

Виктор Викторович Коваленко

ст. преподаватель каф. биологических и химических технологий
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Viktar Kavalenka

Senior lecturer of the Department of Biological and Chemical Technologies
of Brest State A. S. Pushkin University

e-mail: kvv0407@rambler.ru

ВЛИЯНИЕ 24-ЭПИКАСТАСТЕРОНА И ЕГО КОНЬЮГАТОВ С КИСЛОТАМИ НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ И ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТИМОФЕЕВКИ ЛУГОВОЙ СОРТА БЕЛОРУССКАЯ МЕСТНАЯ*

Изучено влияние 24-эпикастастерона, тетраиндолилцетата 24-эпикастастерона и тетраосукина 24-эпикастастерона на морфометрические и физиолого-биохимические параметры тимофеевки луговой сорта Белорусская местная в лабораторных условиях. Исследовано действие различных концентраций 24-эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами на показатели энергии прорастания, всхожести, длины корня и длины побега проростков тимофеевки луговой. В условиях вегетационного лабораторного эксперимента изучено влияние 24-эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами на длину корня, длину побега, сырую и сухую массу побегов, содержание фотосинтетических пигментов (хлорофилла а, хлорофилла b, каротиноидов), активность каталазы. Установлено, что сорт тимофеевки луговой Белорусская местная по сравнению с ранее изученным сортом Воля характеризуется большей отзывчивостью на действие 24-эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами. Полученные результаты свидетельствуют о том, что сортовые особенности растений являются одним из факторов, определяющих биологические эффекты стероидных соединений.

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

The Effect of 24-epicastasterone and its Conjugates with Acids on Morphometric and Physiological-Biochemical Parameters of the Belarusian Local Variety of Timothy

The effect of 24-epicastasterone, tetraindolyl acetate of 24-epicastasterone and tetrasuccinate of 24-epicastasterone on morphometric and physiological-biochemical parameters of the Belarusian local variety of Timothy was studied in laboratory conditions. The effect of various concentrations of 24-epicastasterone and its conjugates with acids on germination energy, germination, root length and shoot length of Timothy seedlings was revealed. The effect of 24-epicastasterone and its conjugates with acids on root length, shoot length, raw and dry mass of shoots, the content of photosynthetic pigments (chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids), and catalase activity was studied in a vegetative laboratory experiment. It was found that the Belarusian local variety of Timothy is characterized by greater responsiveness to the action of 24-epicastasterone and its conjugates with acids compared to the previously studied variety Volia. The results obtained indicate that the varietal characteristics of plants are one of the factors determining the biological effects of steroid compounds.

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

Введение

В настоящее время брассиностероиды позиционируются как универсальные стимуляторы роста и адаптогены растений [1]. Отмечается, что их действие основано на стимулировании естественных защитных сил растительного организма, повышении

*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 (Биоорганическая химия)» ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорганическая химия» на 2021–2025 гг.

фотосинтетической и анаболической активности, улучшении приспособительных реакций и иммунного статуса [2].

В лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии НАН Беларуси получены конъюгаты brassinosterоидов с кислотами, которые проявляют стимулирующую рост растений активность. Действие 24-эпикастерона и его конъюгатов с кислотами исследовано, например, на культуре клевера лугового [3;4], амаранта трехцветного [5], колеуса Блюме [6], гречихи посевной [7]. Так, на растениях клевера лугового показано, что 24-эпикастерон в концентрациях 10^{-10} М и 10^{-8} М, тетраиндолилацетат 24-эпикастерона 10^{-8} М оказывают стимулирующее действие на морфометрические параметры, в особенности на увеличение длины корней [3]. Тетрасукцинат 24-эпикастерона оказывает наибольший эффект на рост корней клевера лугового в концентрациях 10^{-9} М и 10^{-8} М [4]. На растениях амаранта трехцветного тетраиндолилацетат 24-эпикастерона в концентрации 10^{-8} М характеризуется наибольшим действием в отношении содержания фотосинтетических пигментов [5].

Нами было проведено изучение 24-эпикастерона и его конъюгатов с кислотами на культуре тимopheевки луговой сорта Воля [8–10].

Целью данного этапа исследования является изучение рострегулирующего действия 24-эпикастерона и его конъюгатов с кислотами на морфометрические и физиолого-биохимические показатели тимopheевки луговой сорта Белорусская местная, поскольку биологические эффекты brassinosterоидов могут быть обусловлены не только видовыми, но и сортовыми особенностями растений.

Материал и методы исследования

24-эпикастерон (ЭК) и его конъюгаты – тетраиндолилацетат 24-эпикастерона (S31) и тетрасукцинат 24-эпикастерона (S439) синтезированы в лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии НАН Беларуси.

Исследование рострегулирующей активности 24-эпикастерона и его конъюгатов с кислотами проводилось на культуре тимopheевки луговой (*Phleum pratense* L.) сорта Белорусская местная.

В первой серии эксперимента исследовано влияние различных концентраций стероидных соединений на показатели энергии прорастания, всхожести, длины корня и длины побега проростков тимopheевки луговой в лабораторных условиях. С целью предпосевной обработки семена замачивали в растворах данного соединения с концентрациями 10^{-6} , 10^{-7} , 10^{-8} , 10^{-9} , 10^{-10} , 10^{-11} М либо в воде (контроль) в течение 5 ч. Проращивание семян проводилось в соответствии с ГОСТ 12038–84 [11]. Повторность опыта четырехкратная. Энергия прорастания определялась на 4-е сутки, всхожесть – на 8-е сутки. На 8-е сутки также определялись длина корня и длина побега проростков.

Во второй серии эксперимента исследовано влияние 24-эпикастерона и его конъюгатов на длину корня, длину побега, сырую и сухую массу побегов, содержание основных фотосинтетических пигментов (хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов) и активность каталазы в вегетационном лабораторном эксперименте. Исследовано действие 24-ЭК в концентрациях 10^{-11} М и 10^{-7} М, S31 в концентрации 10^{-8} М, S439 в концентрациях 10^{-11} М и 10^{-7} М. Данные концентрации стероидных соединений показали наибольшую активность в лабораторном эксперименте.

Предпосевная обработка семян осуществлялась замачиванием семян в растворах стероидных соединений указанных выше концентраций либо в воде (контроль) в течение 5 ч, после чего семена высевали в почвогрунт в пластиковые контейнеры и выращивали в лабораторных условиях вегетационного эксперимента. Повторность опыта четырехкратная. На 8-е сутки эксперимента определяли длину корня, длину

побега проростков тимOFFеевки, сырую массу побегов. Сухую массу побегов определяли после их высушивания при комнатной температуре в течение 2 недель.

Содержание фотосинтетических пигментов определяли спектрофотометрическим методом [12; 13], активность каталазы – методом М. А. Королук [14].

Статистическую обработку результатов проводили в соответствии с общепринятыми методиками биологической статистики согласно П. Ф. Рокицкому [15] с использованием программы Microsoft Excel. Установление достоверности различий от контроля проводили нахождением t-критерия Стьюдента.

Результаты исследования и их обсуждение

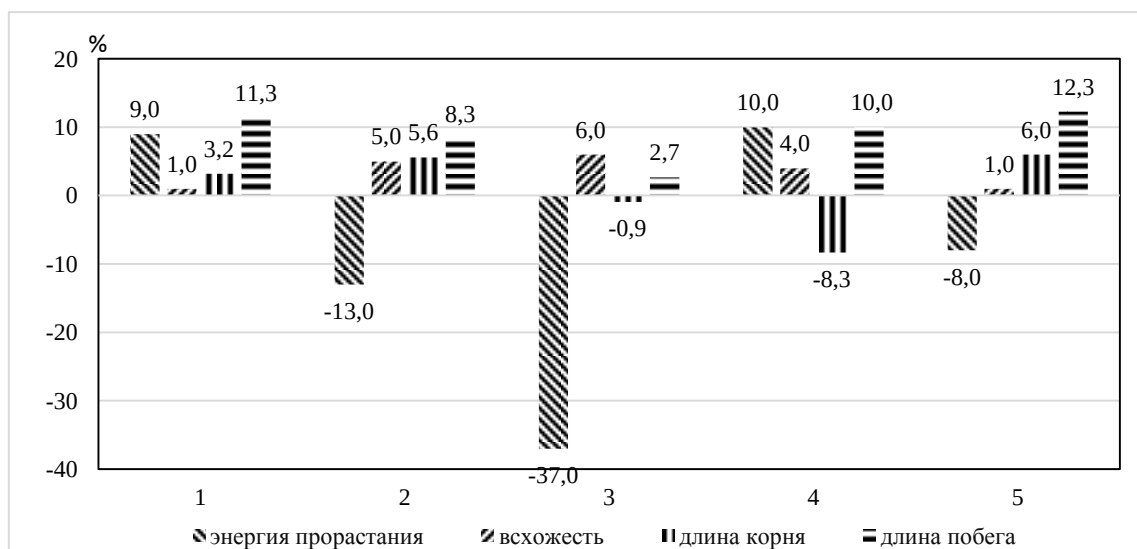
Влияние 24-эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами на морфометрические показатели тимOFFеевки луговой в лабораторном эксперименте

Данные о влиянии 24-эпикастастерина, полученные в лабораторном эксперименте, приведены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1 – Влияние 24-эпикастастерона на морфометрические показатели тимOFFеевки луговой в лабораторном эксперименте

Вариант опыта	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Длина корня, см	Длина побега, см
Контроль	$78,0 \pm 2,34$	$90,0 \pm 1,73$	$2,16 \pm 0,07$	$3,00 \pm 0,08$
ЭК, 10^{-11} М	$87,0 \pm 1,94^{**}$	$91,0 \pm 1,65$	$2,23 \pm 0,06$	$3,34 \pm 0,07^{**}$
ЭК, 10^{-10} М	$65,0 \pm 2,75^{***}$	$95,0 \pm 1,26^{*}$	$2,28 \pm 0,06$	$3,25 \pm 0,06^{*}$
ЭК, 10^{-9} М	$41,0 \pm 2,84^{***}$	$96,0 \pm 1,13^{**}$	$2,14 \pm 0,06$	$3,08 \pm 0,07$
ЭК, 10^{-8} М	$88,0 \pm 1,88^{**}$	$94,0 \pm 1,37$	$1,98 \pm 0,07$	$3,30 \pm 0,07^{**}$
ЭК, 10^{-7} М	$70,0 \pm 2,65^{*}$	$91,0 \pm 1,65$	$2,29 \pm 0,07$	$3,37 \pm 0,06^{***}$

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



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

Рисунок 1 – Влияние 24-эпикастастерона на морфометрические показатели тимOFFеевки луговой, % относительно контроля

Статистически достоверный стимулирующий эффект в отношении показателя энергии прорастания ЭК демонстрирует в концентрациях 10^{-8} и 10^{-11} М. Увеличение данного показателя по сравнению с контролем составляет 10 % и 9 % соответственно.

В остальных вариантах опыта наблюдается уменьшение энергии прорастания по сравнению с контролем (рисунок 1).

Статистически достоверный стимулирующий эффект в отношении показателя всхожести семян зафиксирован в варианте опыта с концентрацией ЭК 10^{-9} М. Отличия показателей опыта и контроля составляют 6 %.

Отличия значений длины корня проростков тимopheевки луговой в опыте и контроле статистически недостоверны (таблица 1). В вариантах опыта 10^{-7} , 10^{-10} , 10^{-11} М отмечается незначительное увеличение длины корня. При этом наибольший прирост длины корня отмечен в варианте опыта с концентрацией ЭК 10^{-7} М и составляет 6,0 % по сравнению с контролем.

Увеличение длины побега проростков тимopheевки отмечается во всех вариантах опыта. Статистически достоверный стимулирующий эффект зафиксирован в четырех вариантах опыта. Наибольший прирост длины побега наблюдается в варианте опыта с концентрацией ЭК 10^{-7} М. Увеличение длины побега составляет 12,3 % по сравнению с контролем.

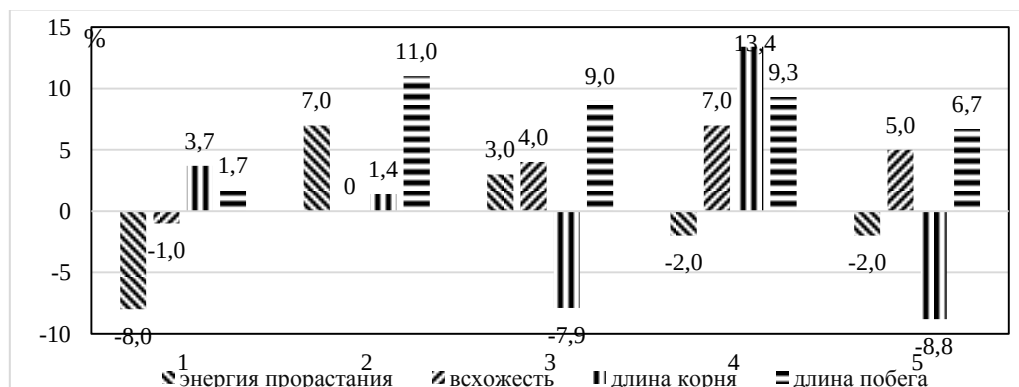
Таким образом, действие ЭК на разные морфометрические показатели тимopheевки луговой сорта Белорусская местная отличается. В отношении показателя энергии прорастания наибольший стимулирующий эффект зафиксирован в варианте опыта с ЭК 10^{-8} М, в отношении показателя всхожести – в варианте опыта с ЭК 10^{-9} М, в отношении показателей длины корня и длины побега – в варианте опыта с ЭК 10^{-7} М. Ранее проведенные исследования показали, что в отношении морфометрических показателей тимopheевки луговой сорта Воля наибольшей активностью характеризуется 10^{-8} М ЭК.

Данные о влиянии тетраиндолилацетата 24-эпикастастерина, полученные в лабораторном эксперименте, приведены в таблице 2 и на рисунке 2.

Таблица 2 – Влияние тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона на морфометрические показатели тимopheевки луговой в лабораторном эксперименте

Вариант опыта	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Длина корня, см	Длина побега, см
Контроль	$78,0 \pm 2,34$	$90,0 \pm 1,73$	$2,16 \pm 0,07$	$3,00 \pm 0,08$
S31, 10^{-11} М	$70,0 \pm 2,65^*$	$89,0 \pm 1,81$	$2,24 \pm 0,06$	$3,05 \pm 0,08$
S31, 10^{-10} М	$85,0 \pm 2,06$	$90,0 \pm 1,73$	$2,19 \pm 0,12$	$3,33 \pm 0,06^{***}$
S31, 10^{-9} М	$81,0 \pm 2,26$	$94,0 \pm 0,98$	$1,99 \pm 0,07$	$3,27 \pm 0,07^*$
S31, 10^{-8} М	$76,0 \pm 2,47$	$97,0 \pm 1,37^{***}$	$2,45 \pm 0,05^{***}$	$3,28 \pm 0,07^{**}$
S31, 10^{-7} М	$76,0 \pm 2,47$	$95,0 \pm 1,26^*$	$1,97 \pm 0,07$	$3,20 \pm 0,08$

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



1 – S31 10^{-11} М; 2 – S31 10^{-10} М; 3 – S31 10^{-9} М; 4 – S31 10^{-8} М; 5 – S31 10^{-7} М.

Рисунок 2 – Влияние S31 на морфометрические показатели тимopheевки луговой, % относительно контроля

Статистически достоверный стимулирующий эффект S31 в отношении энергии прорастания не зафиксирован. Наибольшее увеличение энергии прорастания отмечается в варианте опыта с концентрацией 10^{-10} М. Увеличение показателя энергии прорастания в данном варианте опыта составляет 7 % по сравнению с контролем (рисунок 2).

Статистически достоверный стимулирующий эффект S31 в отношении всхожести наблюдается в двух вариантах опыта (10^{-8} и 10^{-7} М). Наибольший стимулирующий эффект отмечается в варианте опыта с концентрацией S31 10^{-8} М. Отличия показателей опыта и контроля составляют 7 %.

Увеличение длины корня проростков тимфеески отмечается в вариантах опыта 10^{-8} , 10^{-10} , 10^{-11} М. Статистически достоверны различия показателей контроля и опыта с концентрацией S31 10^{-8} М. Увеличение длины корня составляет 13,4 % по сравнению с контролем.

Статистически достоверное увеличение длины побега проростков тимфеески зафиксировано в трех вариантах опыта (таблица 2). Наибольший прирост длины побега наблюдается в варианте опыта с концентрацией S31 10^{-10} М. Увеличение длины побега составляет 11,0 % по сравнению с контролем.

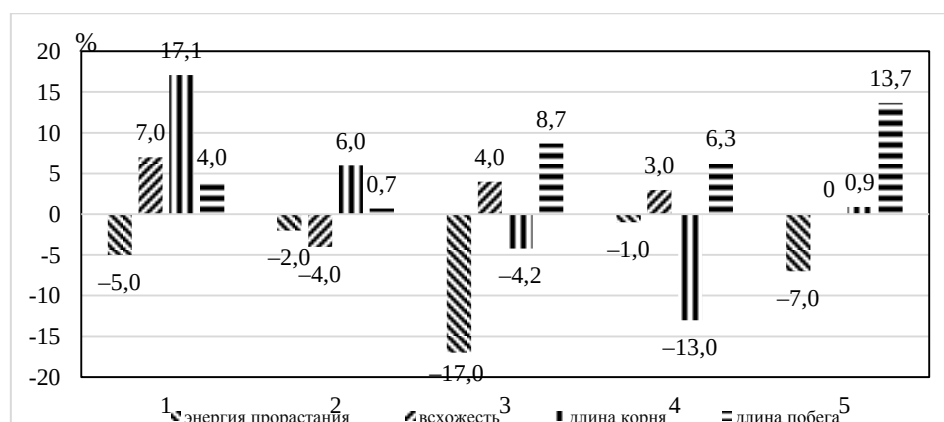
Таким образом, соединение S31 демонстрирует наибольший стимулирующий эффект в концентрации 10^{-8} М. Ранее проведенные исследования показали, что в отношении морфометрических показателей тимфеески луговой сорта Воля наибольшей активностью характеризуется S31 в концентрации 10^{-9} М.

Данные о влиянии тетрасукцината 24-эпикастастерина, полученные в лабораторном эксперименте, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Влияние тетрасукцината 24-эпикастастерона на морфометрические показатели тимфеески луговой в лабораторном эксперименте

Вариант опыта	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Длина корня, см	Длина побега, см
Контроль	$78,0 \pm 2,34$	$90,0 \pm 1,73$	$2,16 \pm 0,07$	$3,00 \pm 0,08$
S439, 10^{-11} М	$73,0 \pm 2,56$	$97,0 \pm 0,98^{***}$	$2,53 \pm 0,06^{***}$	$3,12 \pm 0,08$
S439, 10^{-10} М	$76,0 \pm 2,47$	$86,0 \pm 2,00$	$2,29 \pm 0,08$	$3,02 \pm 0,07$
S439, 10^{-9} М	$61,0 \pm 2,82^{***}$	$94,0 \pm 1,37$	$2,07 \pm 0,07$	$3,26 \pm 0,07^*$
S439, 10^{-8} М	$77,0 \pm 2,43$	$93,0 \pm 1,47$	$1,88 \pm 0,07^{**}$	$3,19 \pm 0,07$
S439, 10^{-7} М	$71,0 \pm 2,62^*$	$90,0 \pm 1,73$	$2,18 \pm 0,07$	$3,41 \pm 0,06^{***}$

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



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

Рисунок 3 – Влияние S439 на морфометрические показатели тимфеески луговой, % относительно контроля

S439 не проявил стимулирующий эффект в отношении показателя энергии прорастания. Во всех вариантах опыта показатель энергии прорастания уменьшается по сравнению с контролем (таблица 3).

Статистически достоверный стимулирующий эффект в отношении показателя всхожести наблюдается в варианте опыта с концентрацией S439 10^{-11} М. Отличие показателя всхожести в данном варианте опыта по сравнению с контролем составляет 7 %.

Статистически достоверное увеличение длины корня проростков тимopheевки отмечается в варианте опыта с концентрацией S439 10^{-11} и составляет 17,1 % по сравнению с контролем (рисунок 3).

Увеличение длины побега проростков тимopheевки отмечается во всех вариантах опыта и составляет от 0,7 % до 13,7 %. В двух вариантах опыта отличия статистически достоверны. Наибольший прирост длины побега наблюдается в варианте опыта с концентрацией S439 10^{-7} М.

Таким образом, S439 демонстрирует незначительное влияние на показатели энергии прорастания и всхожести, но более существенное воздействие на длину корня и длину побега проростков тимopheевки. Наибольший прирост длины корня зафиксирован в варианте опыта 10^{-11} М S439, наибольший прирост длины побега – в варианте опыта 10^{-7} М S439. Ранее проведенное исследование влияния S439 на показатели тимopheевки луговой сорта Воля показало, что наибольшим стимулирующим эффектом в отношении показателя длины корня характеризуется S439 в концентрации 10^{-7} М, в отношении показателя длины побега – S439 в концентрации 10^{-10} М.

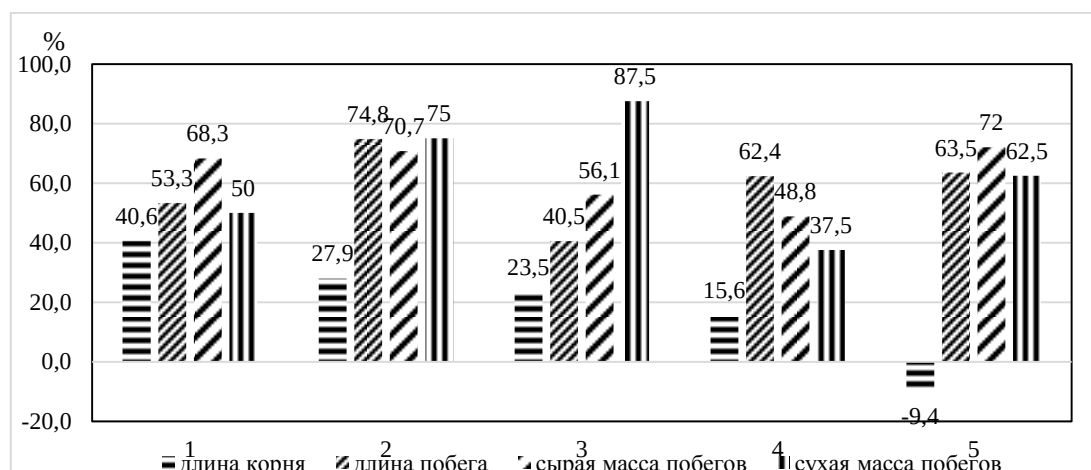
Влияние 24-эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами на морфометрические и физиолого-биохимические показатели тимopheевки луговой в вегетационном лабораторном эксперименте

Данные о влиянии 24-эпикастастерина и его конъюгатов с кислотами на морфометрические показатели тимopheевки луговой, полученные в вегетационном лабораторном эксперименте, приведены в таблице 4 и на рисунке 4.

Таблица 4 – Влияние 24-эпикастастерона и его конъюгатов на морфометрические показатели тимopheевки луговой в вегетационном лабораторном эксперименте

Вариант опыта	Длина корня, мм	Длина побега, мм	Сырая масса, побегов, г	Сухая масса, побегов, г
Контроль	$22,20 \pm 1,20$	$34,50 \pm 2,92$	$0,0082 \pm 0,0012$	$0,0008 \pm 0,0001$
ЭК, 10^{-11} М	$31,22 \pm 1,74^{***}$	$52,90 \pm 1,96^{***}$	$0,0138 \pm 0,0016^*$	$0,0012 \pm 0,0001^*$
ЭК, 10^{-7} М	$28,39 \pm 2,37^*$	$60,32 \pm 2,54^{***}$	$0,0140 \pm 0,0012^*$	$0,0014 \pm 0,0001^{**}$
S31, 10^{-8} М	$27,41 \pm 1,41^{**}$	$48,47 \pm 1,73^{***}$	$0,0128 \pm 0,0009^*$	$0,0015 \pm 0,0001^{**}$
S439, 10^{-11} М	$25,67 \pm 1,65$	$56,03 \pm 1,79^{***}$	$0,0122 \pm 0,0005^*$	$0,0011 \pm 0,0001$
S439, 10^{-7} М	$20,11 \pm 2,85$	$56,40 \pm 2,71^{***}$	$0,0141 \pm 0,0009^*$	$0,0013 \pm 0,0002$

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



1 – ЭК 10^{-11} М; 2 – ЭК 10^{-7} М; 3 – S31 10^{-8} М; 4 – S439 10^{-11} М; 5 – S439 10^{-7} М.

Рисунок 4 – Влияние ЭК, S31, S439 на морфометрические показатели тимфеески луговой, % относительно контроля

ЭК демонстрирует статистически достоверный стимулирующий эффект в отношении всех изучаемых морфометрических показателей тимфеески луговой (таблица 4). Большой стимулирующий эффект ЭК отмечается в концентрации 10^{-7} М. В данном варианте опыта увеличение показателя длины корня составляет 27,9 % по сравнению с контролем, увеличение длины побега – 74,8 %, увеличение сырой массы побегов – 70,7 %, увеличение сухой массы побегов – 75,0 % (рисунок 4).

S31 в концентрации 10^{-8} М также проявляет статистически достоверный стимулирующий эффект в отношении всех изучаемых морфометрических показателей тимфеески луговой. Увеличение показателей в данном варианте опыта по сравнению с контролем составляет от 23,5 % до 87,5 %.

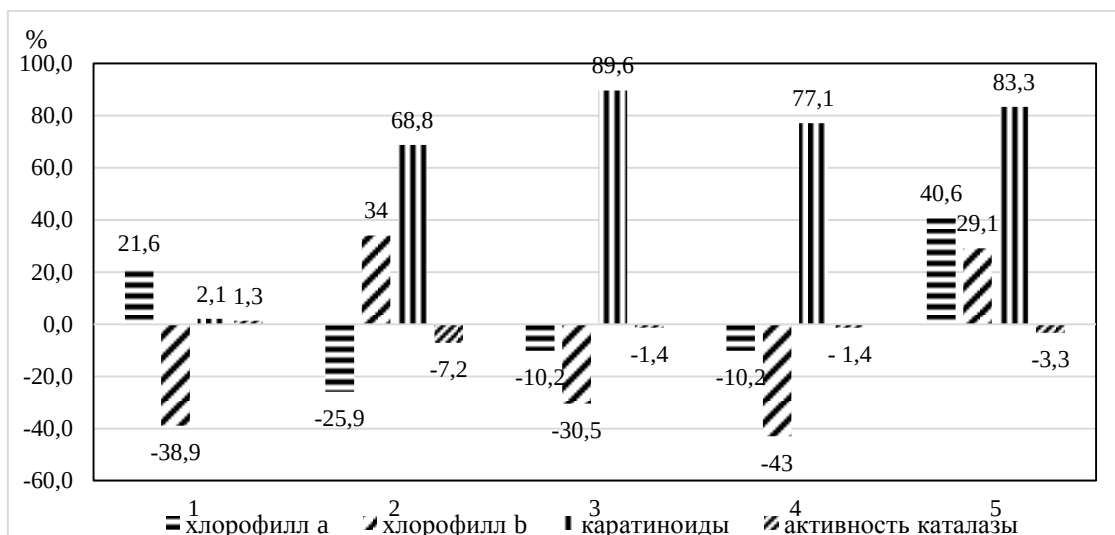
S439 в концентрации 10^{-7} М уменьшает длину корня на 9,4 % по сравнению с контролем. В отношении остальных изученных морфометрических показателей в эксперименте наблюдается стимулирующий эффект. Статистически достоверным является увеличение длины побега и увеличение сырой массы побегов под действием S439. Большим эффектом в отношении данных показателей характеризуется S439 в концентрации 10^{-7} М.

Данные о влиянии 24-эпикастастерина и его конъюгатов с кислотами на физиолого-биохимические показатели тимфеески луговой, полученные в вегетационном лабораторном эксперименте, приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Влияние 24-эпикастастерона и его конъюгатов на физиолого-биохимические показатели тимфеески луговой в вегетационном лабораторном эксперименте

Вариант опыта	Содержание пигментов, мг/г			Активность каталазы, мкат/л
	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Каротиноиды	
Контроль	0,717 ± 0,036	0,702 ± 0,084	0,047 ± 0,008	841,8 ± 30,3
ЭК, 10^{-11} М	0,915 ± 0,042*	0,429 ± 0,069	0,049 ± 0,009	852,5 ± 26,3
ЭК, 10^{-7} М	0,531 ± 0,031*	0,942 ± 0,141	0,103 ± 0,016	781,5 ± 25,7
S31, 10^{-8} М	0,644 ± 0,028	0,488 ± 0,068	0,110 ± 0,019	829,8 ± 33,8
S439, 10^{-11} М	0,644 ± 0,030	0,400 ± 0,052	0,085 ± 0,012	830,2 ± 28,5
S439, 10^{-7} М	1,009 ± 0,046*	0,906 ± 0,154	0,099 ± 0,016	813,9 ± 27,6

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



1 – ЭК 10^{-11} М; 2 – ЭК 10^{-7} М; 3 – S31 10^{-8} М; 4 – S439 10^{-11} М; 5 – S439 10^{-7} М.

Рисунок 5 – Влияние ЭК, S31, S439 на биохимические показатели тимфеевки луговой, % относительно контроля

ЭК в концентрации 10^{-11} М демонстрирует увеличение содержания хлорофилла *a* на 21,6 % по сравнению с контролем, уменьшение содержания хлорофилла *b* на 38,9 %, незначительное увеличение содержания каротиноидов (на 2,1 %) и активности каталазы (на 1,3 %). Статистически достоверным является стимулирующий эффект в отношении содержания хлорофилла *a* (таблица 5). В варианте опыта с концентрацией ЭК 10^{-7} М наблюдается уменьшение содержания хлорофилла *a* на 25,9 % и активности каталазы на 7,2 %. При этом увеличение содержания хлорофилла *b* по сравнению с контролем составляет 34,0 %, а каротиноидов – 68,8 % (рисунок 5). Статистически достоверным является ингибирующий эффект в отношении содержания хлорофилла *a*.

В варианте опыта с концентрацией S31 10^{-8} М по сравнению с контролем наблюдается уменьшение содержания хлорофилла *a* (на 10,2 %), хлорофилла *b* (на 30,5 %), активности каталазы (на 1,4 %). При этом отмечается увеличение содержания каротиноидов на 89,6 %. Однако отмеченные тенденции статистически недостоверны.

S439 больший стимулирующий эффект проявляет в концентрации 10^{-7} М. В данном варианте опыта увеличение содержания хлорофилла *a* составляет 40,6 % по сравнению с контролем, хлорофилла *b* – 29,1 %, каротиноидов – 83,3 %. В отношении активности каталазы отмечается ее уменьшение на 3,3 %. Статистически достоверным является стимулирующий эффект в отношении содержания хлорофилла *a*.

Заклучение

Проведенное исследование показало, что сорта тимфеевки луговой Волия и Белорусская местная характеризуются разной отзывчивостью на действие 24-эпикастастерона и его конъюгатов. Сорт Белорусская местная демонстрирует большую отзывчивость на действие стероидных соединений, чем ранее изученный сорт Волия. Если в отношении показателей тимфеевки луговой сорта Волия больший стимулирующий эффект проявляет ЭК в концентрации 10^{-8} М, то в отношении показателей тимфеевки луговой сорта Белорусская местная больший стимулирующий эффект проявляет ЭК в концентрациях 10^{-7} и 10^{-11} М. Таким образом, сортовые особенности растений являются одним из факторов, определяющих биологические эффекты стероидных соединений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грабовская, Н. И. Протекторное действие на растения препаратов, содержащих brassinosteroids, условиях загрязнения среды свинцом (обзор) / Н. И. Грабовская, О. Н. Бабенко // Журн. Сиб. федер. ун-та. Биология. – 2020. – № 13 (2). – С. 129–163. DOI: 10.17516/1997-1389-0322.
2. Хрипач, В. А. Брассиностероиды и урожай. Экологически дружелюбный 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 / под ред. И. И. Лиштвана [и др.]. – Минск, 2001. – С. 121–130.
3. Хомюк, Я. В. Влияние эпикастерона и его конъюгатов с кислотами на морфометрические и физиолого-биохимические параметры *Trifolium pratense* L. / Я. В. Хомюк, Е. Г. Артемук, Р. П. Литвиновская // Весн. Брэсц. ўн-та. Сер. 5. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2022. – № 1. – С. 52–62.
4. Артемук, Е. Г. Влияние тетраСУКЦИНАТА 24-эпикастерона на морфометрические и содержание фотосинтетических пигментов в растениях *Trifolium pratense* L. / Е. Г. Артемук // Весн. Брэсц. ўн-та. Сер. 5. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2024. – № 1. – С. 5–12.
5. Корзюк, О. В. Рострегулирующая активность эпикастерона и его конъюгатов с кислотами на растения амаранта трехцветного / О. В. Корзюк // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2024. – № 1. – С. 59–68.
6. Бульская, И. В. Оценка влияния 24-эпикастерона и 2-моносалицилата 24-эпикастерона на морфометрические и физиолого-биохимические параметры клевера Блюме на ранних этапах роста / И. В. Бульская // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2024. – № 2. – С. 15–23.
7. Кароза, С. Э. Влияние тетраСУКЦИНАТА 24-эпикастерона на морфометрические показатели и содержание фотосинтетических пигментов у гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench.) / С. Э. Кароза, А. В. Швайко // Весн. Брэсц. ўн-та. Сер. 5. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2024. – № 2. – С. 50–64.
8. Коваленко, В. В. Влияние эпикастерона и его конъюгатов на морфометрические и физиолого-биохимические параметры тимофеевки луговой (*Phleum pratense* L.) / В. В. Коваленко // Весн. Брэсц. ўн-та. Сер. 5. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2022. – № 1. – С. 22–30.
9. Коваленко, В. В. Протекторная активность 24-эпикастерона и тетраИНДОЛИЛАЦЕТАТА 24-эпикастерона в отношении токсического действия ионов свинца на культуре тимофеевки луговой (*Phleum pratense* L.) / В. В. Коваленко // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2023. – № 1. – С. 31–40.
10. Коваленко, В. В. Влияние тетраСУКЦИНАТА 24-эпикастерона на морфометрические и физиолого-биохимические параметры тимофеевки луговой (*Phleum pratense* L.) / В. В. Коваленко // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2024. – № 2. – С. 65–72.
11. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести : ГОСТ 12038–84. Введ. 01.07.86. – М. : Стандартинформ, 2011. – 29 с.
12. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по фотосинтезу: учебн. пособие для студ. вузов / В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова ; под ред. И. П. Ермакова – М. : Академия, 2003. – 256 с.
13. 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.

14. Метод определения активности каталазы / М. А. Королук [и др.] // Лаб. дело. – 1988. – № 1. – С. 16–19.

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

REFERENCES

1. Grabovskaya, N. I. Protektoornoe dejstvie na rasteniya preparatov, sodержashchih brassinosteroidy, usloviyah zagryazneniya sredy svincom (obzor) / N. I. Grabovskaya, O. N. Babenko // ZHurn. Sib. feder. un-ta. Biologiya. – 2020. – № 13 (2). – S. 129–163. DOI: 10.17516/1997-1389-0322.

2. Khripach, V. A. Brassinosteroidy i urozhai. Ekologicheski družhestvennyi podkhod k resheniiu problemy proizvodstva vysokokachestvennoi produktsii / V. A. Khripach // Khimiko-biologicheskie tekhnologii i ekologicheskaya bezopasnost : materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Minsk, 15–17 maia 2001. / pod red. I. I. Lishtvana [i dr.]. – Minsk, 2001. – S. 121–130.

3. Homyuk, Ya. V. Vliyanie epikastasterona i ego kon'yugatov s kislotami na morfometricheskie i fiziologo-biohimicheskie parametry Trifolium pratense L. / YA. V. Homyuk, E. G. Artemuk, R. P. Litvinovskaya // Vesn. Besc. un-ta. Ser. 5. Biyalogiya. Navuki ab zyamli. – 2022. – № 1. – S. 52–62.

4. Artemuk, E. G. Vliyanie tetrasukcinata 24-epikastasterona na morfometricheskie i sodержanie fotosinteticheskikh pigmentov v rasteniyah Trifolium pratense L. / E. G. Artemuk // Vesn. Besc. un-ta. Ser. 5. Biyalogiya. Navuki ab zyamli. – 2024. – № 1. – S. 5–12.

5. Korzyuk, O. V. Rostreguliruyushchaya aktivnost' epikastasterona i ego kon'yugatov s kislotami na rasteniya amaranta trekhcvetnogo / O. V. Korzyuk // Vesn. Besc. un-ta. Ser. 5. Biyalogiya. Navuki ab zyamli. – 2024. – № 1. – S. 59–68.

6. Bul'skaya, I. V. Ocenka vliyaniya 24-epikastasterona i 2-monosalicilata 24-epikastasterona na morfometricheskie i fiziologo-biohimicheskie parametry koleusa Blyume na rannih etapah rosta / I. V. Bul'skaya // Vesn. Besc. un-ta. Ser. 5. Biyalogiya. Navuki ab zyamli. – 2024. – № 2. – S. 15–23.

7. Karoza, S. E. Vliyanie tetrasukcinata 24-epikastasterona na morfometricheskie pokazateli i sodержanie fotosinteticheskikh pigmentov u grechihi posevnoj (Fagopyrum esculentum Moench.) / S. E. Karoza, A. V. Shvajko // Vesn. Besc. un-ta. Ser. 5. Biyalogiya. Navuki ab zyamli. – 2024. – № 2. – S. 50–64.

8. Kovalenko, V. V. Vliyanie epikastasterona i ego kon'yugatov na morfometricheskie i fiziologo-biohimicheskie parametry timofeevki lugovoj (Phleum pratense L.) / V. V. Kovalenko // Vesn. Besc. un-ta. Ser. 5. Biyalogiya. Navuki ab zyamli. – 2022. – № 1. – S. 22–30.

9. Kovalenko, V. V. Protektoornaya aktivnost' 24-epikastasterona i tetraindolilacetata 24-epikastasterona v otnoshenii toksicheskogo dejstviya ionov svinca na kul'ture timofeevki lugovoj (Phleum pratense L.) / V. V. Kovalenko // Vesn. Besc. un-ta. Ser. 5, Biyalogiya. Navuki ab zyamli. – 2023. – № 1. – S. 31–40.

10. Kovalenko, V. V. Vliyanie tetrasukcinata 24-epikastasterona na morfometricheskie i fiziologo-biohimicheskie parametry timofeevki lugovoj (Phleum pratense L.) / V. V. Kovalenko // Vesn. Besc. un-ta. Ser. 5, Biyalogiya. Navuki ab zyamli. – 2024. – № 2. – S. 65–72.

11. Semena selskokhoziaistvennykh kultur. Metody opredeleniia vskhozhesti : GOST 12038–84. Vved. 01.07.86. – M. : Standartinform, 2011. – 29 s.

-
12. Gavrilenko, V. F. Bolshoi praktikum po fotosintezu: uchebn. posobie dlia stud. vuzov / V. F. Gavrilenko, T. V. Zhigalova ; pod red. I. P. Ermakova – M. : Akademiia, 2003. – 256 s.
 13. Shulgin, I. A. Raschet sodержaniia pigmentov s pomoshchiu nomogramm / I. A. Shulgin, A. A. Nichiporovich // Khlороfill : sb. nauch. st. pod red. A. A. Shlyka. – Minsk : Nauka i tekhnika, 1974. – S. 121–136.
 14. Metod opredeleniia aktivnosti katalazy / M. A. Koroliuk [i dr.] // Lab. delo. – 1988. – № 1. – S. 16–19.
 15. Rokitskii, P. F. Biologicheskaiа statistika / P. F. Rokitskii. – Minsk : Uradzhai, 1973. – 320 s.

Рукапіс наступіў у рэдакцыю 07.04.2025