

УДК 57.044

Инна Валерьевна Бульская*канд. биол. наук, доц. каф. биологических и химических технологий
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина***Ina Bulskaya***Candidate of Biological Sciences,
Associate Professor of the Department of Biological and Chemical Technologies
of Brest State A. S. Pushkin University
e-mail: inabulskaya@gmail.com*

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ 24-ЭПИКАСТЕРОНА И 2-МОНОСАЛИЦИЛАТА
24-ЭПИКАСТЕРОНА НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ
И ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ
КОЛЕУСА БЛЮМЕ НА РАННИХ ЭТАПАХ РОСТА***

Впервые изучено влияние 24-эпикастерона и 2-моносалицилата 24-эпикастерона на развитие растений колеуса Блюме (сорта Вечерняя заря и Мозаика) на ранних этапах в лабораторных условиях. Показано влияние данных гормонов на некоторые морфометрические (всхожесть, длина вегетативных органов, масса) и физиолого-биохимические (содержание фотосинтетических пигментов и активность каталазы) параметры проростков в условиях вегетационного опыта.

Ключевые слова: brassinosteroids, coleus, growth regulators.

***Evaluation of the Influence of 24-Epicasterone and 24-Epicasterone 2-Monosalicylate
on the Morphometric and Physiological-Biochemical Parameters of Coleus Blume
in the Early Stages of Growth***

In this article for the first time the effect of 24-epicasterone and 2-monosalicylate 24-epicasterone on the development of coleus Blume plants (Evening Dawn and Mosaics varieties) at the initial stage in laboratory conditions were studied. The influence of these hormones on some morphometric (germination, length of vegetative organs, weight) and physiological-biochemical (content of photosynthetic pigments and catalase activity) parameters of seedlings under conditions of vegetation experiment has been shown.

Key words: brassinosteroids, coleus, growth regulators.

Введение

Среди наиболее распространенных проблем при выращивании декоративных растений можно назвать низкую всхожесть семян, плохую приживаемость рассады, подверженность воздействию стресс-факторов и различным заболеваниям. Для решения этих проблем успешно применяются регуляторы роста. Действие регуляторов роста разнообразно и выражается в различных аспектах: регуляторы роста влияют на обмен веществ, ускоряют прорастание семян и развитие корней, наступление фазы цветения, повышают адаптационные способности, снижают поступления чужеродных веществ, повышают продуктивность. Важное место среди регуляторов роста занимают природные и искусственно синтезированные растительные гормоны [1].

Примером таких гормонов служат brassinosteroids – широко распространенные нетоксичные фитогормоны, которые относятся к классу стероидов. Они выполняют весьма разнообразные функции: поддерживают нормальное функционирование иммунной системы растения, участвуют в репродуктивном развитии и сосудистой диффе-

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

ренциации, обладают сильной ростостимулирующей активностью и являются стрессовыми адаптогенами. Брассиностероиды содержатся в растительных клетках в очень малом количестве, на практике применяются в крайне низких дозах и способны улучшить рост сельскохозяйственных или декоративных культур без использования традиционных химических удобрений, в т. ч. в условиях неблагоприятного климата. Они также влияют на важные аспекты развития, такие как прорастание семян, ризогенез, цветение, старение, опадение и созревание [2]. Разработка новых, более простых методов синтеза этих гормонов, а также накопление знаний о способах, дозах, периодичности их использования являются необходимыми условиями для успешного применения данного вида растительных гормонов в сельском хозяйстве и зеленом строительстве [3–5].

Целью данного исследования стало изучение влияния эпикастастерона и его конъюгата – 2-моносалицилата 24-эпикастастерона – на рост и развитие колеуса в лабораторных условиях.

В качестве тест-объекта в данном исследовании был выбран колеус Блюме (*Plectranthus scutellarioides* (L.)), сорт Вечерняя заря и сорт Мозаика. Колеус – род травянистых многолетних растений из семейства яснотковые (Lamiaceae). Семена яснотковых, как правило, отличаются быстрым прорастанием, однако характер прорастания различный, лабораторная всхожесть семян значительно варьирует [6].

Колеус Блюме (*Plectranthus scutellarioides*, или *Coleus blumeii*) относится к роду Колеус (*Coleus*). Это популярное декоративное растение, пригодное для выращивания открытом грунте, в качестве комнатного растения, для внешнего оформления балконов и окон. Колеус Блюме – полукустарник высотой до 80 см, имеет ребристые, четырехгранные стебли, заостренные на вершине листья яйцевидной формы, соцветия *сложный колос*. Окраска листьев колеуса весьма разнообразна. Цветки лилово-сиреневого цвета. Колеус Блюме – исходная форма для большинства современных сортов, и он хорошо подходит для исследования влияния брассиностероидов на род Колеус [7].

Материалы и методы исследования

Гормоны, использованные для проведения эксперимента, получены в Институте биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси. Для выбора оптимальной концентрации 24-эпикастастерона (ЭК) и 2-моносалицилата 24-эпикастастерона (S23), оказывающей стимулирующее действие на развитие проростков колеуса, для каждого из гормонов был выбран диапазон концентраций 10^{-11} – 10^{-7} М. Семена колеуса предварительно замачивали в течение пяти часов в растворах гормонов ЭК и S23. В качестве контроля использовали воду. Семена проращивали по стандартной методике [6; 8] на фильтровальной бумаге в чашках Петри при температуре 17–23 °С на свету.

Для проведения вегетационного опыта после предварительного замачивания семян в течение пяти часов в растворах ЭК и S23 семена колеуса высевали в горшки в почву. Горшки помещали в климатизированное помещение, расставляли в случайном порядке и поливали ежедневно (50 % полевой влажности почвы). В качестве контроля использовали растения, семена которых замачивали в воде.

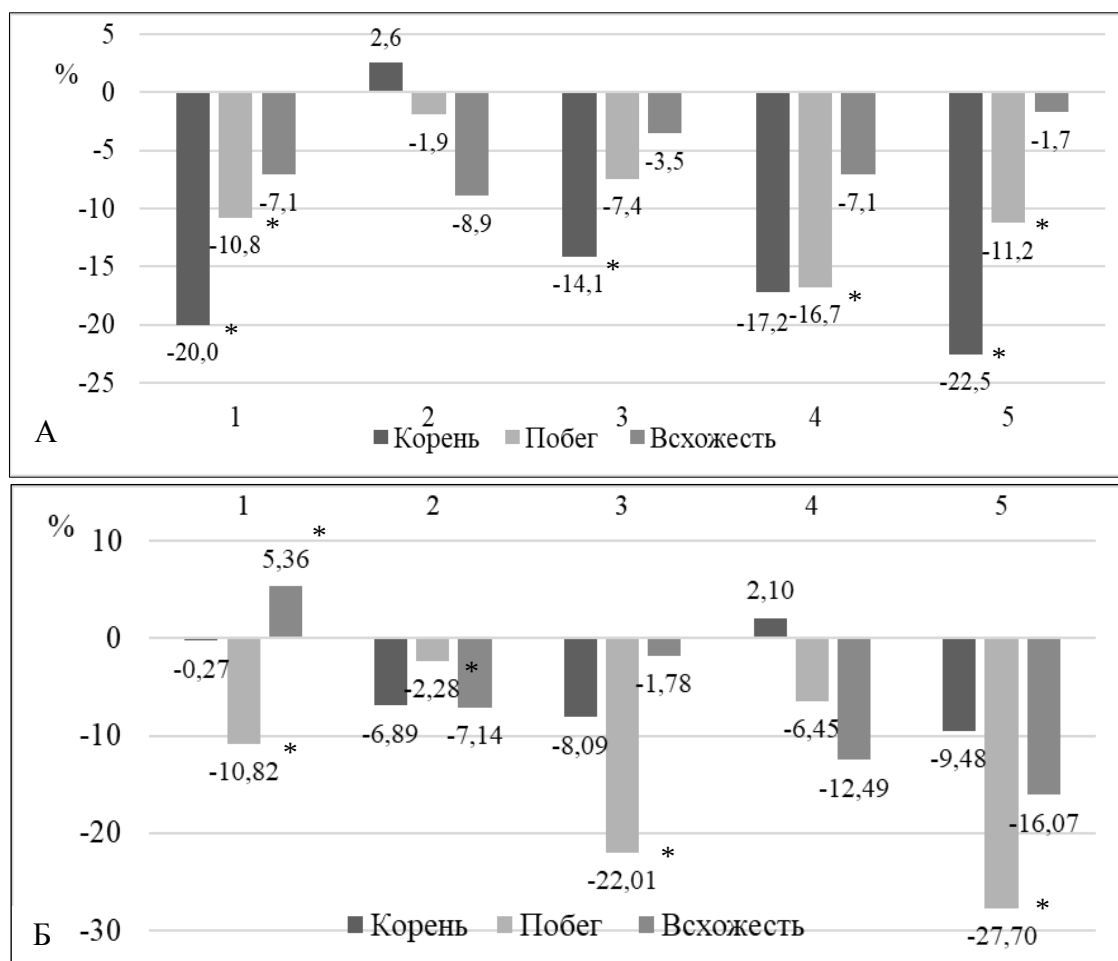
Растения собирали на стадии двух-трех настоящих листьев. Определяли сырую массу, длину побега и корня и биохимические показатели растений: содержание фотосинтетических пигментов и активность каталазы. Определение содержания фотосинтетических пигментов (хлорофилла и каротиноидов) проводилось по общепринятой методике [9], спектрофотометрически (спектрофотометр Proscan MC 122, «Проскан специальные инструменты», Республика Беларусь) в кварцевой кювете, при длине пути светового монохромного луча в 1 см и длинах волн 663, 646 и 470 нм. Извлечение каталазы из растительных тканей и анализ активности фермента проводились согласно мето-

дике [10]. Интенсивность окраски реакционной смеси определялась на спектрофотометре Proscan MC 122 при длине волны 410 нм и длине оптического пути 1 см.

Статистический анализ был проведен с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

Результаты воздействия ЭК на морфометрические параметры проростков колеуса Блюме (сорт Вечерняя заря и сорт Мозаика) в лабораторном опыте представлены на рисунке 1.



Примечание – * – достоверно по t-критерию Стьюдента при $P = 0,05$.

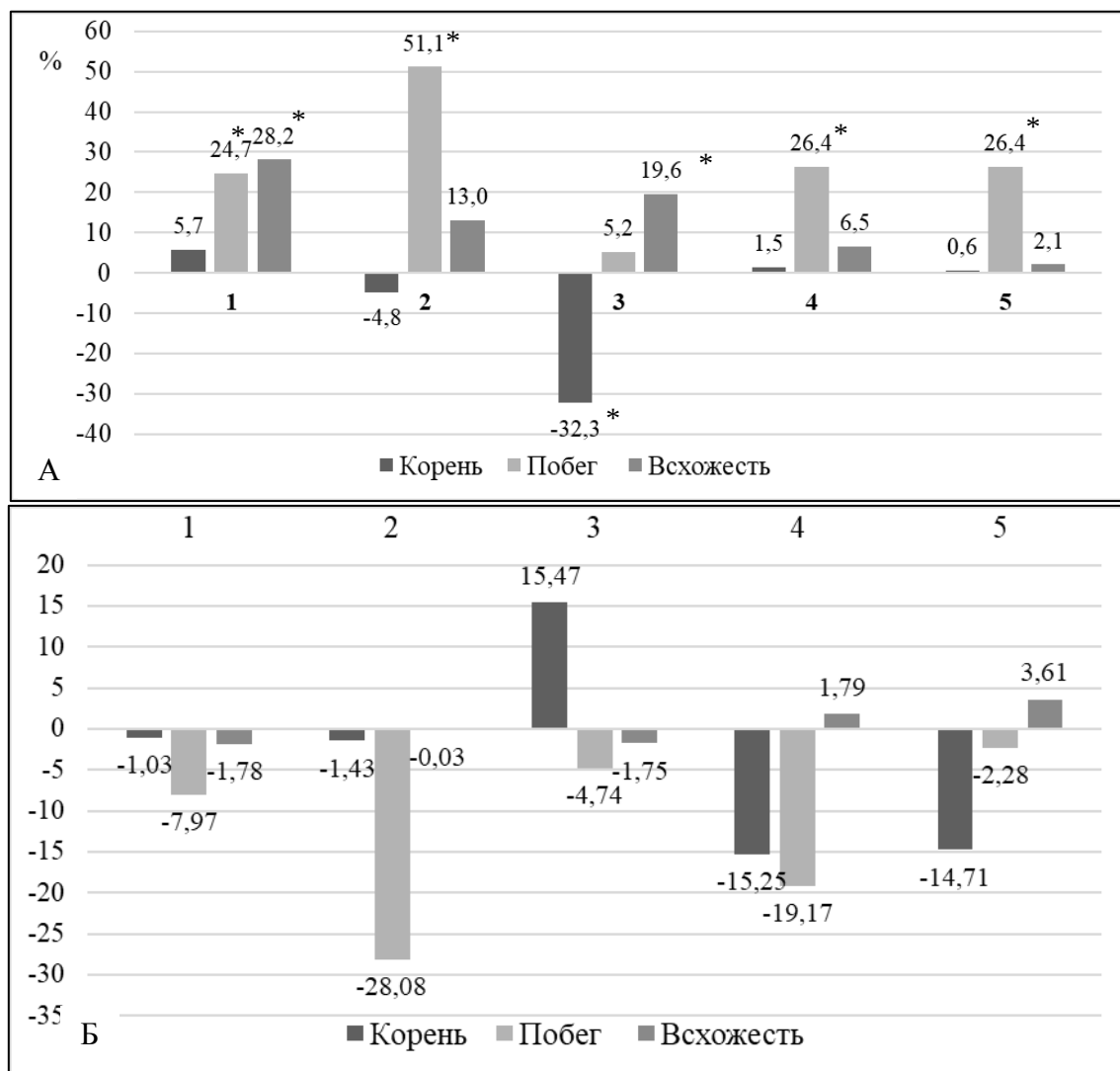
Рисунок 1 – Влияние 24-эпикастестерона на морфометрические параметры колеуса (А – сорт Вечерняя заря, Б – сорт Мозаика), % к контролю: 1 – 10^{-11} М; 2 – 10^{-10} М; 3 – 10^{-9} М; 4 – 10^{-8} М; 5 – 10^{-7} М

Для сорта Вечерняя заря всхожесть варьировала в пределах 85–93,3 % и незначительно различалась между вариантами опыта. Длина корня проростков и побегов после обработки семян ЭК была ниже, чем в контроле, во всех вариантах опыта, кроме концентрации 10^{-10} М (длина корня незначительно выше).

Для сорта Мозаика всхожесть варьировала от 78,33 до 98,33 %. При наименьшей концентрации (10^{-11} М) всхожесть была выше контрольной, при концентрациях 10^{-10} – 10^{-7} М – ниже контрольного опыта на 1,78 – 16,07 %. Длина корня варьировала от 20,24 до 22,83 мм, в опытных вариантах длина корня ниже контрольной на 0,28 – 9,48 %, за исключением концентрации 10^{-10} М, при которой отмечен незначительный прирост.

Длина побега составляла от 3,81 до 5,27 мм и во всех вариантах опыта была ниже контрольной на 2,27 – 27,7 %.

Результаты воздействия S23 на морфометрические параметры проростков колеуса в лабораторном опыте представлены на рисунке 2. Для сорта Вечерняя заря всхожесть варьировала в пределах 77–98 % и во всех вариантах опыта была выше контроля.



Примечание – * – достоверно по t-критерию Стьюдента при $P = 0,05$.

Рисунок 2 – Влияние 2-моносалицилата 24-эпикастестерона на морфо-метрические параметры колеуса (А – сорт Вечерняя заря, Б – сорт Мозаика), % к контролю: 1 – 10^{-11} М; 2 – 10^{-10} М; 3 – 10^{-9} М; 4 – 10^{-8} М; 5 – 10^{-7} М

Длина корня проростков после обработки семян S23 значительно варьировала для разных концентраций. Так, для концентраций 10^{-9} М и 10^{-10} М средняя длина корня была ниже, для концентрации 10^{-7} М практически не отличалась, а для концентраций 10^{-8} М и 10^{-11} М была выше длины в контрольном опыте. Длина побегов для всех исследованных концентраций превосходила длину побега в контрольном опыте.

Для сорта Мозаика всхожесть варьировала от 91,7 до 97,7 %. При концентрации 10^{-7} и 10^{-8} М всхожесть была немного выше контрольной, при более низкой концентрации – ниже контрольного опыта. Длина корня варьировала от 18,95 до 22,36 мм, в опытных вариантах длина корня была ниже контрольной на 1,03 – 15,25 %, за исклю-

чением концентрации 10^{-9} М, при которой отмечен прирост в 15,47 %. Длина побега варьировала от 3,79 до 5,27 мм и во всех вариантах опыта была ниже контрольной на 2,27 – 28,08 %.

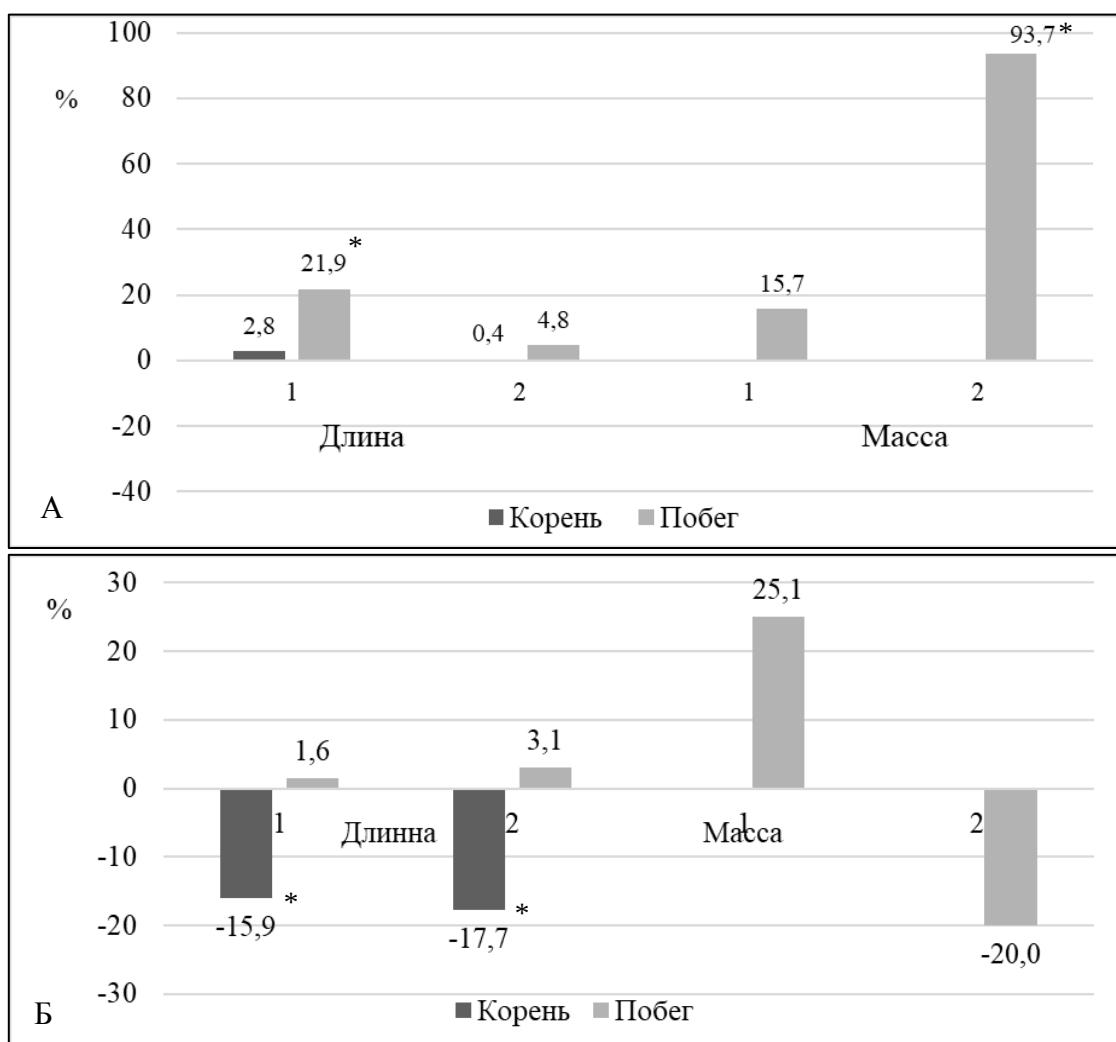
По результатам лабораторного опыта для проведения вегетационного опыта были выбраны следующие концентрации брассиностероидов для сорта Вечерняя заря:

1) для ЭК – 10^{-10} М, т. к. при обработке семян колеуса ЭК в данной концентрации длина корня несколько увеличивается, а длина побега и всхожесть снижаются незначительно;

2) для S23 – 10^{-11} М, т. к. при обработке семян колеуса S23 в данной концентрации отмечено достоверное увеличение длины корня и всхожести, длина побега также демонстрирует прибавку.

Для сорта Мозаика были выбраны концентрации ЭК 10^{-10} М, S23 10^{-9} М, т. к. при их воздействии угнетающий эффект наименее выражен.

Результаты воздействия ЭК и S23 на морфометрические параметры проростков колеуса Блюме (сортов Вечерняя заря и Мозаика) в вегетационном опыте представлены на рисунке 3.



Примечание – * – достоверно по t-критерию Стьюдента при $P = 0,05$.

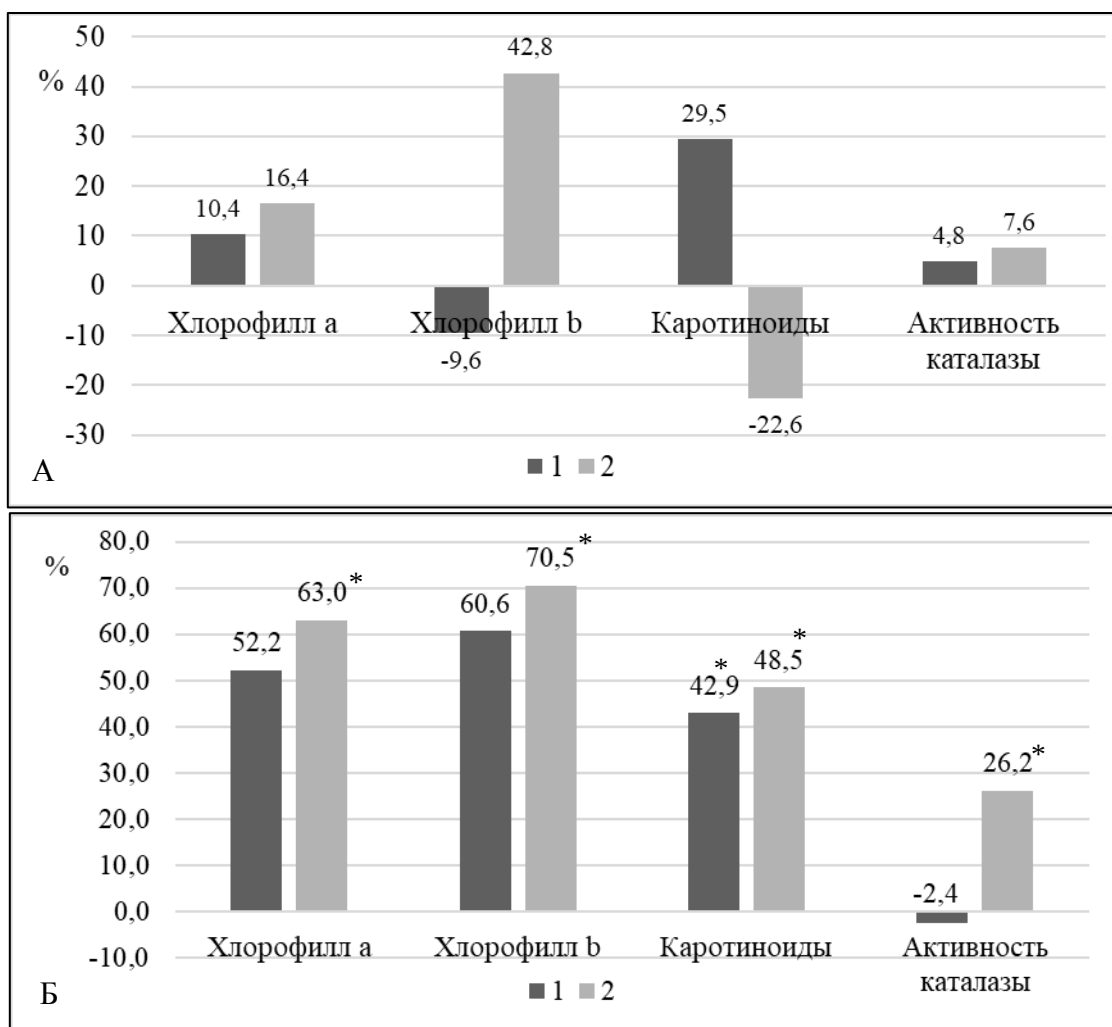
Рисунок 3 – Влияние ЭК и S23 на морфометрические параметры колеуса (А – сорт Вечерняя заря, Б – сорт Мозаика), % к контролю: 1 – ЭК, 2 – S23

Для сорта Вечерняя заря средняя длина корней и побегов после обработки семян изученными гормонами была незначительно выше контрольного опыта. Массы корня после обработки ЭК и S23 ниже контрольного опыта, а массы побегов в опытных вариантах выше контроля.

Для сорта Мозаика длина корня как при обработке ЭК, так и при обработке семян S23 была ниже контрольной, длина побега в двух вариантах опыта практически не отличалась от контроля. Масса побегов при обработке ЭК превысила контрольный опыт на 25 %, а при обработке S23 снизилась на 20 %.

В научной литературе для ЭК отмечается стимулирующее воздействие на рост вегетативных органов (для сельскохозяйственных культур – клевера лугового, льна масличного, а также декоративных – петунии), в первую очередь корней [11–13]. В некоторых источниках отмечают также ингибирование роста корней [14; 15].

Результаты воздействия ЭК и S23 на биохимические параметры проростков колеуса представлены на рисунке 4.



Примечание – * – достоверно по t-критерию Стьюдента при $P = 0,05$.

Рисунок 4 – Действие эпикастестерона и 2-моносалицилата 24-эпикастестерона на содержание пигментов в листьях колеуса (А – сорт Вечерняя заря, Б – сорт Мозаика) и активность каталазы, % к контролю: 1 – ЭК, 2 – S23

Так, для сорта Вечерняя заря активность каталазы была выше в опытных образцах по сравнению с контролем. Для сорта Мозаика активность каталазы повысилась только при обработке S23. Показано, что для растений разных видов в физиологических концентрациях брассиностероиды могут способствовать повышению активности антиоксидантных ферментов [16].

Для сорта Вечерняя заря содержание пигментов в опытных и контрольных образцах отличалось следующим образом: содержание хлорофилла *a* повысилось при обработке ЭК и S23; содержание хлорофилла *b* снизилось при обработке ЭК и повысилось при обработке S23; содержание каротиноидов повысилось при обработке ЭК и снизилось при обработке S23.

Во всех вариантах опыта для сорта Мозаика наблюдалось возрастание концентрации пигментов по сравнению с контролем при обработке. Наиболее выраженный прирост наблюдался для хлорофилла *b* (концентрация возросла на 61 % для ЭК и на 71 % для S23).

Неоднородность полученных в вегетационном опыте ответов, а также небольшое число достоверных значений в опыте с сортом Вечерняя заря могут быть связаны с тем, что для многих декоративных растений более эффективной является внекорневая обработка брассиностероидами [13; 17].

Заключение

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод, что для сорта Вечерняя заря обработка ЭК более выраженно сказалась на длине побега и содержании каротиноидов, а обработка S23 на массе побега и содержании хлорофиллов. Обработка семян колеуса Блюме (сорт Вечерняя заря) протестированными гормонами привела к некоторому улучшению ростовых и биохимических показателей в условиях вегетационного опыта, однако невысокое количество достоверных отличий от контрольных опытов говорит о недостаточной степени влияния протестированных гормонов методом предпосевной обработки семян.

Для сорта Мозаика действие ЭК и S23 наиболее выраженно сказалось на длине корня и массе побега. При этом в вегетационном опыте оба гормона вызвали угнетение роста корня, а для массы побега действие двух гормонов было противоположным: обработка ЭК привела к увеличению, а обработка S23 – к снижению массы. Для обоих гормонов в вегетационном опыте отмечен рост содержания пигментов, а для S23 также возрастание активности каталазы. Сопоставление результатов воздействия на морфометрические и биохимические параметры указывает, что предпосевная обработка протестированными гормонами не ведет к улучшению роста колеуса Блюме сорта Мозаика, а в случае с S23 является стресс-фактором.

Таким образом, предпосевная обработка семян колеуса Блюме 24-эпикастастероном и 2-моносалицилатом 24-эпикастастерона может быть признана неэффективной. Дальнейшие исследования целесообразно проводить в направлениях изучения видовой специфичности ответов других видов декоративных растений и внекорневой обработки растений колеуса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Усова, К. А. Экологически безопасные высокоэффективные регуляторы роста растений для цветочно-декоративных культур (обзор российской литературы) / К. А. Усова, С. Л. Белопухов, И. Г. Шайхиев // Вестн. Казан. технол. ун-та. – 2016. – Т. 19, № 21. – С. 193–198.

2. Bajguz, A. Review. Metabolism of brassinosteroids in plants / A. Bajguz // Plant Physiology and Biochemistry. – 2007. – Nr 45. – P. 95–107.
3. Brosa, C. Biological Effects of Brassinosteroids / C. Brosa // Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology. – 1999. – Nr 34:5. – P. 339–358.
4. Ботиров, Э. Х. Химический состав и биологическая активность метаболитов растений рода *Equisetum* L. / Э. Х. Ботиров, В. М. Боначева, Н. Э. Коломиец // Химия раст. сырья. – 2021. – № 1. – С. 5–26.
5. Ali, B. Review. Practical applications of brassinosteroids in horticulture – some field perspectives / B. Ali // Scientia Horticulturae. – 2017. – Vol. 225. – P. 15–21.
6. Фомина, Т. И. Особенности прорастания семян декоративных многолетников семейства (*Lamiaceae* Martinov) / Т. И. Фомина // Изв. Уфим. науч. центра РАН. – 2018. – № 4. – С. 60–64.
7. Колеус Блюме [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1443594#cite_ref-autogenerated1_2-1. – Дата доступа: 02.12.2023.
8. Deno, N. C. Second supplement to seed germination theory and practice / N. C. Deno. – State College PA, 1998. – 101 p.
9. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по фотосинтезу / В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова. – М. : Академия, 2006. – 256 с.
10. Метод определения активности каталазы / М. А. Королюк [и др.] // Лаб. дело. – 1988. – № 1. – С. 16–19.
11. Хомюк, Я. В. Влияние эпикастастерона 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. ун-та. Сер. 5, Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2022. – № 2. – С. 52–62.
12. Ходянков, А. А. Эпикастастерон – новый отечественный регулятор роста для льна масличного [Электронный ресурс] / А. А. Ходянков // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2019. – № 2. – С. 154–157. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/epikastasteron-novyy-otechestvennyy-regulyator-rosta-dlya-lna-maslichnogo>. – Дата доступа: 25.10.2023.
13. Ясюкович, Т. В. Влияние брассиностероидов на рост и развитие цветочно-декоративной культуры петунии (*Petunia*) / Т. В. Ясюкович, Т. В. Каленчук, А. Г. Чернецкая // Вестн. Полес. гос. ун-та. Сер. природоведч. наук. – 2016. – № 2. – С. 19–23.
14. Liu, J. Review. Structure-activity relationship of brassinosteroids and their agricultural practical usages / J. Liu // Steroids. – 2017. – Vol. 124. – P. 1–17.
15. Bajguz, A. The chemical characteristic and distribution of brassinosteroids in plants / A. Bajguz, A. Tretyn // Phytochemistry. – 2003. – Vol. 62 (7). – P. 1027–1046.
16. Афк-зависимое стресс-протекторное действие 24-эпикастастерона и его моносалицилата на проростки пшеницы при гипертермии / Р. П. Литвиновская [и др.] // Приклад. биохимия и микробиология – 2021. – Т. 57, № 6. – С. 605–612.
17. Чернецкая, А. Г. Изучение отдельных морфометрических параметров роста и развития крупноцветковых сортов *Chrysanthemum indicum* (L.) в условиях закрытого грунта / А. Г. Чернецкая, Т. В. Каленчук // Вестн. Полес. гос. ун-та. Сер. природоведч. наук. – 2013. – № 1. – С. 45–53.

REFERENCES

1. Usova, K. A. Ekologichieski biezopasnyje vysokoeffiektivnyje riegulatory rosta rastenij dlja cvietочно-diekorativnykh kul'tur (obzor rossijskoj literatury) / K. A. Usova, S. L. Bielopukhov, I. G. Shajkhijev // Viestn. Kazan. tiehnol. un-ta. – 2016. – Т. 19, № 21. – С. 193–198.

2. Bajguz, A. Review. Metabolism of brassinosteroids in plants / A. Bajguz // Plant Physiology and Biochemistry. – 2007. – Nr 45. – P. 95–107.
3. Brosa, C. Biological Effects of Brassinosteroids / C. Brosa // Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology. – 1999. – Nr 34:5. – P. 339–358.
4. Botirov, E. Kh. Khimichieskij sostav i biologichieskaja aktivnost' mietabolitov rastenij roda *Equisetum* L. / E. Kh. Botirov, V. M. Bonachieva, N. E. Kolomijec // Khimija rast. syr'ja. – 2021. – № 1. – S. 5–26.
5. Ali, B. Review. Practical applications of brassinosteroids in horticulture – some field perspectives / B. Ali // Scientia Horticulturae. – 2017. – Vol. 225. – P. 15–21.
6. Fomina, T. I. Osobiennosti prorastanija siemian diekorativnykh mnogolietnikov siemiejstva (*Lamiaceae* Martinov) / T. I. Fomina // Izv. Ufim. nauch. centra RAN. – 2018. – № 4. – S. 60–64.
7. Kolieus Bliume [Elektronnyj riesurs]. – Riezhim dostupa: https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1443594#cite_ref-autogenerated1_2-1. – Data dostupa: 02.12.2023.
8. Deno, N. C. Second supplement to seed germination theory and practice / N. C. Deno. – State College PA, 1998. – 101 p.
9. Gavrilienko, V. F. Bol'shoj praktikum po fotosintezu / V. F. Gavrilienko, T. V. Zhihalova. – M. : Akadiemija, 2006. – 256 s.
10. Mietod opriedielienija aktivnosti / M. A. Koroliuk [i dr.] // Lab. delo. – 1988. – № 1. – S. 16–19.
11. Khomiuk, Ya. V. Vlijanije epikastasterona i jeho konjugatov s kislotami na morfometricheskije i fiziologo-biokhimichieskije paramietry *Trifolium pratense* L. / Ya. V. Khomiuk, E. G. Artiemuk, R. P. Litvinovskaja // Viesn. Bresc. un-ta. Sier. 5, Bijalohija. Navuki ab ziamli. – 2022. – № 2. – S. 52–62.
12. Khodiankov, A. A. Epikastasteron – novyj otiechiestviennyj riegulator rosta dlja l'na maslichnogo [Elektronnyj riesurs] / A. A. Khodiankov // Viestn. Bielorus. gos. s.-kh. akad. – 2019. – № 2. – S. 154–157. – Riezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/-epikastasteron-novyy-otechestven-nyy-regulyator-rosta-dlya-lna-maslichnogo>. – Data dostupa: 25.10.2023.
13. Jasyukovich, T. V. Vlijanije brassinosteroidov na rost i razvitije cvietochno-diekorativnoj kul'tury pietunii (*Petunia*) / T. V. Jasyukovich, T. V. Kalienchuk, A. G. Chiernieckaja // Viestn. Polies. gos. un-ta. Sier. prirodoviedch. nauk. – 2016. – № 2. – S. 19–23.
14. Liu, J. Review. Structure-activity relationship of brassinosteroids and their agricultural practical usages / J. Liu // Steroids. – 2017. – Vol. 124. – P. 1–17.
15. Bajguz, A. The chemical characteristic and distribution of brassinosteroids in plants / A. Bajguz, A. Tretyn // Phytochemistry. – 2003. – Vol. 62 (7). – P. 1027–1046.
16. Afk-zavisimoje stress-protektornoje diejstvije 24-epikastasterona i jeho mono-salicilata na prorostki pshenicy pri gipiertermii / R. P. Litvinovskaja [i dr.] // Priklad. biokhimija i mikrobiologija. – 2021. – T. 57, № 6. – S. 605–612.
17. Chiernieckaja, A. G. Izuchienije otdiel'nykh morfometricheskikh paramietrov rosta i razvitija krupnocvietkovykh sortov *Chrysanthemum indicum* (L.) v uslovijah zakrytogo grunta / A. G. Chiernieckaja, T. V. Kalienchuk // Viestn. Polies. gos. un-ta. Sier. prirodoviedch. nauk. – 2013. – № 1. – S. 45–53.