

Елена Георгиевна Артемук¹, Арина Сергеевна Барымова²

¹канд. биол. наук, доц., декан факультета естествознания

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

²студент 4-го курса факультета естествознания

Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Alena Artsiamuk¹, Aryna Barymava²

¹Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Natural Sciences
of the Brest State A. S. Pushkin University

²4-th Year Student of the Faculty of Natural Sciences of the Brest State A. S. Pushkin University

e-mail: artsiamuk@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ЭПИКАСТАСТЕРОНА И ЕГО КОНЬЮГАТОВ С КИСЛОТАМИ НА НАЧАЛЬНЫЕ ЭТАПЫ РОСТА И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ *HELIANTHUS ANNUUS L.**

Изучена биологическая активность 24-эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами (2-моносалицилат 24-эпикастастерона и тетраиндолилacetат 24-эпикастастерона) на морфометрические параметры и содержание фотосинтетических пигментов в растениях подсолнечника однолетнего сорта Везувий. Показано, что для подсолнечника однолетнего сорта Везувий наиболее эффективными концентрациями исследуемых веществ, оказывающими максимальный эффект на рост корней и побегов, являются 24-ЭК в концентрации 10^{-10} М, 2-моносалицилат 24-эпикастастерона в концентрации 10^{-9} М и 10^{-7} М и тетраиндолилacetат 24-эпикастастерона в концентрации 10^{-9} М.

Ключевые слова: брассиностероиды, 24-эпикастастерон, 2-моносалицилат 24-эпикастастерона, тетраиндолилacetат 24-эпикастастерона, подсолнечник, фотосинтетические пигменты.

The Effect of 24-epicastasterone and its Conjugates with Acids on the Initial Stages of Growth and Biochemical Indicators Helianthus Annuus L.

The biological activity of 24-epicastasterone (24-EC) and its conjugates with acids (2-monosalicylate of 24-epicastasterone and tetraindolyl acetate of 24-epicastasterone) on morphometric parameters and the content of photosynthetic pigments in plants of the annual sunflower variety Vesuvius was studied. It has been shown that for the annual sunflower variety Vesuvius, the most effective concentrations of the studied substances, which have the maximum effect on the growth of roots and shoots, are 24-EC at a concentration of 10^{-10} M, 2-monosalicylate of 24-epicastasterone at a concentration of 10^{-9} M and 10^{-7} M, and tetraindolyl acetate of 24-epicastasterone at a concentration of 10^{-9} M.

Key words: brassinosteroids, 24-epicastasterone, 2-monosalicylate 24-epicastasterone, tetraindolyl acetate 24-epicastasterone, sunflower, photosynthetic pigments.

Введение

Основными мероприятиями по повышению продуктивности растений и устойчивости их к неблагоприятным факторам считаются селекция, использование устойчивых сортов и химические методы защиты. Наряду с традиционными методами в настоящее время активно развивается новое направление, основанное на использовании биологически активных веществ для стимуляции роста, развития и повышения иммунитета растений. К таким веществам относятся брассиностероиды (БС), которые представляют собой растительные гормоны, необходимые для роста, развития и адап-

*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 «Химические основы процессов жизнедеятельности» (Биоорхимия) ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия» на 2021–2025 гг. (номер государственной регистрации 20211450 от 20.05.2021).

тации растений к неблагоприятным факторам среды. БС инициируют множество процессов в растительной клетке, усиливают клеточное деление, элонгацию, биосинтез протеинов, совместно с другими фитогормонами воздействуют на основные физиологические процессы, которые определяют продуктивность и качественные параметры растений [1]. Растения, обработанные БС, оказываются более устойчивыми к засухе, экстремальным температурным условиям и засоленности почвы. Брассиностероиды весьма перспективны для создания эффективных экологически безопасных регуляторов, повышающих урожайность растений в экстремальных условиях [2]. Дозы, с помощью которых достигается эффект от применения брассиностероидов в сельском хозяйстве, сопоставимы по величине с их содержанием в природных объектах, в связи с чем замена части традиционных химических средств ухода за посевами на данные соединения позволит оздоровить окружающую среду и получить экологически чистую продукцию [1; 3].

Для возможного улучшения физико-химических, регуляторных и защитных свойств БС синтезированы их конъюгаты с другими органическими соединениями, в т. ч. и кислотами, обладающими определенной биологической активностью [4–6]. Об их влиянии на растения пока известно очень мало. Анализ их влияния на морфометрические и физиолого-биохимические показатели сельскохозяйственных культур позволит внести определенный вклад в раскрытие механизмов их действия на растения и может иметь не только практическое, но и определенное теоретическое значение.

Целью данного исследования является изучение биологической активности конъюгатов 24-эпикастастерона с кислотами (2-моносалицилат 24-эпикастастерона и тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона) на морфометрические параметры и содержание фотосинтетических пигментов в растениях подсолнечника однолетнего *Helianthus annuus* L.

Материалы и методы

Изучение влияния 24-эпикастастерона (ЭК) и его конъюгатов с кислотами (2-моносалицилат 24-эпикастастерона (S23) и тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона (S31)) на морфометрические и биохимические параметры проводилось на подсолнечнике однолетнем (*Helianthus annuus* L.) сорта Везувий. Подсолнечник однолетний сорта Везувий – среднеранний гибрид. Оригинатор – РНДУП «Полесский институт растениеводства». Вегетационный период в среднем составляет 114 дней. Гибрид с хорошей и стабильной продуктивностью. Цветение и созревание дружное, устойчив к полеганию, отличается засухоустойчивостью, устойчив к болезням листьев. Средняя урожайность маслосемян составляет 53,6 ц/га, возможный потенциал – 76,8 ц/га.

24-эпикастастерон и его конъюгаты – 2-моносалицилат 24-эпикастастерона и тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона синтезированы в Лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси.

Определение эффективных концентраций 24-эпикастастерона и его конъюгатов (2-моносалицилат 24-эпикастастерона и тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона) в лабораторных условиях. Обработка исследуемыми веществами проводилась однократно в виде предварительного замачивания семян на 5 часов. Для исследований был использован широкий диапазон концентраций изучаемых брассиностероидов – 10^{-7} – 10^{-11} М. Оценка воздействия на рост и развитие растений осуществлялась по следующим параметрам: определяли всхожесть семян, после чего измеряли длину подземной (средняя длина корней) и надземной (средняя длина побегов) частей подсолнечника однолетнего. Всхожесть определяли на 5 сутки согласно ГОСТу 12038–84 [7]. Все опыты проводились в четырехкратной повторности. В качестве контроля использовалась обработка семян водой. В результате проведенных исследований были отобраны наиболее эффективные концентрации 24-эпикастастерона и его конъюгатов (2-моносалицилат 24-эпикастастерона и тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона),

оказывающие наибольший достоверный эффект на рост корней и побегов подсолнечника однолетнего сорта Везувий.

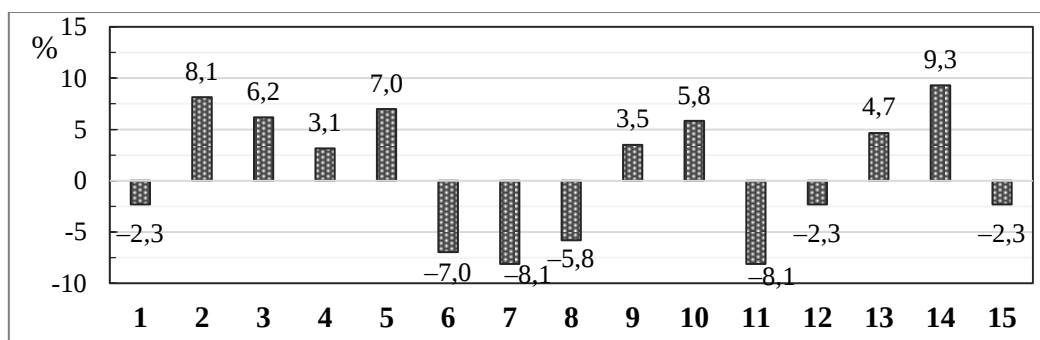
Определение воздействия 24-эпикастастерона и его конъюгатов (2-моносалицилат 24-эпикастастерона и тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона) на подсолнечник однолетний в вегетационном лабораторном эксперименте. На данном этапе исследований проводился анализ влияния 24-эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами на морфометрические и биохимические параметры подсолнечника однолетнего сорта Везувий, выращенного в защищенном грунте в результате вегетационного лабораторного опыта [8], с изучением параметров длины подземной и надземной частей, а также содержания основных фотосинтетических пигментов (хлорофилла *a* и *b*, каротиноидов). Для проведения вегетационного опыта были использованы наиболее эффективные концентрации ЭК и его конъюгатов с кислотами – S23 и S31, которые в предварительном лабораторном опыте оказывали наибольший эффект на посевные качества семян, рост корней и побегов подсолнечника однолетнего. Растения выращивали в условиях постоянной влажности почвы. Вегетационные емкости перемещали ежедневно по схеме, обеспечивающей однородные условия роста и развития растений.

При предпосевной обработке семена замачивали в растворах ЭК и его конъюгатов на 5 часов, далее высаживали в пластиковые контейнеры 9х9х10 см на универсальном почвогрунте («Хозяин, Карио», РБ (азот общий 5795 мг/кг, калий общий 3223 мг/кг, фосфор общий 1838 мг/кг, Cu 6,15 мкг/кг, Zn 24 мкг/кг) и выращивали при 22–25 °С в лабораторных условиях вегетационного эксперимента в течение месяца. В качестве контроля растения выращивали с обработкой водой. Для определения содержания основных фотосинтетических пигментов использовали спектрофотометрический метод [9; 10]. В качестве растворителя был выбран 100 %-ный ацетон.

Статистическую обработку всех полученных результатов проводили по общепринятым методикам биологической статистики согласно П. Ф. Рокицкому [11] с использованием программы Microsoft Excel и t-критерия Стьюдента.

Результаты и их обсуждения

Проведенные исследования всхожести семян подсолнечника однолетнего сорта Везувий показали, что при использовании ЭК в концентрациях 10^{-10} – 10^{-7} М наблюдается повышение всхожести семян на 3,1–8,1 % по сравнению с контролем. При использовании S23 повышение всхожести наблюдается только при использовании концентраций 10^{-8} и 10^{-7} М. При предпосевном замачивании в растворах S31 увеличение всхожести наблюдается при концентрации 10^{-9} и 10^{-8} М (рисунок 1).



1–5 – ЭК, 10^{-11} М – 10^{-7} М, 6–10 – S23, 10^{-11} М – 10^{-7} М, 11–15 – S31, 10^{-11} М – 10^{-7} М

Рисунок 1 – Влияние 24-эпикастастерона и его конъюгатов на всхожесть подсолнечника однолетнего сорта Везувий в лабораторных условиях, % относительно контроля

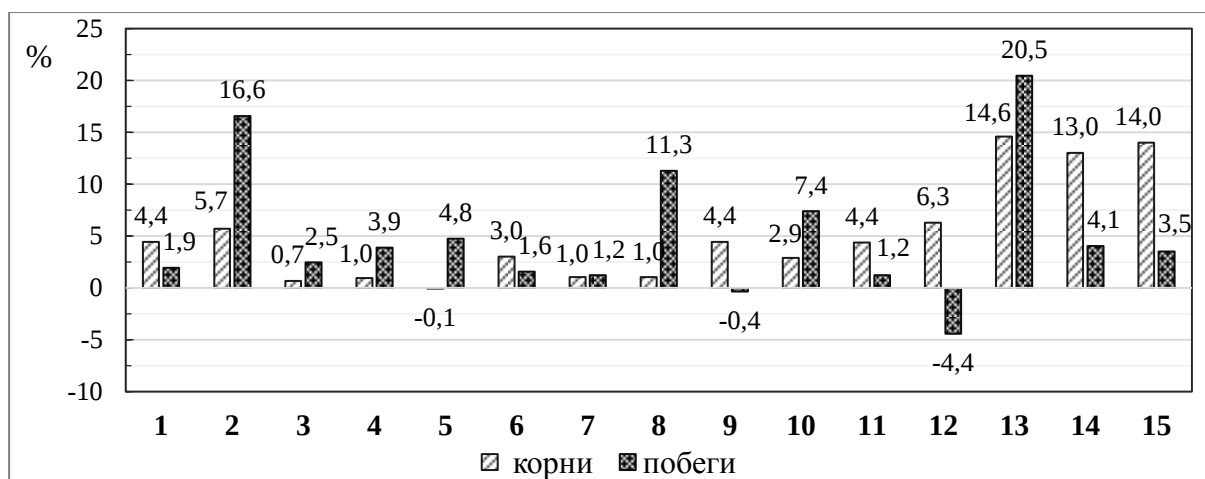
Изучение влияния ЭК и его конъюгатов с кислотами на длину корня и побега подсолнечника однолетнего сорта Везувий показало, что растения подсолнечника положительно отзываются на предварительное замачивание в растворах исследуемых стероидных соединений практически во всех исследуемых концентрациях. Зарегистрировано увеличение подземной части подсолнечника при воздействии ЭК в диапазоне от 0,7 % в концентрации 10^{-9} М до 5,7 % в концентрации 10^{-10} М, при воздействии S23 от 1,0 % в концентрации 10^{-9} М до 4,4 % в концентрации 10^{-8} М, при воздействии S31 от 4,4 % в концентрации 10^{-11} М до 14,6 % в концентрации 10^{-9} М (таблица 1, рисунок 2). Таким образом, максимальное влияние на рост корней оказал 24-ЭК в концентрации 10^{-10} М, S23 в концентрации 10^{-8} М и 10^{-7} М и S31 в концентрации 10^{-9} М.

Таблица 1 – Влияние 24-эпикастерона и его конъюгатов на морфометрические параметры начальных этапов роста и развития подсолнечника однолетнего сорта Везувий

Вариант опыта	Корень		Побег	
	длина, мм	% к контролю	длина, мм	% к контролю
24-Эпикастерон				
Контроль	135,0 ± 1,89	100,0	56,7 ± 1,34	100,0
10^{-11} М	141,0 ± 2,10*	104,4	57,8 ± 1,52	101,9
10^{-10} М	142,7 ± 2,57*	105,7	66,1 ± 1,66***	116,6
10^{-9} М	135,9 ± 3,82	100,7	58,1 ± 1,79	102,5
10^{-8} М	136,3 ± 3,33	101,0	58,9 ± 1,53	103,9
10^{-7} М	134,9 ± 3,57	99,9	59,4 ± 1,29	104,8
2-моносалицилат 24-эпикастерона (S23)				
Контроль	135,0 ± 1,89	100,0	56,7 ± 1,34	100,0
10^{-11} М	139,1 ± 4,32	103,0	57,6 ± 1,31	101,6
10^{-10} М	136,4 ± 5,27	101,0	57,4 ± 1,41	101,2
10^{-9} М	136,4 ± 2,54	101,0	63,1 ± 1,69**	111,3
10^{-8} М	141,0 ± 4,82	104,4	56,5 ± 1,53	99,6
10^{-7} М	138,9 ± 1,84	102,9	60,9 ± 1,50*	107,4
тетраиндолилацетат 24-эпикастерона (S31)				
Контроль	135,0 ± 1,89	100,0	56,7 ± 1,34	100,0
10^{-11} М	140,9 ± 3,40	104,4	57,4 ± 1,43	101,2
10^{-10} М	143,5 ± 4,46	106,3	54,2 ± 1,55	95,6
10^{-9} М	154,7 ± 3,71***	114,6	68,3 ± 1,32***	120,5
10^{-8} М	152,6 ± 3,72***	113,0	59,0 ± 1,51	104,1
10^{-7} М	153,9 ± 3,02***	114,0	58,7 ± 1,31	103,5

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

Увеличение надземной части подсолнечника однолетнего сорта Везувий относительно контроля наблюдается при воздействии ЭК в диапазоне от 1,9 % в концентрации 10^{-11} М до 16,6 % в концентрации 10^{-10} М, при воздействии S23 от 1,2 % в концентрации 10^{-10} М до 11,3 % в концентрации 10^{-9} М, при воздействии S31 от 1,2 % в концентрации 10^{-11} М до 20,5 % в концентрации 10^{-9} М (таблица 1, рисунок 2). Максимальное влияние на рост побегов оказал ЭК в концентрации 10^{-10} М, S23 в концентрации 10^{-9} М и 10^{-7} М и S31 в концентрации 10^{-9} М (различия по отношению к контролю статистически достоверны) (таблица 1). Незначительное уменьшение длины надземной части подсолнечника наблюдается при воздействии S23 в концентрациях 10^{-8} и при воздействии S31 в концентрациях 10^{-10} М.



1–5 – ЭК, 10^{-11} М – 10^{-7} М, 6–10 – S23, 10^{-11} М – 10^{-7} М, 11–15 – S31, 10^{-11} М – 10^{-7} М

Рисунок 2 – Влияние 24-эпикастестерона и его конъюгатов на морфометрические параметры подсолнечника однолетнего сорта Везувий в лабораторных условиях, % относительно контроля

Таким образом, по результатам лабораторного опыта наиболее эффективными концентрациями исследуемых веществ, оказывающими максимальный эффект на рост корней и побегов подсолнечника однолетнего сорта Везувий, являются 24-эпикастестерон в концентрации 10^{-10} М, 2-моносалицилат 24-эпикастестерона (S23) в концентрации 10^{-9} М и 10^{-7} М и тетраиндолилацетат 24-эпикастестерона (S31) в концентрации 10^{-9} М.

Вегетационный лабораторный эксперимент

На следующем этапе исследований был проведен анализ влияния 24-эпикастестерона и его конъюгатов с кислотами на морфометрические и биохимические параметры подсолнечника однолетнего сорта Везувий, выращенного в защищенном грунте в результате вегетационного лабораторного опыта с изучением параметров длины подземной и надземной частей подсолнечника, а также содержания основных фотосинтетических пигментов. Для проведения вегетационного опыта были использованы наиболее эффективные концентрации исследуемых веществ: ЭК в концентрации 10^{-10} М, S23 в концентрациях 10^{-9} и 10^{-7} М, и S31 в концентрации 10^{-9} М, которые в предварительном лабораторном опыте оказывали наибольший эффект на рост корней и побегов подсолнечника однолетнего сорта Везувий.

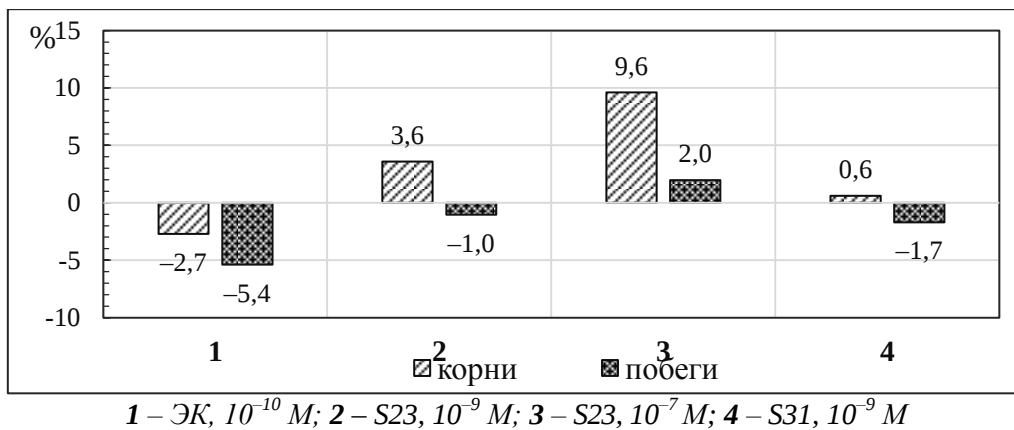
Исследование воздействия ЭК и его конъюгатов на морфометрические параметры подсолнечника однолетнего сорта Везувий (средняя длина корней и средняя длина побегов) показало, что положительное влияние на рост корней оказывал только S23 в концентрациях 10^{-9} и 10^{-7} М при предпосевном замачивании семян подсолнечника (таблица 2, рисунок 3).

Так, при обработке S23 в концентрации 10^{-9} длина корней увеличивалась на 3,6 % (однако различия от контроля статистически недостоверны), а при концентрации S23 10^{-7} М – на 9,6 % (различия статистически достоверны). Длина побегов увеличивалась на 2,0 % лишь при обработке S23 в концентрации 10^{-7} М, однако отличия от контроля были статистически недостоверны.

Таблица 2 – Влияние 24-эпикастерона и его конъюгатов на морфометрические параметры подсолнечника однолетнего сорта Везувий (вегетационный лабораторный опыт)

Вариант опыта	Корень		Побег	
	длина, мм	% к контролю	длина, мм	% к контролю
Контроль	66,6 ± 1,68	100,0	182,1 ± 2,42	100,0
ЭК 10 ⁻¹⁰ М	64,8 ± 2,80	97,3	172,3 ± 3,05*	94,6
S23 10 ⁻⁹ М	69,0 ± 1,53	103,6	180,2 ± 1,79	99,0
S23 10 ⁻⁷ М	73,0 ± 1,50**	109,6	185,7 ± 2,18	102,0
S31 10 ⁻⁹ М	67,0 ± 0,96	100,6	179,0 ± 1,24	98,3

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



1 – ЭК, 10⁻¹⁰ М; 2 – S23, 10⁻⁹ М; 3 – S23, 10⁻⁷ М; 4 – S31, 10⁻⁹ М

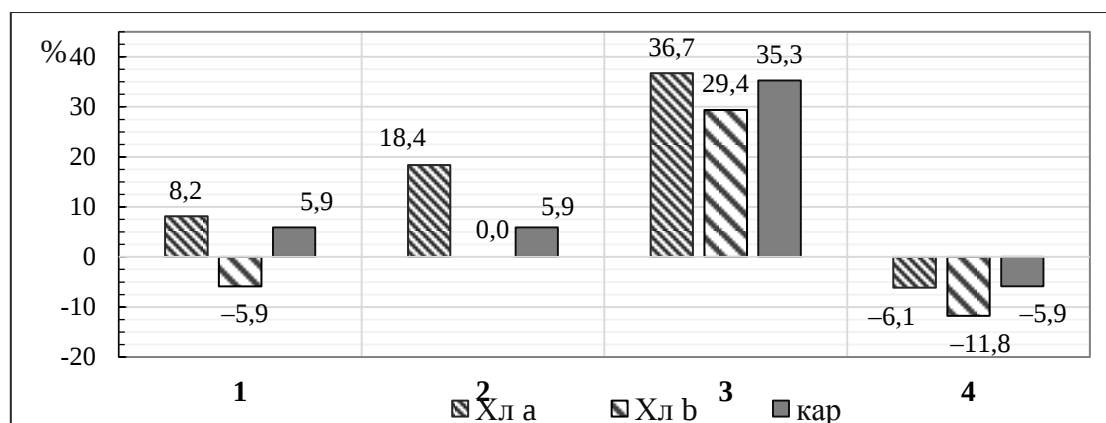
Рисунок 3 – Влияние 24-эпикастерона и его конъюгатов на морфометрические параметры подсолнечника однолетнего сорта Везувий, % относительно контроля

Исследование содержания основных фотосинтетических пигментов в листьях подсолнечника однолетнего проводилось с изучением концентрации хлорофилла *a* (Хл *a*), хлорофилла *b* (Хл *b*) и каротиноидов (Кар). При предпосевном замачивании семян подсолнечника сорта Везувий в растворах брассиностероидов наблюдается достоверное увеличение содержания хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов в листьях лишь при использовании S23 в концентрации 10⁻⁷ М (таблица 3). Так, содержание хлорофилла *a* увеличивается на 36,7 %, хлорофилла *b* на 29,4 % и каротиноидов на 35,3 % (рисунок 4).

Таблица 3 – Влияние 24-эпикастерона и его конъюгатов на содержание фотосинтетических пигментов в листьях подсолнечника однолетнего сорта Везувий (вегетационный лабораторный опыт)

Вариант опыта	Содержание, мг/г		
	хлорофилла <i>a</i>	хлорофилла <i>b</i>	каротиноидов
Контроль	0,98 ± 0,04	0,34 ± 0,02	0,34 ± 0,02
ЭК 10 ⁻¹⁰ М	1,06 ± 0,08	0,32 ± 0,01	0,36 ± 0,01
S23 10 ⁻⁹ М	1,16 ± 0,02	0,34 ± 0,04	0,36 ± 0,04
S23 10 ⁻⁷ М	1,34 ± 0,04**	0,44 ± 0,01*	0,46 ± 0,01*
S31 10 ⁻⁹ М	0,92 ± 0,04	0,30 ± 0,02	0,32 ± 0,02

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



1 – ЭК, 10^{-10} М; 2 – S23, 10^{-9} М; 3 – S23, 10^{-7} М; 4 – S31, 10^{-9} М

Рисунок 4 – Влияние 24-эпикастерона и его конъюгатов на содержание фотосинтетических пигментов подсолнечника однолетнего сорта Везувий, % относительно контроля

Заключение

В лабораторных условиях проведено двухэтапное исследование биологической активности 24-эпикастерона и его конъюгатов (2-моносалицилат 24-эпикастерона и тетраиндолилацетат 24-эпикастерона) по влиянию на морфометрические параметры и содержание фотосинтетических пигментов в растениях подсолнечника однолетнего (*Helianthus annuus* L.) сорта Везувий.

В условиях лабораторного опыта показано, что для подсолнечника однолетнего сорта Везувий наиболее эффективными концентрациями исследуемых веществ, оказывающими максимальный эффект на рост корней и побегов, являются 24-эпикастерон в концентрации 10^{-10} М, 2-моносалицилат 24-эпикастерона в концентрации 10^{-9} М и 10^{-7} М и тетраиндолилацетат 24-эпикастерона в концентрации 10^{-9} М.

В условиях вегетационного опыта статистически достоверное влияние на рост корней и содержание фотосинтетических пигментов в растениях подсолнечника однолетнего сорта Везувий оказывал только 2-моносалицилат 24-эпикастерона в концентрации 10^{-7} М.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хрипач, В. А. Перспективы практического применения brassinosteroidов нового класса фитогормонов (Обзор) / В. А. Хрипач, В. И. Жабинский, Ф. А. Лахвич // С.-х. биология. – 1995. – № 1. – С. 3–11.
2. Khripach V. A. Science at the interface of brassinosteroids: a new role of steroids as biosignaling molecules / V. A. Khripach, V. N. Zhabinskii, R. A. Karnachuk // Chemical probes in biology : conference proceedings / M. P. Schneider (ed.). – Netherlands : Kluwer Academic Publishers. – NATO Science Series. – 2003. – Vol. 129. – P. 153–167.
3. Прусакова, Л. Д. Роль brassinosteroidов в росте, устойчивости и продуктивности растений / Л. Д. Прусакова, С. И. Чижова // Агрохимия. – 1996. – № 11. – С. 137–150.
4. Синтез и стресс-протекторное действие на растения конъюгатов brassinosteroidов с салициловой кислотой / Р. П. Литвиновская [и др.] // Химия прир. соед. – 2016. – № 3. – С. 394–398.
5. Защитное действие салицилатов brassinosteroidов на растения ярового ячменя, подвергнутых биотическому стрессу / Н. Е. Манжелесова [и др.] // Доклады НАН Беларуси. – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 304–311.

6. Индолил-3-ацетоксипроизводные брассиностероидов: синтез и рострегулирующая активность / Р. П. Литвиновская [и др.] // Химия прир. соед. – 2013. – № 3. – С. 408–414.
7. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести : ГОСТ 12038–84. – Введ. 01.07.86. – М. : Стандартинформ, 2011. – 29 с.
8. Агрохимические методы исследований : учеб.-метод. пособие / В. Н. Дышко [и др.]. – Смоленск : ФГБОУ ВПО «Смоленская ГСХА», 2014. – 197 с.
9. 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.
10. 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.
11. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск : Ураджай, 1973. – 320 с.

REFERENCES

1. Hripach, V. A. Perspektivy prakticheskogo primeneniya brassinosteroidov novogo klasya fitogormonov (Obzor) / V. A. Hripach, V. I. Zhabinskij, F. A. Lahvich // S.-h. biologiya. – 1995. – № 1. – S. 3–11.
2. Khripach V. A. Science at the interface of brassinosteroids: a new role of steroids as biosignaling molecules / V. A. Khripach, V. N. Zhabinskii, R. A. Karnachuk // Chemical probes in biology : conference proceedings / M. P. Schneider (ed.). – Netherlands : Kluwer Academic Publishers. – NATO Science Series. – 2003. – Vol. 129. – P. 153–167.
3. Prusakova, L. D. Rol' brassinosteroidov v roste, ustojchivosti i produk-tivnosti ras-tenij / L. D. Prusakova, S. I. Chizhova // Agrohimiya. – 1996. – № 11. – S. 137–150.
4. Sintez i stress-protektornoe dejstvie na rasteniya kon'yugatov brassino-steroidov s salicilovoj kislotoj / R. P. Litvinovskaya [i dr.] // Himiya prir. soed. – 2016. – № 3. – S. 394–398.
5. Zashchitnoe dejstvie salicilatov brassinosteroidov na rasteniya yarovogo yachmenya, podvergnutyh bioticheskomu stressu / N. E. Manzhelesova [i dr.] // Doklady NAN Belarusi. – 2019. – T. 63, № 3. – S. 304–311.
6. Indolil-3-acetoksiproizvodnye brassinosteroidov: sintez i rostreguliruyushchaya aktivnost' / R. P. Litvinovskaya [i dr.] // Himiya prir. soed. – 2013. – № 3. – S. 408–414.
7. Semena sel'skohozyajstvennyh kul'tur. Metody opredeleniya vskhozhesti : GOST 12038–84. – Vved. 01.07.86. – M. : Standartinform, 2011. – 29 s.
8. Agrohimicheskie metody issledovaniy : ucheb.-metod. Posobie / V. N. Dyshko [i dr.]. – Smolensk : FGBOU VPO «Smolenskaya GSKHA», 2014. – 197 s.
9. Gavrilenko, V. F. Bol'shoj praktikum po fotosintezu: uchebn. posobie dlya stud. Vuzov / V. F. Gavrilenko, T. V. Zhigalova ; pod red. I. P. Ermakova – M. : Akademiya, 2003. – 256 s.
10. Shul'gin, I. A. Raschet soderzhaniya pigmentov s pomoshch'yu nomogram / I. A. Shul'gin, A. A. Nichiporovich // Hlorofill : sb. nauch. st. pod red. A. A. Shlyka. – Minsk : Nauka i tekhnika, 1974. – S. 121–136.
11. Rokickij, P. F. Biologicheskaya statistika / P. F. Rokickij. – Minsk : Uradzhaj, 1973. – 320 s.