

Инна Валерьевна Бульская

канд. биол. наук, доц., доц. каф. биологических и химических технологий
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

Inna Bulskaya

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Biological and Chemical Technologies
of Brest State A. S. Pushkin University
e-mail: inabulskaya@gmail.com

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕКОРНЕВОЙ ОБРАБОТКИ 24-ЭПИКАСТАСТЕРОНОМ И 2-МОНОСАЛИЦИЛАТОМ 24-ЭПИКАСТАСТЕРОНА КОЛЕУСА БЛЮМЕ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ИЗ СЕМЯН*

Представлены результаты исследования влияния двух выбранных брассиностероидов: 24-эпикастастерона и его конъюгата – 2-моносалицилата 24-эпикастастерона – на рост и развитие растений колеуса, выращенных из семян, методом внекорневой обработки. Исследование проведено на двух сортах колеуса Блюме – Вечерняя Заря и Мозаика. Показаны сортоспецифические отличия реакции морфометрических и физиолого-биохимических параметров.

Ключевые слова: брассиностероиды, колеус, регуляторы роста.

Efficiency of Foliar Treatment with 24-Epicastasterone and 2-Monosalicylate of 24-Epicastasterone of Coleus Blumei When Growing from Seeds

The article presents the results of the study of the effect of two selected brassinosteroids: 24-epicastasterone and its conjugate – 2-monosalicylate 24-epicastasterone on the growth and development of coleus plants grown from seeds using foliar treatment. The study was conducted on two varieties of coleus Blume – Vechernyaya Zarya and Mosaica. Variety-specific differences in the reaction of morphometric and physiological-biochemical parameters are shown.

Key words: brassinosteroids, coleus, growth regulators.

Введение

В современном сельском хозяйстве и декоративном растениеводстве поиск и внедрение экологически безопасных стимуляторов роста растений является одним из приоритетных направлений. Это обусловлено необходимостью снижения химической нагрузки на агроэкосистемы и повышения качества продукции. Брассиностероиды – природные растительные гормоны стероидной природы – зарекомендовали себя как перспективные биорегуляторы, способные положительно влиять на широкий спектр физиологических процессов, включающих рост, развитие, устойчивость к стрессовым факторам окружающей среды и продуктивность. В научной литературе за последние годы накоплено немало исследований, подтверждающих эффективность брассиностероидов в разных условиях и на разных культурах, например, стимулирующее влияние отдельных брассиностероидов на рост и развитие подсолнечника [1], злаковые травы [2; 3]. Показано, что внекорневая обработка фитогормонами (наравне обработкой) способствует росту растений, в частности проростков кукурузы и сои [4]. Разработка препаратов на основе брассиностероидов представляется весьма эффективной еще и потому,

**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 (Биоорхимия)» ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия» на 2021–2025 гг.*

что экологически безопасные препараты с комплексным воздействием приобретают все большую популярность [5].

В контексте декоративного растениеводства, где важны не только скорость роста, но и эстетические качества растений, изучение влияния брассиностероидов приобретает особое значение. Колеус Блюме (*Plectranthus scutellarioides*) является популярным объектом для селекции и выращивания благодаря своей декоративности и разнообразию сортов [6], относится к роду Колеус (*Coleus*) – роду травянистых многолетних растений из семейства яснотковых (*Lamiaceae*). Большинство видов этого семейства характеризуются быстрым прорастанием, однако всхожесть семян растений семейства *Lamiaceae* может значительно варьировать [7], что делает актуальным поиск методов стимуляции раннего развития. В качестве тест-объектов выбраны сорт Вечерняя заря и сорт Мозаика колеуса Блюме, который является исходной формой для большинства современных сортов.

Статья посвящена исследованию влияния двух брассиностероидов: 24-эпикастерона и его конъюгата – 2-моносалицилата 24-эпикастерона – на рост и развитие колеуса Блюме при выращивании из семян методом внекорневой обработки. Представленные результаты позволят оценить эффективность применения этих веществ в качестве экологических стимуляторов роста и могут служить основанием для разработки рекомендаций по их использованию.

Материалы и методы исследования

Гормоны, использованные для проведения эксперимента, получены в Институте биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси. В ходе исследования был проведен эксперимент по оценке действия 24-эпикастерона (ЭК) и его конъюгата – 2-моносалицилата 24-эпикастерона (S23) на растения колеуса Блюме сортов Вечерняя заря и Мозаика в вегетационном лабораторном опыте (в почвогрунте) методом внекорневой обработки.

Для оценки влияния ЭК и S23 на физиолого-биохимические параметры колеуса были использованы следующие варианты опыта:

- 1) контроль (дистиллированная вода);
- 2) для сорта Мозаика – ЭК 10^{-10} М, S23 10^{-9} М;
- 3) для сорта Вечерняя заря – ЭК 10^{-10} М, S23 10^{-11} М.

Оптимальные концентрации гормонов, использованные в данном исследовании для обработки растений, были установлены на предыдущем этапе исследования [8].

Семена (по 30 шт.) были высажены в горшки объемом 0,5 л, расставлены в случайном порядке, поливались отстоянной водопроводной водой (50 % полевой влажности почвы) и перемещались согласно разработанной схеме для создания одинаковых условий. Растения обрабатывали растворами гормонов на стадии второго настоящего листа и повторно через 7 дней [1; 2; 4], после чего собирали спустя три дня [4] после последней обработки. Контрольные образцы растений обрабатывали дистиллированной водой.

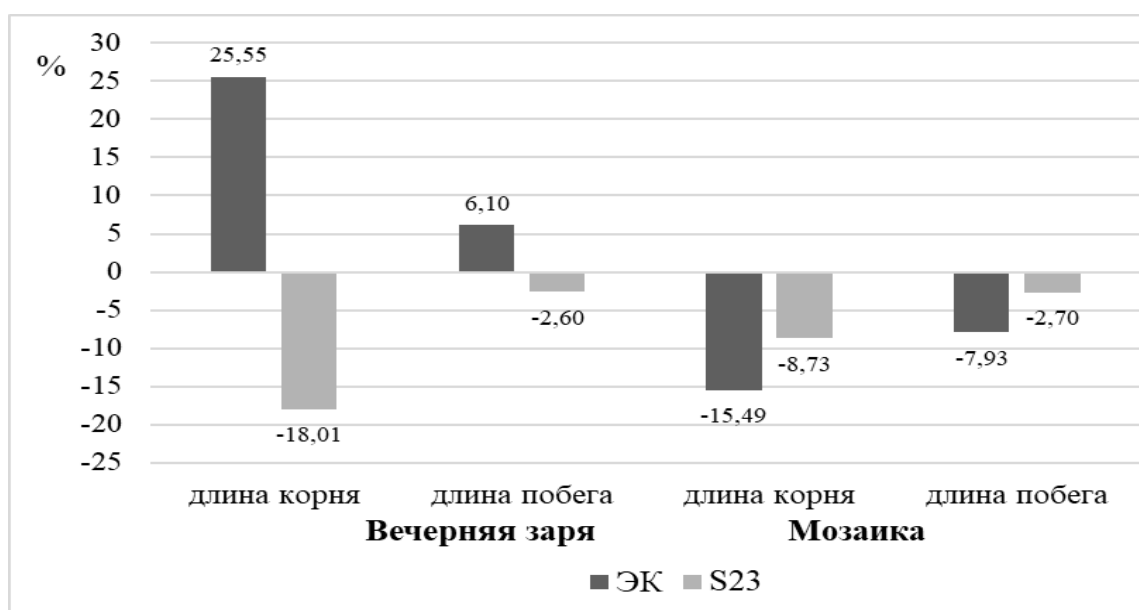
Для оценки влияния гормонов на растения колеуса определяли сырую массу, длину побега и корня и биохимические показатели растений: содержание фотосинтетических пигментов и активность каталазы. Определение содержания фотосинтетических пигментов (хлорофилла и каротиноидов) проводилось по общепринятой методике [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 проводили согласно методике [10]. Интенсивность окраски реакционной смеси опреде-

ляли на спектрофотометре Proscan MC 122 при длине волны 410 нм и длине оптического пути 1 см. Статистический анализ был проведен с использованием программы Excel Microsoft Office.

Результаты и обсуждение

После обработки ЭК длина корня увеличилась по сравнению с контролем только в опыте с сортом Вечерняя заря увеличение составило 25,6 % (рисунок 1). Длина побега также показала небольшое увеличение (6 %) при обработке ЭК растений сорта Вечерняя заря. При обработке S23 длина побега растений сорта Вечерняя заря была меньше, чем в контроле. При обработке растений сорта Мозаика обоими исследованными гормонами длина побега была меньше, чем в контроле. Таким образом, S23 оказал угнетающий эффект на длину вегетативных органов растений колеуса во всех вариантах опыта, а ЭК показал ростстимулирующий эффект только при обработке сорта Вечерняя заря.



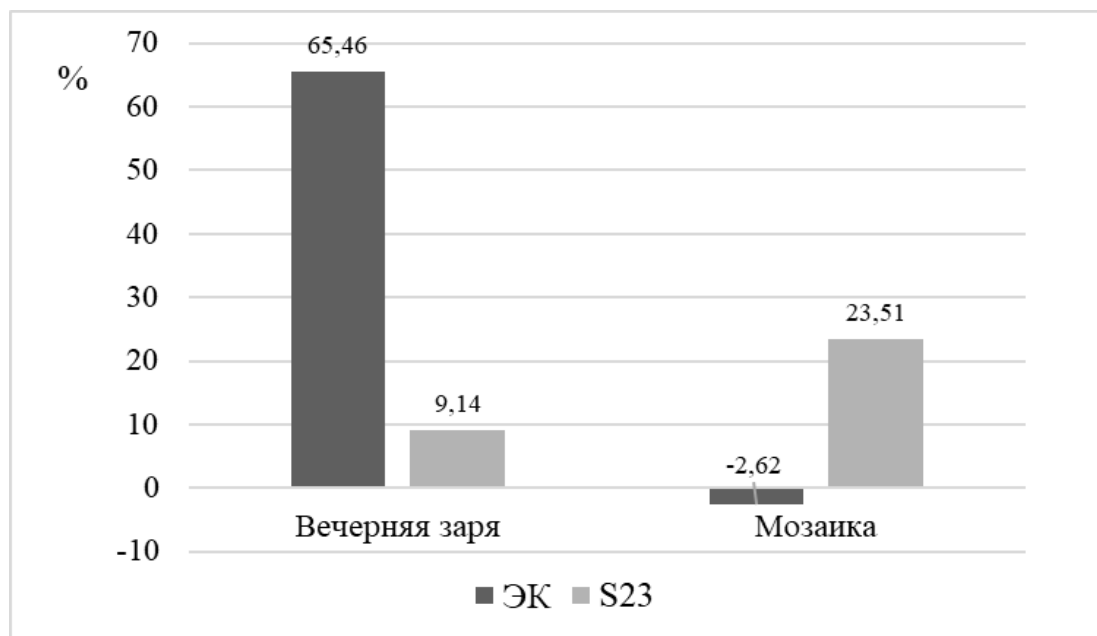
Сорт Вечерняя заря: ЭК 10^{-10} М и S23 10^{-11} М; сорт Мозаика: ЭК 10^{-10} М и S23 10^{-9} М

Рисунок 1 – Влияние 24-эпикастастерона и 2-моносалицилата 24-эпикастастерона на длину корней и побегов колеуса Блюме, % к контролю

Средняя масса побегов колеуса при обработке растений ЭК показала значительный прирост (65,5 %) для сорта Вечерняя заря (рисунок 2), однако масса побегов между отдельными образцами, обработанными ЭК, сильно варьировала: от 0,06 до 0,29 г. Обработка ЭК не оказала практического эффекта на растения сорта Мозаика. При обработке S23 масса побегов увеличилась по сравнению с контролем для обоих сортов (на 9,1 % для сорта Вечерняя заря и на 23,5 % для сорта Мозаика). Прирост массы при отсутствии прироста длины побега можно объяснить увеличением размера листовой пластины, что важно для культивирования растений, у которых листья обладают декоративными свойствами.

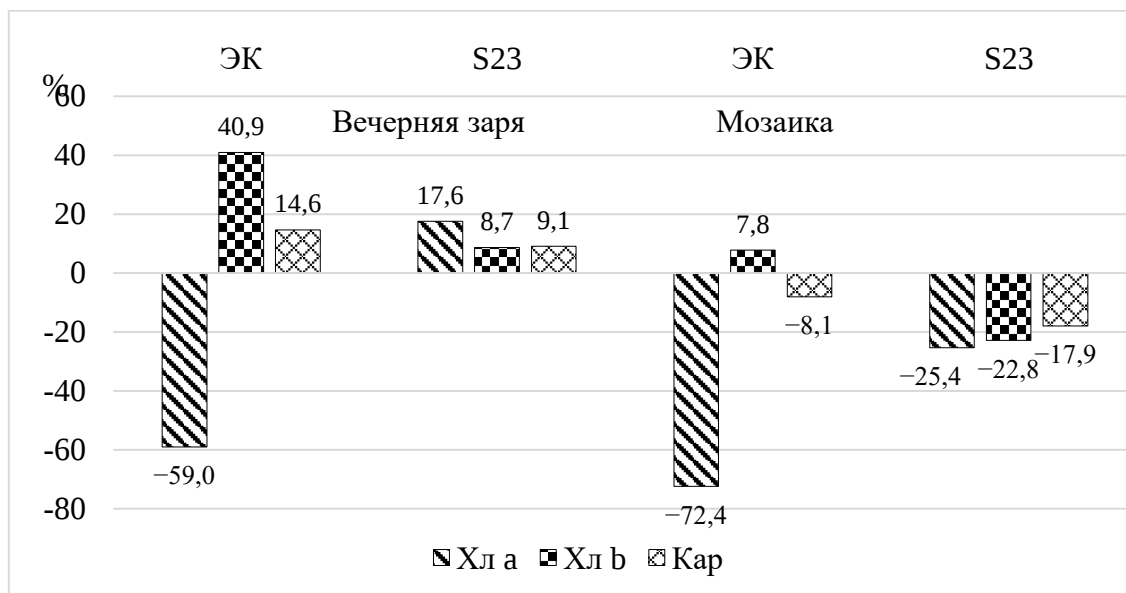
При обработке ЭК содержание хлорофилла *a* существенно снизилось у растений обоих исследованных сортов (рисунок 3). Содержание хлорофилла *b* после обработки ЭК повысилось: у сорта Вечерняя заря более существенно (на 41 %) по сравнению с сортом Мозаика (на 8 %). На каротиноиды обработка ЭК оказала противоположное влияние для растений разных сортов: для сорта Вечерняя заря наблюдается повышение содержания каротиноидов на 15 %, для сорта Мозаика – снижение их содержания на 8 %.

Влияние внекорневой обработки S23 на содержание пигментов в условиях опыта было сортоспецифичным. Так, для сорта Вечерняя заря отмечено небольшое повышение содержания хлорофиллов *a* и *b* и каротиноидов (на 18, 9 и 9 % соответственно) (рисунок 1). Для сорта Мозаика зафиксировано понижение всех перечисленных показателей (на 25, 23 и 18 % соответственно).



Сорт Вечерняя заря: ЭК 10^{-10} М и S23 10^{-11} М; сорт Мозаика: ЭК 10^{-10} М и S23 10^{-9} М

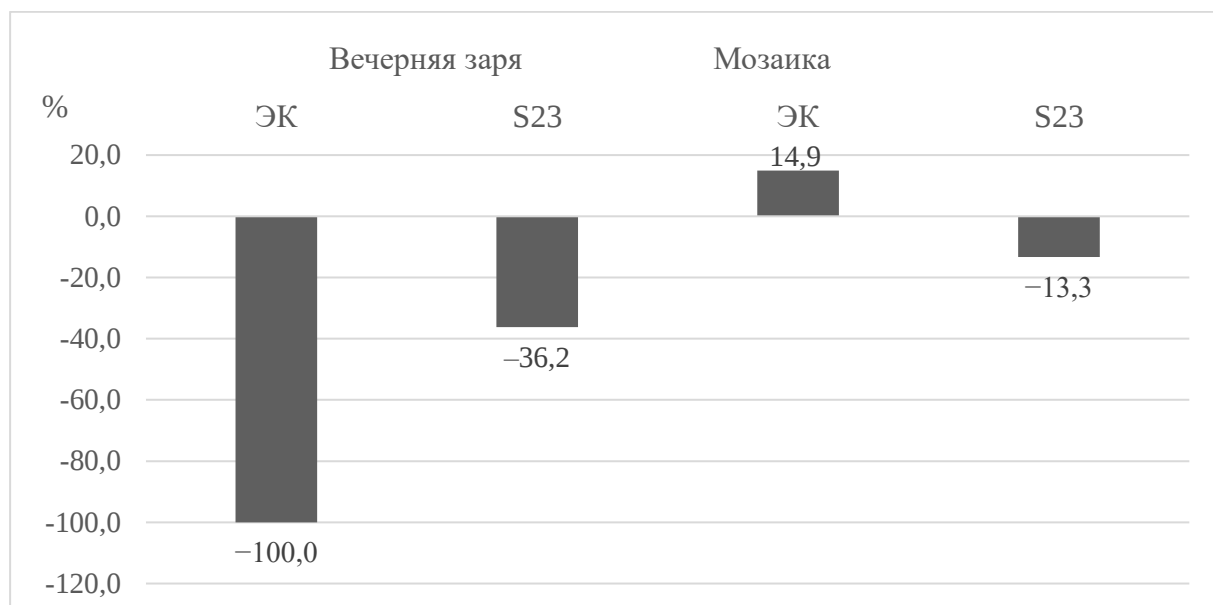
Рисунок 2 – Влияние 24-эпикастерона и 2-моносалицилата 24-эпикастерона на массу побега колеуса Блюме, % к контролю



Сорт Вечерняя заря: ЭК 10^{-10} М и S23 10^{-11} М; сорт Мозаика: ЭК 10^{-10} М и S23 10^{-9} М

Рисунок 3 – Действие эпикастерона и 2-моносалицилата 24-эпикастерона на содержание пигментов в листьях колеуса, % к контролю

Активность каталазы в условиях вегетационного опыта для сорта Вечерняя заря была существенно ниже контроля (на 100 % при обработке ЭК и на 36 % при обработке S23). Для сорта Мозаика обработка ЭК привела к повышению активности каталазы на 15 %, а обработка S23 – к снижению на 13 % (рисунок 4).



Сорт Вечерняя заря: ЭК 10^{-10} М и S23 10^{-11} М; сорт Мозаика: ЭК 10^{-10} М и S23 10^{-9} М

Рисунок 4 – Действие эпикастерона и 2-моносалицилат 24-эпикастерона на активность каталазы в листьях колеуса, % к контролю

В литературе имеются данные о повышении содержания фотосинтетических пигментов при внекорневой обработке брассиностероидами [11; 12], однако сроки и режим обработки разнятся, поэтому очевидно, что вопрос требует более глубокого исследования. Существенное снижение содержания хлорофилла *a* и рост содержания хлорофилла *b* может свидетельствовать о нарушении нормальной работы фотосинтетического аппарата [13]. Снижение содержания каротиноидов при одновременном снижении активности каталазы может быть свидетельством как уменьшения содержания активных форм кислорода в клетке, так и нарушения нормальной работы ее защитного аппарата и не может быть однозначно интерпретировано без более детальных биохимических исследований.

Заключение

По результатам проведенного исследований можно заключить, что ответы растений колеуса на внекорневую обработку 24-эпикастероном и 2-моносалицилатом 24-эпикастерона сортоспецифичны. Сорт Вечерняя заря характеризуется большей отзывчивостью как морфологических, так и физиолого-биохимических параметров. Важно отметить, что действие эпикастерона можно считать стимулирующим, в то время как действие его конъюгата оказывает, скорее, угнетающий эффект.

Ограничениями при проведении исследования были лабораторно контролируемые условия и ограниченный спектр режимов обработки. Для подтверждения устойчивого эффекта и разработки рекомендаций необходимы дальнейшие исследования в условиях вегетационного эксперимента и в полевых условиях.

Дальнейшие исследования в данном направлении должны быть сконцентрированы на подборе отзывчивых объектов среди декоративных культур, изучении дозо-

зависимости и оптимальных режимов обработки на разных фазах онтогенеза растений, оценке молекулярных механизмов действия брассиностероидов, разработке практических рекомендаций по применению брассиностероидов, а также изучении степени их влияния на уже исследованные объекты при использовании других методик выращивания (например, при выращивании колеуса путем черенкования).

Практическая значимость исследования заключается в том, что полученные результаты создают основу для разработки экологических биостимуляторов для декоративного растениеводства, которые могут использоваться для повышения декоративных качеств и приживаемости рассады при уменьшении применения синтетических удобрений и пестицидов.

Автор выражает благодарность лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси и лично В. А. Хрипачу и Р. П. Литвиновской.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хомюк, Я. В. Влияние эпибрассинолида и его эфиров с серной кислотой на морфометрические параметры подсолнечника *Helianthus annuus* L. сорта Гелиос / Я. В. Хомюк, Р. П. Литвиновская, А. П. Колбас // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. – 2022. – Т. 67, № 2. – С. 181–189.
2. Application of Plant Growth Regulators to *Stipa krylovii* in the Xilin Gol Grassland / Jun L. Y. [et al.] // *Planta Daninha*. – 2018. – Vol. 36. – P. 49–54.
3. Асадова, Р. А. Применение стимуляторов роста растений / Р. А. Асадова // Вестник Башкирского государственного педагогического университета имени М. Акмуллы. – 2023. – С. 37–44.
4. Foliar application of phytohormones enhances growth of maize and soybean seedlings / A. Llanes [et al.] // *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. – 2019. – Vol 45, nr 1. – P. 61–66.
5. Усова, С. Л. Экологически безопасные высокоэффективные регуляторы роста растений для цветочно-декоративных культур (обзор российской литературы) / К. Е. Усова, С. Л. Белоухов, И. Г. Шайхiev // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19, № 21. – С. 193–198.
6. Колеус Блюма. – URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1443594#cite_refautogenerated1_2-1 (дата обращения: 02.12.2023).
7. Фомина, Т. И. Особенности прорастания семян декоративных многолетников семейства (*Lamiaceae* Martinov) / Т. И. Фомина // Известия Уфимского научного центра РАН. – 2018. – № 4. – С. 60–64.
8. Бульская И. В. Оценка влияния 24-эпикастерона и 2-моносалицилата 24-эпикастерона на морфометрические и физиолого-биохимические параметры Колеуса Блюме на ранних этапах роста / И. В. Бульская // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5, Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2024. – № 2. – С. 15–23.
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.] // Лабораторное дело. – 1988. – № 1. – С. 16–19.
11. Пузина, Т. И. Интенсивность фотосинтеза и транспорт ассимилятов у *Solanum tuberosum* под действием 24-эпибрассинолида / Т. И. Пузина, И. Ю. Макеева // Сельскохозяйственная биология. – 2022. – Т. 57. – С. 113–121.
12. Exogenous spray application of 24-epibrassinolide induced changes in photosynthesis and anti-oxidant defenses against chilling stress in eggplant (*Solanum melongena* L.) seedlings / Wu X. X. [et al.] // *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. – 2015. – Vol. 90, nr 2. – P. 217–225.
13. Чиркова, Т. В. Физиологические основы устойчивости растений : учеб. пособие / Т. В. Чиркова. – СПб. : Изд-во СПбГУ, 2002. – С. 58–68.

REFERENCES

1. Khomyuk, Ya. V. Vliyanie epibrassinolida i ego efirov s sernoi kislotoi na morfometricheskie parametry podsolnechnika *Helianthus annuus* L. sorta Gelios / Ya. V. Khomyuk, R. P. Litvinovskaya, A. P. Kolbas // Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk. – 2022. – T. 67, № 2. – S. 181–189.
2. Application of Plant Growth Regulators to *Stipa krylovii* in the Xilin Gol Grassland / Jun L. Y. [et al.] // Planta Daninha. – 2018. – Vol. 36. – P. 49–54.
3. Asadova, R. A. Primenenie stimulyatorov rosta rastenii / R. A. Asadova // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni M. Akmully. – 2023. – S. 37–44.
4. Foliar application of phytohormones enhances growth of maize and soybean seedlings / A. Llanes [et al.] // Revista de Investigaciones Agropecuarias. – 2019. – Vol 45, nr 1. – P. 61–66.
5. Usova, S. L. Ekologicheski bezopasnye vysokoeffektivnye regulatory rosta rastenii dlya tsvetochno-dekorativnykh kul'tur (obzor rossiiskoi literatury) / K. Ye. Usova, S. L. Belopukhov, I. G. Shaikhiev // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. – 2016. – T. 19, № 21. – С. 193–198.
6. Koleus Blyuma. – URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1443594#cite_refautogenerated1_2-1 (data obrashcheniya: 02.12.2023).
7. Fomina, T. I. Osobennosti prorstaniya semyan dekorativnykh mnogoletnikov semeistva (*Lamiaceae* Martinov) / T. I. Fomina // Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN. – 2018. – № 4. – S. 60–64.
8. Bul'skaya I. V. Otsenka vliyaniya 24-epikastasterona i 2-monosalitsilata 24-epikastasterona na morfometricheskie i fiziologo-biokhimicheskie parametry Koleusa Blyume na rannikh etapakh rosta / I. V. Bul'skaya // Vesnik Brestskaga universitehta. Seryya 5, Biyalogiya. Navuki ab zyamli. – 2024. – № 2. – S. 15–23.
9. Gavrilenko, V. F. Bol'shoi praktikum po fotosintezu / V. F. Gavrilenko, T. V. Zhigalova. – M. : Akademiya, 2006. – 256 s.
10. Metod opredeleniya aktivnosti katalazy / M. A. Korolyuk [i dr.] // Laboratornoe delo. – 1988. – № 1. – S. 16–19.
11. Puzina, T. I. Intensivnost' fotosinteza i transport assimilyatov u *Solanum tuberosum* pod deistviem 24-epibrassinolida / T. I. Puzina, I. Yu. Makeeva // Sel'skokhozyaistvennaya biylogiya. – 2022. – T. 57. – S. 113–121.
12. Exogenous spray application of 24-epibrassinolide induced changes in photosynthesis and anti-oxidant defenses against chilling stress in eggplant (*Solanum melongena* L.) seedlings / Wu X. X. [et al.] // Journal of Horticultural Science & Biotechnology. – 2015. – Vol. 90, nr 2. – P. 217–225.
13. Chirkova, T. V. Fiziologicheskie osnovy ustoichivosti rastenii : ucheb. posobie / T. V. Chirkova. – SPb. : Izd-vo SPBGU, 2002. – S. 58–68.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 15.09.2025