	107,6
S439, 10 ⁻⁸ М	49,0 ± 0,72	98,8	65,0 ± 0,93	98,6

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



1 – ЭК, 10⁻¹⁰ М; 2 – S439, 10⁻⁹ М; 3 – S439, 10⁻⁸ М

Рисунок 2 – Влияние 24-эпикастерона и тетраСУКЦИНАТА 24-эпикастерона на морфометрические параметры клевера лугового сорта СЛУЦКИЙ, % относительно контроля

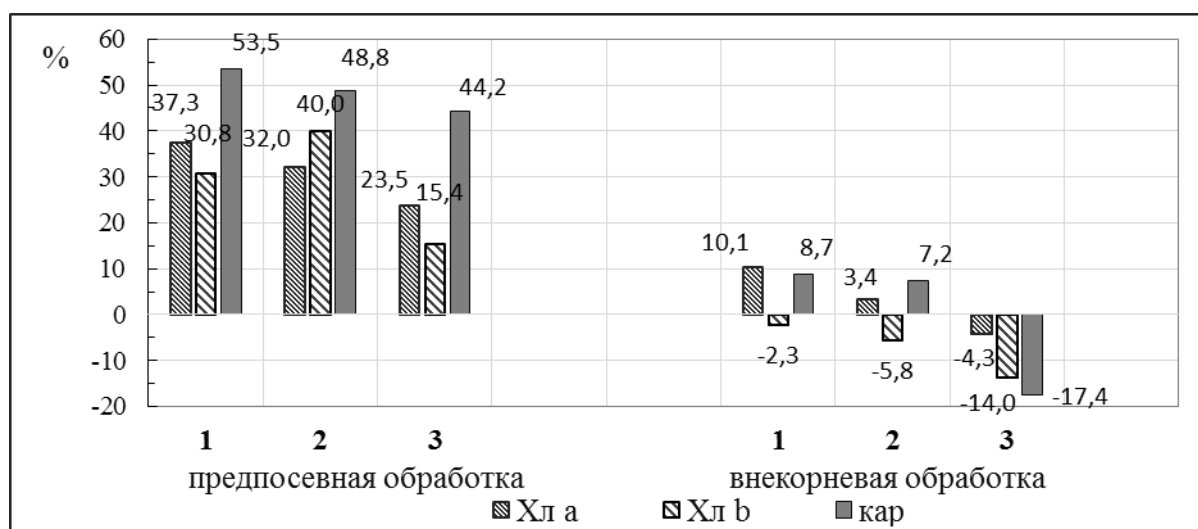
Исследование содержания основных фотосинтетических пигментов в листьях клевера лугового проводилось с изучением концентрации хлорофилла *a* (Хл *a*), хлорофилла *b* (Хл *b*) и каротиноидов (Кар). При предпосевном замачивании семян клевера в растворах брассиностероидов наблюдается увеличение содержания хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов в листьях при использовании ЭК и его конъюгата S439 в концентрациях 10⁻⁹ М и 10⁻⁸ М (по сравнению с контролем). Однако эти различия статистически достоверны только для ЭК и S439 в концентрации 10⁻⁹ М. Так, содержание хлорофилла *a* увеличивается на 23,5–37,3 %, хлорофилла *b* на 15,4–40,0 % и каротиноидов – на 44,2–53,5 % по сравнению с контролем (таблица 3, рисунок 3). При внекорневой обработке увеличение содержания хлорофилла *a* и каротиноидов наблюдается при использовании ЭК в концентрации 10⁻¹⁰ М (на 10,1 и 8,7 % соответственно) и его

конъюгата S439 в концентрации 10^{-9} М (на 3,4 и 7,2 % соответственно). Однако разница с контролем статистически не достоверна.

Таблица 3 – Влияние 24-эпикастерона и тетраСУКЦИНАТ 24-эпикастерона на содержание фотосинтетических пигментов в листьях клевера лугового сорта Слуцкий (вегетационный лабораторный опыт)

Вариант опыта	Содержание, мг/г		
	хлорофилла <i>a</i>	хлорофилла <i>b</i>	каротиноидов
Предпосевная обработка			
Контроль	$1,53 \pm 0,10$	$0,65 \pm 0,05$	$0,43 \pm 0,02$
ЭК $^{-10}$ М	$2,10 \pm 0,04^*$	$0,85 \pm 0,02^*$	$0,66 \pm 0,01^{**}$
S439, 10^{-9} М	$2,02 \pm 0,12^*$	$0,91 \pm 0,05^*$	$0,64 \pm 0,01^{**}$
S439, 10^{-8} М	$1,89 \pm 0,11$	$0,75 \pm 0,04$	$0,62 \pm 0,02^{**}$
Внекорневая обработка			
Контроль	$2,08 \pm 0,13$	$0,86 \pm 0,02$	$0,69 \pm 0,02$
ЭК $^{-10}$ М	$2,29 \pm 0,03$	$0,84 \pm 0,05$	$0,75 \pm 0,01$
S439, 10^{-9} М	$2,15 \pm 0,07$	$0,81 \pm 0,02$	$0,74 \pm 0,02$
S439, 10^{-8} М	$1,99 \pm 0,10$	$0,74 \pm 0,04^*$	$0,57 \pm 0,01^*$

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



1 – ЭК, 10^{-10} М; 2 – S439, 10^{-9} М; 3 – S439, 10^{-8} М

Рисунок 3 – Влияние 24-эпикастерона и тетраСУКЦИНАТ 24-эпикастерона на содержание фотосинтетических пигментов в листьях клевера лугового сорта Слуцкий, % относительно контроля

Заключение

В лабораторных условиях проведено двухэтапное исследование биологической активности конъюгата 24-эпикастерона (ЭК) – тетраСУКЦИНАТ 24-эпикастерона по влиянию на морфометрические параметры и содержание фотосинтетических пигментов в растениях клевера лугового *Trifolium pratense* L. В почвенной среде дополнительно изучены зависимости влияния исследуемого конъюгата от способов его внесения.

Показано, что в лабораторных условиях на начальном этапе развития растений наиболее эффективными концентрациями тетраСУКЦИНАТ 24-эпикастерона (S439),

оказывающими наибольший достоверный эффект на рост корней клевера лугового, являются 10^{-9} М и 10^{-8} М.

По результатам вегетационного лабораторного опыта из протестированных веществ и концентраций для клевера лугового максимальным эффектом повышения морфометрических параметров (длины корня и побега) и содержания фотосинтетических пигментов обладает тетраэукцилат 24-эпикастестерона (S439) в концентрации 10^{-9} М (как при использовании предпосевной обработки семян, так и при внекорневой обработке), а также 24-эпикастестерон в концентрации 10^{-10} М при внекорневой обработке растений (опрыскивание).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Жабинский, В. Н. Синтез, свойства и практическое использование брассиностероидов и родственных соединений : автореф. дис. ... д-ра хим. наук : 02.00.03 / В. Н. Жабинский ; Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2000. – 46 с.
2. Кароза, С. Э. Влияние брассиностероидов на морфометрические показатели гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench.) в лабораторных и полевых условиях (Брестская область) / С. Э. Кароза // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2018. – № 2. – С. 38–44.
3. Кароза, С. Э. Влияние стероидных гликозидов на начальные этапы роста и урожайность гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench.) в лабораторных и полевых условиях (Брестская область) / С. Э. Кароза // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2020. – № 1. – С. 45–53.
4. Особенности действия брассиностероидов на растения в условиях солевого стресса / Н. А. Ламан [и др.] // Докл. НАН Беларуси. Биология. – 2022. – Т. 66, № 2. – С. 199–205.
5. Биологическая активность брассиностероидов и стероидных гликозидов / С. Э. Кароза [и др.] ; под общ. ред. С. Э. Карозы. – Брест : БрГУ, 2020. – 260 с.
6. Synthesis and stress-protective action on plants of brassinosteroid conjugates with salicylic acid / R. P. Litvinovskaya [et al.] // Chemistry of Natural Compounds. – 2016. – Vol. 52, № 3. – P. 452–457.
7. Защитное действие салицилатов брассиностероидов на растения ярового ячменя, подвергнутых биотическому стрессу / Н. Е. Манжелесова [и др.] // Докл. НАН Беларуси. – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 304–311.
8. Индолил-3-ацетоксипроизводные брассиностероидов: синтез и рострегулирующая активность / Р. П. Литвиновская [и др.] // Химия природ. соединений. – 2013. – № 3. – С. 408–414.
9. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести : ГОСТ 12038–84. – Введ. 01.07.86. – М. : Стандартинформ, 2011. – 29 с.
10. Методика определения силы роста семян кормовых культур / В. И. Карпин [и др.]. – М. : Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. – 16 с.
11. Журбицкий, З. И. Теория и практика вегетационного метода / З. И. Журбицкий. – М. : Наука, 1968. – 260 с.
12. Дуктова, Н. А. Учебная практика по физиологии и биохимии растений : программа и метод. указания / Н. А. Дуктова, А. И. Мыхлык, В. П. Моисеев. – Горки : БГСХА, 2018. – 56 с.
13. Агрохимические методы исследований : учеб.-метод. пособие / В. Н. Дышко [и др.]. – Смоленск : ФГБОУ ВПО «Смоленская ГСХА», 2014. – 197 с.
14. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по фотосинтезу / В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова ; под ред. И. П. Ермакова – М. : Академия, 2003. – 256 с.

15. 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.

16. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск : Ураджай, 1973. – 320 с.

REFERENCES

1. Zhabinskij, V. N. Sintez, svojstva i praktichieskoje ispol'zovanie brassinosteroidov i rodstviennykh sojedinenij : avtorief. dis. ... d-ra khim. nauk : 02.00.03 / V. N. Zhabinskij ; Belarus. gos. un-t. – Minsk, 2000. – 46 s.

2. Karoza, S. E. Vlijanije brassinosteroidov na morfometricheskije pokazateli griechikhi posievnoj (*Fagopyrum esculentum* Moench.) v laboratornykh i polievnykh uslovijakh (Briestskaja oblast') / S. E. Karoza // Viesn. Besc. un-ta. Sier. 5, Khimija. Bijalohija. Navuki ab ziamli. – 2018. – № 2. – S. 38–44.

3. Karoza, S. E. Vlijanije steroidnykh glikozidov na nachal'nyje etapy rosta i urozhajnost' grechikhi posievnoj (*Fagopyrum esculentum* Moench.) v laboratornykh i polievnykh uslovijakh (Briestskaja oblast') / S. E. Karoza // Viesn. Besc. un-ta. Sier. 5, Khimija. Bijalohija. Navuki ab ziamli. – 2020. – № 1. – S. 45–53.

4. Osobiennosti dejstvija brassinosteroidov na rastienija v uslovijakh solievogo stressa / N. A. Laman [i dr.] // Dokl. NAN Bielarusi. Biologija. – 2022. – T. 66, № 2. – S. 199–205.

5. Biologichieskaja aktivnost' brassinosteroidov i steroidnykh glikozidov / S. E. Karoza [i dr.] ; pod obshch. ried. S. E. Karozy ; Briest. gos. un-t im. A. S. Pushkina. – Brest : BrGU, 2020. – 260 s.

6. Synthesis and stress-protective action on plants of brassinosteroid conjugates with salicylic acid / R. P. Litvinovskaya [et al.] // Chemistry of Natural Compounds. – 2016. – Vol. 52, № 3. – P. 452–457.

7. Zashchitnoje dejstvije salicilatov brassinosteroidov na rastienija jarovogo jachmienia, podviernutykh biotichieskomu stressu / N. Ye. Manzheliesova [i dr.] // Dokl. NAN Bielarusi. – 2019. – T. 63, № 3. – S. 304–311.

8. Indolil-3-acetoksiproizvodnyje brassinosteroidov: sintez i rostriegulirujushchaja aktivnost' / R. P. Litvinovskaja [i dr.] // Khimija prirod. sojediemij. – 2013. – № 3. – S. 408–414.

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

10. Mietodika opriedielienija sily rosta siemian kormovykh kul'tur / V. I. Karpin [i dr.]. – M. : Izd-vo RGAU-MSKHA, 2012. – 16 s.

11. Zhurbickij, Z. I. Tieorija i praktika viegietacionnogo mietoda / Z. I. Zhurbickij. – M. : Nauka, 1968. – 260 s.

12. Duktova, N. A. Uchiebnaja praktika po fiziologii i biokhimii rastenij : programma i mietod. ukazaniya / N. A. Duktova, A. I. Mykhlyk, V. P. Moisiejev. – Gorki : BGSKhA, 2018. – 56 s.

13. Agrokhimichieskije mietody issledovanij : uchieb.-mietod. posobie / V. N. Dyshko [i dr.]. – Smoliensk : FGBOU VPO «Smolienskaja GSKhA», 2014. – 197 s.

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

15. Shul'gin, I. A. Raschiot sodierzhanija pigmentov s pomoshch'ju nomogram / I. A. Shul'gin, A. A. Nichiporovich // Khlorofill : sb. nauch. st. / pod ried. A. A. Shlyka. – Minsk : Nauka i tiekhnika, 1974. – S. 121–136.

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