

УДК 632.154:57.085:042.5

Оксана Владимировна Корзюк*ст. преподаватель каф. зоологии, генетики и химии
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина***Aksana Karziuk***Senior Lecturer of the Department of Zoology, Genetics and Chemistry
of Brest State A. S. Pushkin University**e-mail: chem@brsu.by*

РОСТРЕГУЛИРУЮЩАЯ АКТИВНОСТЬ ЭПИКАСТАСТЕРОНА И ЕГО КОНЬЮГАТОВ С КИСЛОТАМИ НА РАСТЕНИЯ АМАРАНТА ТРЕХЦВЕТНОГО*

Исследована рострегулирующая активность 24-эпикастастерона (ЭК) и его конъюгатов с кислотами на культуре амаранта трехцветного по комплексу показателей роста и развития растений. Установлен статистически достоверный стимулирующий эффект 24-эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами на морфометрические и физиолого-биохимические показатели амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал.

Ключевые слова: *брасиностероиды, 24-эпикастастерон, эфиры ЭК с кислотами (конъюгаты), амарант, рострегулирующая активность, фотосинтетические пигменты, активность каталазы.*

Growth-Regulating Activity of Epicastasterone and its Acid Conjugates on Tricolour Amaranth Plants

The growth-regulating activity of 24-epicastasterone (EC) and its conjugates with acid-lots was studied on the culture of tricolour amaranth according to the complex of plant growth and development indicators. The statistically reliable stimulating effect of 24-epicasterone and its conjugates with acids on morphometric and physiological-biochemical parameters of Brazilian Carnival amaranth of tricolour was established.

Key words: *brassinosteroids, 24-epicastasterone, esters of EC with acids (conjugates), amaranth, growth-regulating activity, photosynthetic pigments, catalase activity.*

Введение

Неблагоприятная экологическая ситуация и загрязнение окружающей среды приводят к нежелательным последствиям, и поэтому в последнее время в физиологии растений активно разрабатывается обширное направление по изучению влияния регуляторов роста на различные стороны обмена веществ в растении [1].

Существенным фактором повышения продуктивности сельскохозяйственных и декоративных культур, по мнению ряда ученых, является применение регуляторов роста растений класса брасиностероидов. Эти соединения имеют природную структуру, широко распространены в растительном мире, являются привычными для человека и животных вследствие обычного попадания в организм вместе с пищей и метаболизма традиционными путями, что в значительной степени гарантирует безопасность их применения. Дозы, с помощью которых достигается эффект от применения брасиностероидов 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 [2].

**Работа выполнена в рамках НИР «Оценка влияния природных брасиностероидов и их конъюгатов с кислотами на морфометрические и физиолого-биохимические параметры сельскохозяйственных и декоративных растений» подпрограммы «Химические основы процессов жизнедеятельности» (Биооргхимия) ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия» на 2021–2025 гг. (№ госрегистрации 20211450 от 20.05.2021).*

Регуляторы роста растений класса брассиностероидов способствуют гармоничному росту и развитию растений на всех стадиях онтогенеза, повышая их устойчивость к стрессовым условиям произрастания и болезням, в связи с чем повышается как урожайность, так и качество продукции.

Брассиностероиды также увеличивают засухоустойчивость, снижают транспирацию, повышают энергию прорастания и продуктивность сельскохозяйственных и декоративных культур [3]. Имеются сведения о том, что брассиностероиды повышают всхожесть семян, снизивших посевные качества в результате хранения [4].

Амарант является перспективной сельскохозяйственной культурой, т. к. обладает высокой биологической продуктивностью, экологической пластичностью и исключительным адаптивным потенциалом, обеспечивающим широкое распространение этой культуры в различных условиях. Кроме того, амарант является источником антиоксидантов: амарантина, каротиноидов, аскорбиновой кислоты [5], а также пектина и масел. Обладая такими ценными качествами, амарант входит в число растений, наиболее перспективных для интродукции на новых территориях.

Сегодня амарант возрождается не только как ценная пищевая культура, но и как декоративное растение и в качестве растения-сидерата.

Амарант – прекрасный сидерат. Он улучшает плодородие почвы, насыщает ее азотом, стимулирует жизнедеятельность почвенных микроорганизмов. У нас это неприхотливое растение с многовековой историей называют щирицей, а также *петушиными гребешками, кошачьим хвостом, бархатником и аксамитником*.

Материалы и методы исследования

Объектами исследований служили брассиностероиды – 24-эпикастастерон (ЭК) и его конъюгаты: 2-моносалицилат 24-эпикастастерона (S23), тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона (S31), синтезированные в лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси.

Гормоны были протестированы на декоративной культуре амарант трехцветный (*Amaranthus tricolor* L.) сорт Бразильский карнавал.

Чрезвычайно важным качеством амаранта является его высокая семенная продуктивность. Урожайность с 1 га даже при неблагоприятных условиях составляет около 20 ц, урожай зеленой массы – 1 000 ц. В листьях амаранта накапливается до 30 % высококачественного белка. Амарант хорошо приспосабливается почти к любым почвам, чутко реагирует на внесение удобрений, особенно азота, калия, кальция, магния. Это однолетние, изредка многолетние травянистые растения.

Для выявления оптимальных концентраций ЭК и его конъюгатов с кислотами S23 и S31, оказывающих наибольшее влияния на рост и развитие амаранта трехцветного, были использованы следующие варианты опыта:

- 1) вода (контроль);
- 2) 24-эпикастастерон с концентрацией $10^{-7} - 10^{-11}$ М;
- 3) S23 с концентрацией $10^{-7} - 10^{-11}$ М;
- 4) S31 с концентрацией $10^{-7} - 10^{-11}$ М.

На 10-е сутки были определены морфометрические параметры амаранта трехцветного – длина корня и побега.

Проращивание проводили согласно ГОСТ 24933.0-81 [6]. Все опыты проводились в четырехкратной повторности.

Далее исследования были связаны с анализом влияния отобранных гормонов в концентрациях, оказывающих наибольшую активность на морфометрические параметры амаранта трехцветного, выращенного в защищенном грунте в результате вегета-

ционного лабораторного опыта [7], с изучением параметров длины корней и побегов и их массы.

На данном этапе был использован способ внесения исследуемых веществ – предпосевная обработка (замачивание семян). Семена замачивали в растворах ЭК и его конъюгатов на 5 ч, далее высаживали в пластиковые контейнеры $9 \times 9 \times 10$ см на универсальном почвогрунте «Хозяин», Республика Беларусь (азот общий – 5 795 мг/кг, калий общий – 3 223 мг/кг, фосфор общий – 1 838 мг/кг, Cu – 6,15 мкг/кг, Zn – 24 мкг/кг) и выращивали в лабораторных условиях вегетационного эксперимента.

Контролем был вариант – замачивание семян в воде. Растения выращивали в условиях постоянной влажности почвы. Вегетационные емкости перемещали ежедневно по схеме, обеспечивающей однородные условия роста и развития растений. Все опыты проводились в четырехкратной повторности.

Третий этап исследований был связан с определением биохимического статуса амаранта трехцветного, выращенного в защищенном грунте в результате вегетационного лабораторного опыта, и осуществлялся по следующим параметрам: содержание основных фотосинтетических пигментов (хлорофилла а, b и каротиноидов) методом ацетоновой вытяжки, исследование активности фермента – каталазы – в проростках амаранта по методу М. А. Королук.

Для определения содержания фотосинтетических пигментов использовали спектрофотометрический метод [8]. Несмотря на свою простоту, он позволяет в одной пробе определить концентрацию различных видов хлорофилла.

Определение концентрации фотосинтетических пигментов включает следующие процедуры: получение навески листьев, экстракцию пигментов растворителем (ацетоном) и спектрофотометрический анализ при различных длинах волн.

Для лабораторного эксперимента в качестве растворителя был выбран 100 %-ный ацетон. Для расчета концентрации хлорофиллов а, b и каротиноидов в вытяжке пигментов определяли оптическую плотность экстракта на спектрофотометре при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения определяемых пигментов в данном растворителе: $\lambda = 662, 644$ и $440,5$ нм.

Концентрацию пигментов рассчитывали по формулам (1–4) (Wettstein, 1957).

$$C_{\text{хл а}} = 9,784 D_{662} - 0,990 D_{644}; \quad (1)$$

$$C_{\text{хл b}} = 21,426 D_{644} - 4,650 D_{662}; \quad (2)$$

$$C_{\text{хл а}} + C_{\text{хл b}} = 5,134 D_{662} + 20,436 D_{644}; \quad (3)$$

$$C_{\text{кар.}} = 4,695 D_{440,5} - 0,268 C_{\text{хл а}} + C_{\text{хл b}}. \quad (4)$$

Сначала вычисляется концентрацию пигментов (C) в экстракте по приведенным выше формулам в мг/л, затем содержание пигментов на грамм сырой массы рассчитывали по формуле (5):

$$A = V * C / 1000 * P, \quad (5)$$

где C – концентрация пигментов, мг/л; V – объем вытяжки, мл; P – навеска растительного материала, г.

Определение активности каталазы в побегах проводили по методу М. А. Королук [9], основанному на способности перекиси водорода образовывать с солями молибдена стойкий окрашенный комплекс. Реакцию запускали добавлением 0,1 мл гомо-

гената (100 мг корней или побегов на 1 мл трис-НСl-буфера, 0,05 М, рН 7,8) к 2,0 мл 0,03 %-го раствора перекиси водорода. В холостую пробу вместо гомогената вносили 0,1 мл дистиллированной воды. Реакцию останавливали через 10 мин добавлением 1 мл 4 %-го молибдата аммония.

Интенсивность развившейся окраски измеряли на спектрофотометре МС 122 фирмы СООО «Проскан специальные инструменты» (Республика Беларусь) при длине волны 410 нм. Определение активности каталазы проводили по формуле (6):

$$E = (A_{\text{хол}} - A_{\text{оп}}) \times V \times t \times K, \quad (6)$$

где E – активность каталазы (мкат/л); $A_{\text{хол}}$ – экстинкция холостой пробы; $A_{\text{оп}}$ – экстинкция опытной пробы; V – объем вносимой пробы (0,1 мл); t – время инкубации (600 с); K – коэффициент миллимолярной экстинкции H_2O_2 ($22,2 \cdot 10^3 \text{ mM}^{-1} \times \text{cm}^{-1}$).

Статистическую обработку всех полученных результатов проводили по общепринятым методикам биологической статистики согласно П. Ф. Рокицкому [10] с использованием программы Microsoft Excel и t -критерия Стьюдента.

Результаты и их обсуждение

Проведенные исследования показали, что действие раствора ЭК в концентрациях 10^{-11} – 10^{-8} М приводило к увеличению длины корня и побега амаранта трехцветного по сравнению с контрольными растениями (таблица 1). Значительное увеличение длины корня и побега было достигнуто при действии на растения ЭК в концентрации 10^{-11} М (эти различия статистически достоверны). Так, длина корня увеличилась на 39,9 % (рисунок 1), а побега – на 14,0 % (рисунок 2).

Воздействие ЭК в концентрации 10^{-8} М также приводило к увеличению длины корня и побега, но эти различия статистически достоверны только по длине корня. По сравнению с контрольным опытом длина корня увеличилась на 37 %, а побега – на 8,6 %.

Действие ЭК в концентрации 10^{-10} М привело к увеличению длины корня на 37,8 % и к незначительному уменьшению длины побега (на 2,5 %).

При воздействии на растение ЭК в концентрации 10^{-7} М наблюдалось уменьшение длины стебля и корня на 26,8 % и 24,7 % соответственно, результаты достоверны только по длине корня (таблица 1).

При обработке семян раствором S23 и дальнейшем проращивании у растений амаранта трехцветного наблюдалось достоверное увеличение длины корня во всех вариантах опыта (таблица 1, рисунок 1), длина побега также увеличилась, но в некоторых случаях наблюдалось незначительное уменьшение его длины по сравнению с контрольными растениями (эти различия статистически недостоверны).

Так, при воздействии раствора S23 в концентрации 10^{-11} М длина корня увеличилась на 61,9 %, а поб-га – на 6,2 %.

Использование S23 в концентрации 10^{-9} М также привело к увеличению длины корня. Длина корня увеличилась на 51,9 %, но наблюдалось уменьшение длины побега (рисунок 2).

При действии на растения S23 в концентрациях 10^{-8} М и 10^{-7} М длина корней увеличилась на 41,6 % и 51,8 %, длина побегов уменьшилась на 1,4 % и 0,2 %.

Действие S23 в концентрации 10^{-10} М привело к наибольшему изменению морфометрических параметров растения амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал. Длина корня увеличилась на 68,4 %, а побега – на 12,9 % (рисунки 1 и 2); эти различия статистически достоверны.

При обработке семян раствором конъюгата S31 и дальнейшем проращивании у растений амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал наблюдалось статисти-

чески достоверное увеличение длины корня во всех вариантах опыта (кроме действия раствора S31 в концентрации 10^{-11} М) (таблица 1). Длина побега также увеличилась, но в некоторых случаях наблюдалось незначительное уменьшение его длины по сравнению с контрольными растениями (рисунок 2); эти различия статистически не достоверны.

Таблица 1 – Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на морфометрические параметры начальных этапов роста амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал

Вариант опыта	Корень		Побег	
	длина, мм	% к контролю	длина, мм	% к контролю
Эпикастастерон (ЭК)				
Контроль	14,19 ± 0,75		24,05 ± 0,81	
10^{-11} М	19,85 ± 0,91*	139,9	27,59 ± 0,86**	114,7
10^{-10} М	19,56 ± 0,91*	137,8	23,45 ± 0,75	97,5
10^{-9} М	16,66 ± 0,72*	117,4	24,23 ± 0,80	100,7
10^{-8} М	19,44 ± 0,74*	137,0	26,13 ± 0,80	108,6
10^{-7} М	10,39 ± 0,58*	73,2	18,10 ± 0,65*	75,3
2-моносалицилат 24-эпикастастерона (S23)				
Контроль	14,19 ± 0,75		24,05 ± 0,81	
10^{-11} М	22,97 ± 0,86**	161,9	25,54 ± 0,87	106,2
10^{-10} М	23,90 ± 0,82**	168,4	27,16 ± 0,78**	112,9
10^{-9} М	21,55 ± 0,94**	151,9	21,2 ± 1,0	88,1
10^{-8} М	20,09 ± 0,89*	141,6	24,39 ± 0,94	101,4
10^{-7} М	21,54 ± 0,73**	151,8	24,01 ± 0,99	99,8
Тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона (S31)				
Контроль	14,19 ± 0,75		24,05 ± 0,81	
10^{-11} М	16,42 ± 0,73	115,7	23,74 ± 0,71	98,7
10^{-10} М	20,19 ± 0,84*	142,3	24,97 ± 0,73	103,8
10^{-9} М	19,81 ± 0,92*	139,6	22,91 ± 0,95	95,3
10^{-8} М	22,45 ± 0,82**	158,2	26,14 ± 0,65	108,7
10^{-7} М	18,64 ± 0,99*	131,4	22,66 ± 0,89	94,2

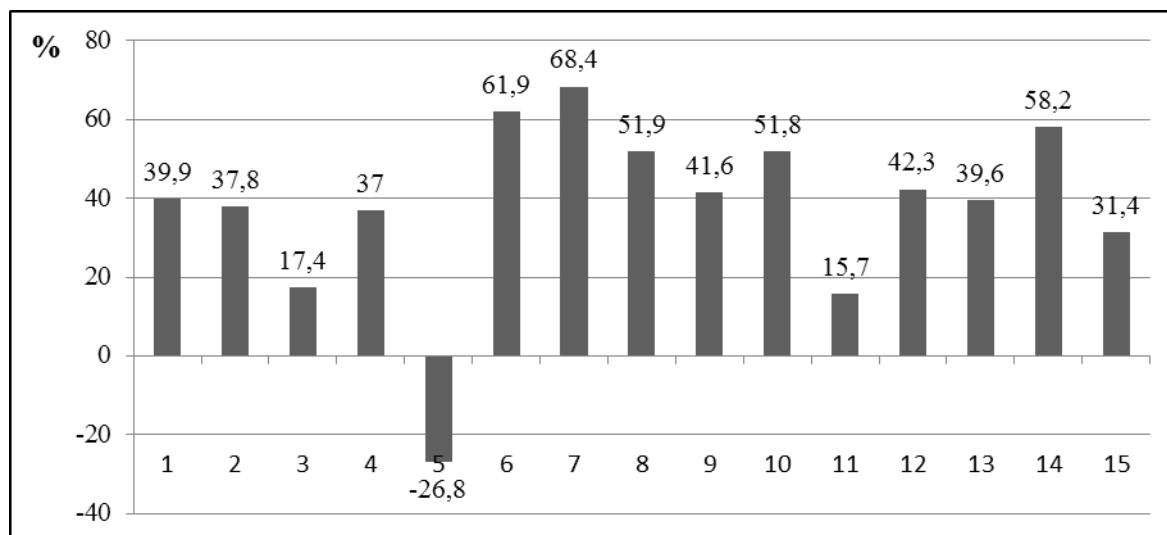
Примечание – * – достоверно при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$.

При действии раствора S31 в концентрации 10^{-10} М длина корня увеличилась на 42,3 %, а побега – на 3,8 % по сравнению с контрольными образцами.

Обработка семян раствором S31 в концентрации 10^{-11} М также приводила к увеличению длины корня на 15,7 %, но при этом наблюдалось уменьшение длины побега на 1,3 % по сравнению с контрольными растениями.

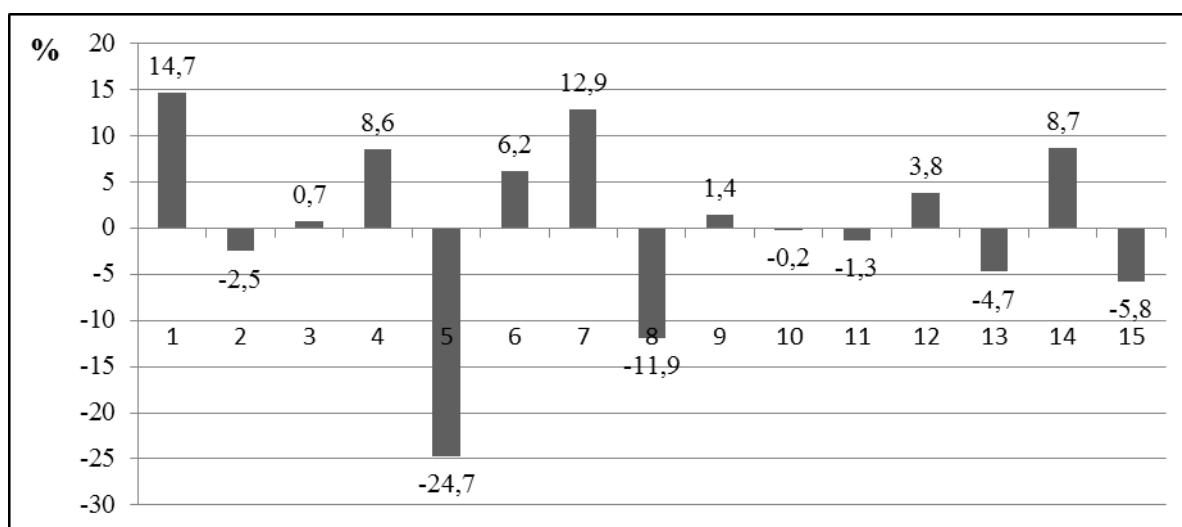
Аналогичная ситуация наблюдалась и при действии на растения S31 в концентрациях 10^{-9} М и 10^{-7} М: длина корней увеличивалась на 39,6 % и 31,4 % соответственно, а длина побегов уменьшилась на 4,7 % и 5,8 %.

Действие данного конъюгата в концентрации 10^{-8} М привело к наибольшему изменению морфометрических параметров амаранта трехцветного: длина корня увеличивалась на 58,2 %, а побега – на 8,7 % (рисунки 1, 2).



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

Рисунок 1 – Влияние эпикастестерона и его конъюгатов на длину корня амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал, % относительно контроля



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

Рисунок 2 – Влияние эпикастестерона и его конъюгатов на длину побега амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал, % относительно контроля

Для дальнейшего проведения вегетационного лабораторного опыта были использованы наиболее эффективные концентрации исследуемых веществ: 24-эпикастестерон в концентрации 10^{-11} М, 2-моносалицилат 24-эпикастестерона в концентрации 10^{-10} М и тетраиндолилацетат 24-эпикастестерона в концентрации 10^{-8} М, которые в предварительном лабораторном опыте оказывали наибольший эффект на рост корней и побегов амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал.

Семена замачивались в растворах ЭК и его конъюгатов на 5 ч, далее высаживались в пластиковые контейнеры на универсальном почвогрунте и выращивались в лабораторных условиях вегетационного эксперимента. Растения выращивались в услови-

ях постоянной влажности почвы. Вегетационные емкости перемещались ежедневно по схеме, обеспечивающей однородные условия роста и развития растений.

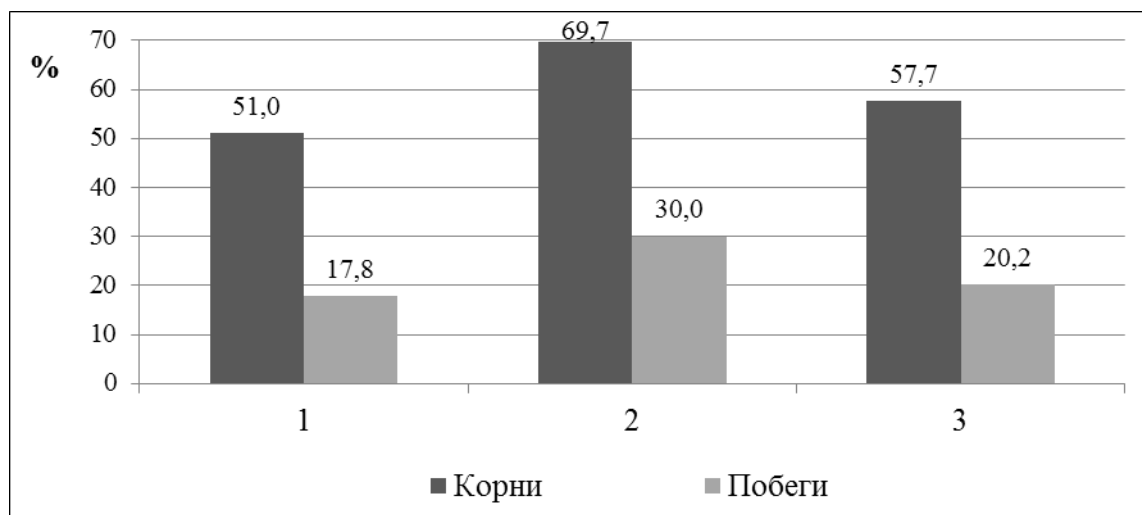
Содержание основных фотосинтетических пигментов (хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов) осуществлялось методом ацетоновой вытяжки [3], определение активности каталазы в побегах исследуемых растений проводилось по методу М. А. Королук, основанному на способности перекиси водорода образовывать с солями молибдена стойкий окрашенный комплекс [4].

Предварительная обработка семян амаранта ЭК в концентрации 10^{-11} М и его конъюгатами S23 в концентрации 10^{-10} М и S31 в концентрации 10^{-8} М приводила к увеличению длины корней и побегов у растений амаранта трехцветного (таблица 2). Так, длина корней увеличивалась на 51,0–69,7 % (рисунок 3), а побегов – на 17,8–30,0 % соответственно (рисунок 3); различия статистически достоверны (статистически недостоверно только по воздействию ЭК в концентрации 10^{-11} М на рост побега).

Таблица 2 – Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на морфометрические параметры амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал (вегетационный лабораторный опыт)

Вариант опыта	Корень		Побег	
	длина, мм	% к контролю	длина, мм	% к контролю
Контроль	$78,8 \pm 7,55$	100,0	$111,5 \pm 7,41$	100,0
ЭК 10^{-11} М	$119,0 \pm 3,56^*$	151,0	$131,4 \pm 4,98$	117,8
S23 10^{-10} М	$133,7 \pm 3,84^{***}$	169,7	$145,0 \pm 7,38^{**}$	130,0
S31 10^{-8} М	$124,3 \pm 4,34^{***}$	157,7	$134,0 \pm 7,47^*$	120,1

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



1 – ЭК, 10^{-11} М; 2 – S23, 10^{-10} М; 3 – S31, 10^{-8} М

Рисунок 3 – Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на морфометрические параметры амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал, % относительно контроля

Исследование содержания основных фотосинтетических пигментов в листьях амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал проводилось с изучением концентрации хлорофилла *a* (Хл *a*), хлорофилла *b* (Хл *b*) и каротиноидов (Кар).

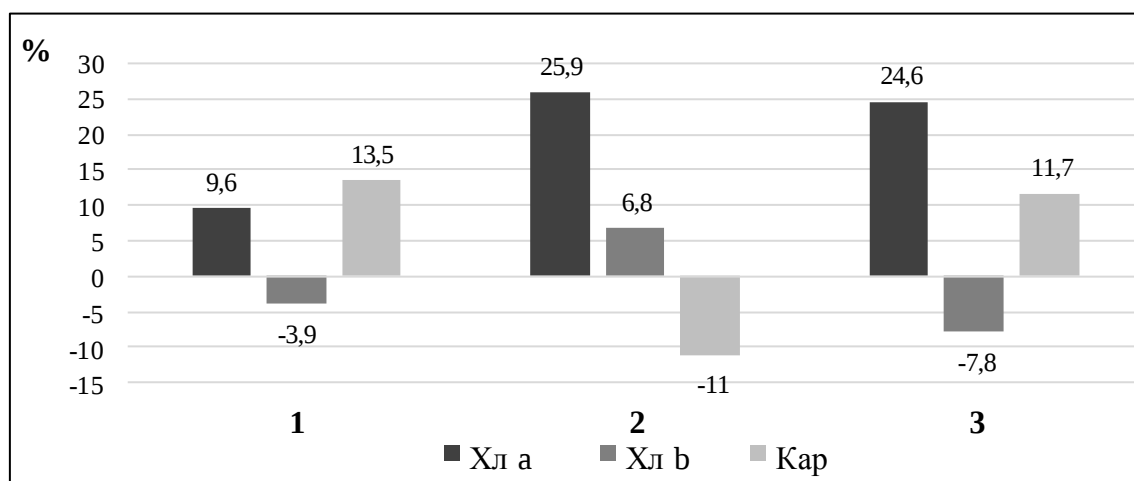
Проведенные исследования показали, что при использовании ЭК в концентрации 10^{-11} М наблюдалось повышение содержания Хл *a* и Кар на 9,6 % и 13,5 % соответственно (таблица 3, рисунок 4), но зафиксировано снижение содержания Хл *b* на 3,9 %.

При использовании S23 в концентрации 10^{-10} М наблюдалось также повышение содержания Хл *a* и Хл *b* на 25,9 % и 6,8 % соответственно, но зафиксировано снижение содержания Кар на 11 %.

Использование S31 в концентрации 10^{-8} М также приводило к повышению содержания Хл *a* (24,6 %) и Кар на 11,7 % и понижению Хл *b* на 7,8 % соответственно (рисунок 4), однако эти различия статистически недостоверны.

Таблица 3 – Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на содержание фотосинтетических пигментов в листьях амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал (вегетационный лабораторный опыт)

Вариант опыта	Содержание, мг/г		
	хлорофилла <i>a</i>	хлорофилла <i>b</i>	каротиноидов
Контроль	0,313 ± 0,035	0,103 ± 0,006	0,401 ± 0,094
ЭК 10^{-11} М	0,343 ± 0,008	0,099 ± 0,007	0,455 ± 0,014
S23 10^{-10} М	0,394 ± 0,039	0,110 ± 0,003	0,358 ± 0,019
S31 10^{-8} М	0,390 ± 0,022	0,095 ± 0,007	0,448 ± 0,047



1 – ЭК, 10^{-11} М; 2 – S23, 10^{-10} М; 3 – S31, 10^{-8} М

Рисунок 4 – Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на содержание фотосинтетических пигментов амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал, % относительно контроля

Основные функции в регуляторной деятельности клетки выполняют ферменты антиоксидантной защиты (пероксидаза и каталаза), обеспечивающие нормальный ход окислительных процессов.

В опытах с амарантом трехцветным предварительная обработка семян ЭК и его конъюгатом S23 в концентрации 10^{-10} М приводила к незначительному увеличению активности каталазы в листьях.

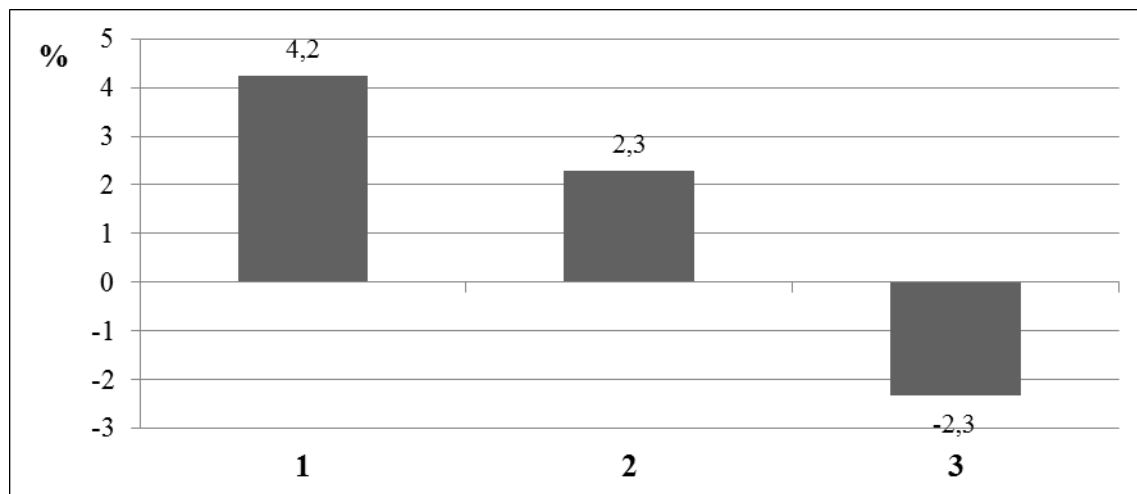
Так, активность каталазы увеличивалась на 4,2 % (статистически достоверно) и 2,3 % соответственно (таблица 4, рисунок 5).

Предварительная обработка семян S31 в концентрации 10^{-8} М приводила к снижению активности каталазы в листьях на 2,3 %, однако эти различия статистически недостоверны.

Таблица 4 – Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на активность каталазы в листьях амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал (вегетационный лабораторный опыт)

Вариант опыта	Активность каталазы	
	мкат/л	% к контролю
Контроль	$982,8 \pm 11,8$	100,0
ЭК, 10^{-11} М	$1024,5 \pm 8,8^*$	104,2
S23, 10^{-10} М	$1005,2 \pm 8,4$	102,3
S31, 10^{-8} М	$959,9 \pm 14,3$	97,7

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



1 – ЭК, 10^{-11} М; 2 – S23, 10^{-10} М; 3 – S31, 10^{-8} М

Рисунок 5 – Влияние эпикастастерона и его конъюгатов на активность каталазы в листьях амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал, % относительно контроля

Заключение

В результате проведенных лабораторных экспериментов установлено:

1) из протестированных веществ и концентраций для амаранта трехцветного сорта Бразильский карнавал максимальным ростостимулирующим эффектом на морфометрические параметры (длину корня и побега) обладает конъюгат эпикастастерона S23 (2-моносалицилат 24-эпикастастерона) в концентрации 10^{-10} М;

2) максимальным увеличением содержания основных фотосинтетических пигментов (хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов) в листьях амаранта трехцветного обладает конъюгат эпикастастерона S31 (тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона) в концентрации 10^{-8} М;

3) повышением активности каталазы обладают ЭК (эпикастастерон) в концентрации 10^{-11} М и его конъюгат S23 (2-моносалицилат 24-эпикастастерона) в концентрации 10^{-10} М при использовании предпосевного замачивания семян.

На основании выполненных исследований рекомендуется использовать 2-моносалицилат 24-эпикастастерон в концентрации 10^{-10} М как регулятор роста для амаранта трехцветного.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

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. Прусакова, Л. Д. Роль брассиностероидов в росте, устойчивости и продуктивности растений / Л. Д. Прусакова, С. И. Чинова // *Агрохимия*. – 1996. – № 11. – С. 137–150.
3. Такимацу, Т. Биологические основы и практическое применение эпибрассинолида / Т. Такимацу. – М., 1988. – 19 с.
4. Пустовойтова, Т. П. Повышение засухоустойчивости растений под воздействием эпибрассинолида / Т. П. Пустовойтова, Н. Е. Жданова, Н. В. Жолкевич // *Докл. РАН*. – 2001. – № 5. – С. 697 – 700.
5. Никулин, П. В. Особенности растений амаранта как С4-растения / П. В. Никулин // *Естествознание и гуманизм* : сб. науч. тр. – 2007. – Т. 4, № 1. – С. 46–48.
6. Семена цветочных культур. Правила приемки и методы отбора проб. Межгосударственный стандарт : ГОСТ 24933.0-81. – Введ. 01.10.86. – М. : Стандартинформ, 2011. – 23 с.
7. Дышко, В. Н. Агрохимические методы исследований : учеб.-метод. пособие / В. Н. Дышко, В. В. Дышко, П. В. Романенко. – Смоленск : ФГБОУ ВПО «Смол. ГСХА», 2014. – 48 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. Корольук [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. Khripach, V. A. Pierspiektivy praktichieskogo primienienija brassinostieroidov novogo klassa fitogormonov (obzor) / V. A. Khripach, V. I. Zhabinskij, F. A. Lakhvich // *S.-h. biologija*. – 1995. – № 1. – S. 3–11.
2. Prusakova, L. D. Rol' brassinostieroidov v rosti, ustojchivosti i produktivnosti rastienij / L. D. Prusakova, S. I. Chizhova // *Agrokhimija*. – 1996. – № 11. – S. 137–150.
3. Takimacu, T. Biologichieskije osnovy i praktichieskoje primienienije epibrassinolida / T. Takimacu. – M., 1988. – 19 s.
4. Pustovojtova, T. P. Povyshenije zasukhoustojchivosti rastienij pod vozdiejstviem epibrassinolida / T. P. Pustovojtova, N. Ye. Zhdanova, N. V. Zholkievich // *Dokl. RAN*. – 2001. – № 5. – S. 697–700.
5. Nikulin, P. V. Osobiennosti rastienij amaranta kak S4-rastienija / P. V. Nikulin // *Jestiestvoznaniie i gumanizm* : sb. nauch. tr. 2007. – Т. 4, № 1. – S. 46–48.
6. Siemiena cvietochnykh kul'tur. Pravila prijomki i mietody otbora prob. Miezghosudarstviennyj standart : GOST 24933.0-81. – Vvied. 01.10.86. – M. : Standartinform, 2011. – 23 s.
7. Dyshko, V. N. Agrokhimichieskije mietody issliedovanij : uchieb.-mietod. posobije / V. N. Dyshko, V. V. Dyshko, P. V. Romanienko – Smoliensk : FGBOU VPO «Smol. GSHA», 2014. – 48 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.