



АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СВЕРХНИЗКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ БЕНЗИМИДАЗОЛА НА АДАПТАЦИЮ ПРОТОКОРМОВ *PHALAEOPSIS AMABILIS* (L.) BLUME

© 2026

Гусева Е.А., Богданова Я.А., Селезнёва Е.С., Белоусова З.П.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва (г. Самара, Россия)

Аннотация. В статье представлены результаты исследования влияния сверхнизких концентраций бензимидазола на морфогенез протокормов орхидеи *Phalaenopsis amabilis* (L.) Blume в условиях асимбиотического культивирования. Целью работы была оценка эффективности бензимидазола в качестве стимулятора роста для ускорения развития протокормов. Семена культивировали на среде «Кнудсон С» с четырьмя вариантами модификаций: контрольная среда, среда с добавлением активированного угля, среда с бензимидазолом в концентрации 0,0001 мг/мл и среда с комбинацией бензимидазола и угля. В ходе 32-недельного эксперимента установлено, что добавление бензимидазола достоверно ускоряет морфогенез. Образование листьев и корней в опытных вариантах начиналось на 2–4 недели раньше по сравнению с контролем. К окончанию эксперимента в группах с бензимидазолом листья сформировали свыше 93% протокормов, а корни – более 41%, тогда как в контрольной группе эти показатели составили лишь 40% и 17% соответственно. Наибольший стимулирующий эффект, особенно на развитие корневой системы, наблюдался при совместном применении бензимидазола и активированного угля. Полученные данные позволяют заключить, что бензимидазол в сверхнизкой концентрации является высокоэффективным и перспективным стимулятором роста для клонального микроразмножения орхидей, значительно сокращающим время получения ювенильных растений.

Ключевые слова: *Phalaenopsis amabilis*; Орхидные; бензимидазол; сверхнизкие концентрации; протокормы; стимуляция роста; асимбиотическое культивирование; среда «Кнудсон С».

ANALYSIS OF THE EFFECT OF ULTRA-LOW CONCENTRATIONS OF BENZIMIDAZOLE ON THE ADAPTATION OF *PHALAEOPSIS AMABILIS* (L.) BLUME PROTOCORMS

© 2026

Guseva E.A., Bogdanova Ya.A., Selezneva E.S., Belousova Z.P.

Samara National Research University (Samara, Russia)

Abstract. This article presents the results of a study on the effect of ultra-low concentrations of benzimidazole on the morphogenesis of *Phalaenopsis amabilis* (L.) Blume protocorms under conditions of asymbiotic cultivation. The aim of the work was to evaluate the effectiveness of benzimidazole as a growth stimulator to accelerate protocorm development. Seeds were cultured on «Knudson C» medium with four modification variants: a control medium, a medium with the addition of activated charcoal, a medium with benzimidazole at a concentration of 0,0001 mg/ml, and a medium with a combination of benzimidazole and charcoal. During the 32-week experiment, it was found that the addition of benzimidazole significantly accelerated morphogenesis. The formation of leaves and roots in the experimental variants began 2–4 weeks earlier compared to the control. By the end of the experiment, in the groups with benzimidazole, leaves were formed in over 93% of protocorms, and roots in more than 41%, while in the control group these figures were only 40% and 17%, respectively. The greatest stimulating effect, especially on the development of the root system, was observed with the combined use of benzimidazole and activated charcoal. The obtained data allow us to conclude that benzimidazole in an ultra-low concentration is a highly effective and promising growth stimulator for the clonal micropropagation of orchids, significantly reducing the time required to obtain juvenile plants.

Keywords: *Phalaenopsis amabilis*; orchids; benzimidazole; ultra-low concentrations; protocorms; growth stimulation; asymbiotic cultivation; «Knudson C» medium.

В настоящее время накоплен достаточно большой опыт выращивания тропических и субтропических орхидей в искусственных условиях [1–3].

Успешное культивирование семян орхидных в условиях *in vitro* во многом зависит от сбалансированного состава питательной среды, содержащей макро- и микроэлементы, углеводы, витамины и регуляторы роста в нужном количестве. Часто при культивировании орхидных используются аналоги растительных гормонов, многие из которых проявляют генотоксичность, в том числе и для людей, даже в малых дозах. Исходя из этого актуальным является совершенствование методик культивации и поиск эффективных, недорогих и безо-

пасных стимуляторов. Совершенствование методик представляет не только научный интерес, но и практический. Известно, что средняя оптовая цена на импортные фаленопсисы сейчас составляет 1,5 тыс. руб., розничная – около 2 тыс. руб.

Существует несколько основных методов массового размножения орхидных в культуре: семенное (симбиотическое и асимбиотическое), меристемное, черенкование и размножение почками.

Семенное размножение орхидных имеет как преимущества, так и сложности. Преимуществом такого способа получения новых растений является их генетическое разнообразие, что необходимо для поддержания полиморфизма в популяциях, что важно для сохранения биоразнообразия видов, а также для селекции. Кроме того, некоторые виды орхидных крайне сложно размножать вегетативно. Семенное размножение к тому же снижает риск распространения вирусных инфекций, в отличие от вегетативных методов.

Однако, при семенном размножении орхидных возникает ряд сложностей. Это, в первую очередь, получение самих полноценных семян, так как у орхидных крайне редко встречается самоопыление, и они используют различных насекомых опылителей.

К сложностям размножения орхидных относятся особенности их онтогенеза – способность к семенному размножению в дикой природе у многих видов орхидных наступает только в возрасте 8–12 лет, а также то, что семена орхидных имеют крайне мелкий размер, лишены питательных веществ и для прорастания им необходимы грибы-симбионты, то есть на ранней стадии развития орхидеи микогетеротрофны [4–6].

В начале XX века была открыта возможность выращивания орхидей из семян, заражая их эндофитным грибом от материнского растения, таким образом решая проблемы с питательными веществами для семян [7]. Минусами данной методики является низкий показатель всхожести семян и сложности с подбором специальных штаммов грибов и их культивирования [8].

Прорывом в области культивирования орхидных стало создание искусственных питательных сред Люисом Кнудсоном в 1922 году. Предложенный им метод подразумевал посев семян на питательные среды, способных полностью заменить семенам питание, получаемое от грибов. При правильном подборе сред всхожесть достигает 90%.

Однако необходим подбор среды для каждого вида орхидей (полностью универсальной среды для всех орхидных быть не может), а также поддержание стерильных условий (питательные среды легко заражаются бактериями и грибами) [9].

Современные методики культивирования орхидных подразумевают использование различных химических соединений, способных стимулировать рост и развитие растений, а также защищать их от различных инфекций [9].

Самая обширная группа соединений, используемых при культивировании веществ, – стимуляторы роста, фитогормоны (ауксины, цитокинины, гиббереллины) и их аналоги (ИУК – индол-3-уксусная кислота, НУК – нафтилуксусная кислота, ИМК – индол-3-масляная кислота, кинетин, 6-БАП – 6-бензиламинопурин, тидиазурон – TDZ, GA3 – гибберелловая кислота) [8–10].

При культивировании орхидных так же используют антибиотики и фунгициды, для предотвращения заражения растений бактериями и грибами. Самыми распространёнными фунгицидами являются такие препараты как: «Беномил» («Фундазол») – 0,1% (против *Fusarium* Link), «Каптан» – 0,2% (для субстрата), «Фитоспорин-М» – биопрепарат на *Bacillus subtilis* Cohn.; а антибиотиками (*in vitro*) – стрептомицин – 50–100 мг/л и гентамицин – 10–20 мг/л [8; 9].

Список вспомогательных веществ при культивировании орхидных велик и продолжает расширяться в связи с тем, что одной из задач биотехнологии культивирования является поиск стимуляторов роста с высокой избирательной активностью.

Перспективным в этом отношении является бензимидазол. Бензимидазол – гетероциклический азол, входящий в состав синтетических фунгицидов, например, в составе препаратов «Беномил» или «Карбендазим».

Исследования последних лет показали, что некоторые производные бензимидазола проявляют цитокинин-подобную активность, то есть способны стимулировать деление клеток и пробуждать боковые почки у растений. Важно отметить то, что цитокинин-подобная активность бензимидазолов проявляется при сверхнизких концентрациях (концентрации 0,0001%). При этом данные соединения являются менее токсичными для растений и животных (в том числе человека) в сравнении с широко используемым 6-бензиламинопурином (6-БАП) [11–13]. Немаловажным является то, что некоторые бензимидазолы проявляют свойства адаптогена, например, дибазол, то есть способны индуцировать экспрессию генов, отвечающих за системную устойчивость растений. Было показано, что обработка препаратами на основе бензимидазола увеличивала всхожесть, рост и улучшила устойчивость к стрессу семян разных сельскохозяйственных культур [14].

Биологическая активность бензимидазолов заключается в том, что они активируют различные механизмы адаптации, заключающиеся в активации ферментов, отвечающих за оптимизацию клеточного метаболизма в условиях стресса переживаемого растения. Многочисленные исследования показали, что различные химические группы, присоединяемые различными способами к бензимидазольному кольцу, придают соединению самые различные активности [15].

Объектом настоящего исследования стали семена гибрида *Phalaenopsis amabilis* (L.) Blume, полученные в ходе искусственного опыления комнатных растений.

Семена во вскрытой коробочке стратифицировали в холодильнике при +4°C в течение 4 месяцев, после чего их стерилизовали и скарифицировали.

Для проращивания семян использовали метод асимбиотического культивирования орхидных, на среде «Кнудсон С». Считается, что эта среда наиболее подходит для культивирования фаленопсисов [16].

Мы произвели некоторые модификации среды для получения максимальной всхожести семян.

Было приготовлено 4 варианта среды.

1. Среда «Кнудсон С», служившая контролем.
2. Среда «Кнудсон С» с добавлением активированного угля (1 г/л), как фактор уменьшения продуктов метаболизма растущих организмов, способных сдерживать их развитие.
3. Среда «Кнудсон С» с добавлением бензимидазола в концентрации 0,0001 мг/мл.
4. Среда «Кнудсон С» с добавлением бензимидазола в концентрации 0,0001 мг/мл и активированного угля (1 г/л).

После приготовления варианты питательной среды разливали по жаростойким флашкам и стерилизовали в автоклаве.

Посев семян осуществлялся в стерильном боксе. После чего флашки плотно закрывались стерильной пробкой из ваты.

После посева флашки с семенами были перенесены в тёмное место на 7 суток, по истечению данного времени флашки проверяли на заражение среды бактериями или плесневыми грибами и переносили в место дальнейшей культивирования, где затем их проверяли еженедельно на чистоту от заражения (рис. 1).

По мере роста протокормов производили пересадку, чтобы избежать гибели части образовавшихся протокормов на фоне конкуренции за питательную среду и пространства во флашках. Питательная среда со временем частично подсыхала, что также являлось причиной пересадки протокормов (рис. 2).

В ходе эксперимента наблюдали заражение некоторых культур во флашках бактериями и плесневыми грибами, что также служило причиной пересадки протокормов.

В ходе культивирования еженедельно фиксировали состояние и уровень развития протокормов.

Обнаружили разницу в темпе образования листьев во всех вариантах эксперимента. Так, на среде с углём и на среде с бензимидазолом образование листьев началось значительно раньше, на 22-й неделе культивирования, в то время как в контроле и на среде с углём и бензимидазолом это было отмечено лишь на 26-й неделе (рис. 3).

Динамика развития корней в разных вариантах эксперимента показало схожесть с динамикой развития листьев. В среде углем и в среде с бензимидазолом образование первых корней было отмечено к 24-й неделе культивирования, тогда как в контроле к 27-й неделе культивирования (рис. 4). Среда с добавлением угля и бензимидазола оказала наиболее стимулирующее действие на развитие корней – их появление в этом варианте отмечено на 22-й неделе. Темп образования новых корней и их рост достоверно (для $p > 0,05$) выше в модифицированных средах, чем в контроле.

Таким образом, к 32-й неделе эксперимента наблюдали достоверное (для $p > 0,05$) различие в развитии проростков (рис. 5). В контроле только 40% протокормов образовали листовые пластинки и 17% – корни, тогда как в вариантах модифицированных сред с бензимидазолом более 93% протокормов образовали листовые пластинки и более 41% – корни, что говорит о стимулирующем действии бензимидазола в концентрации 0,0001 мг/мл на проростки.



Рисунок 1 – Набухшие семена и ещё белые протокормы спустя месяц культивирования



Рисунок 2 – Протокормы на свежей питательной среде после пересадки

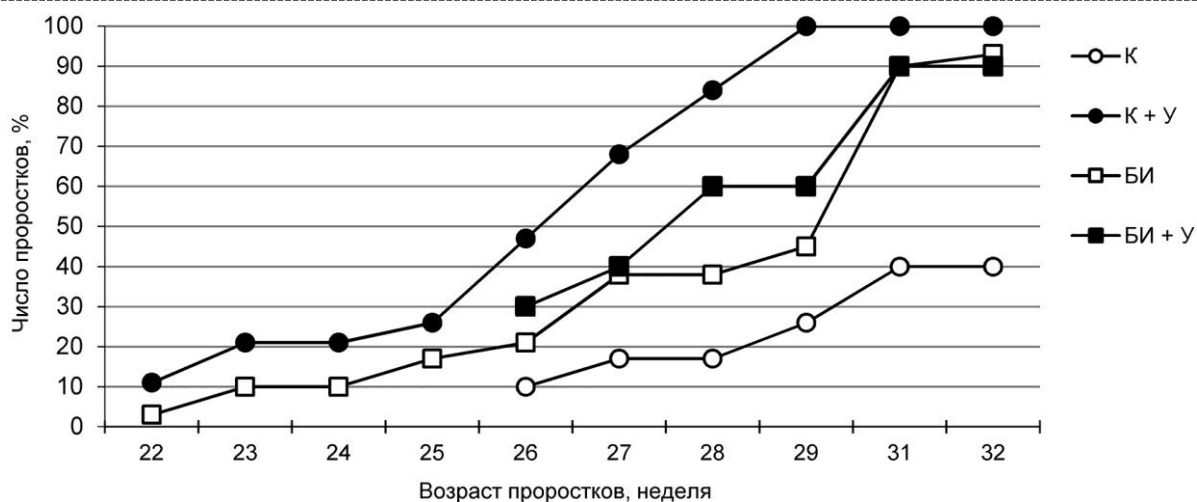


Рисунок 3 – Динамика появления листьев. *Примечание:* К – контроль (среда «Кнудсон С»), К + У – контроль 2 (среда «Кнудсон С» с углём), БИ – среда «Кнудсон С» с бензимидазолом (0,0001 мг/мл), БИ + У – среда «Кнудсон С» с бензимидазолом (0,0001 мг/мл) и углём

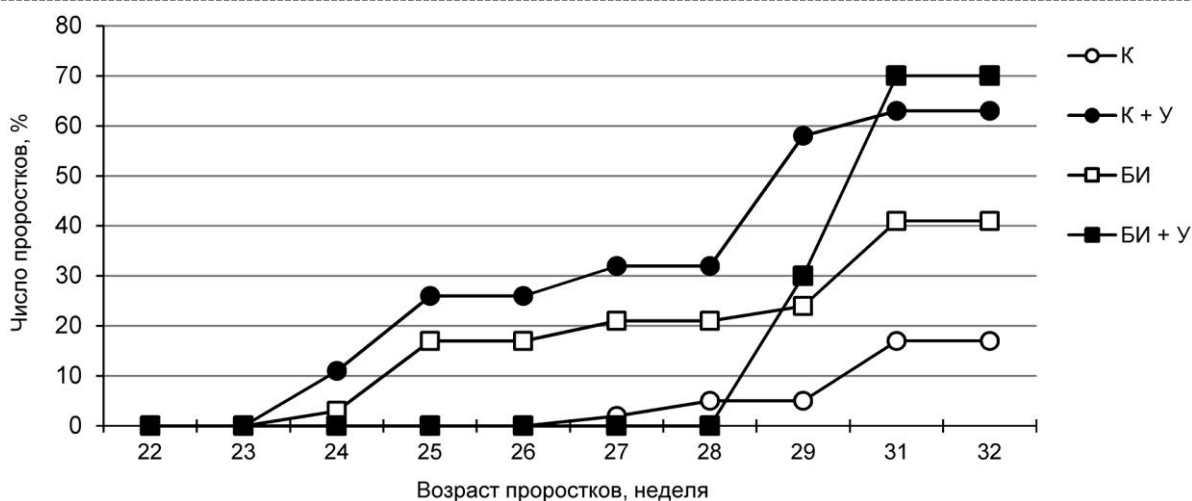


Рисунок 4 – Динамика появления корней. *Примечание:* К – контроль (среда «Кнудсон С»), К + У – контроль 2 (среда «Кнудсон С» с углём), БИ – среда «Кнудсон С» с бензимидазолом (0,0001 мг/мл), БИ + У – среда «Кнудсон С» с бензимидазолом (0,0001 мг/мл) и углём

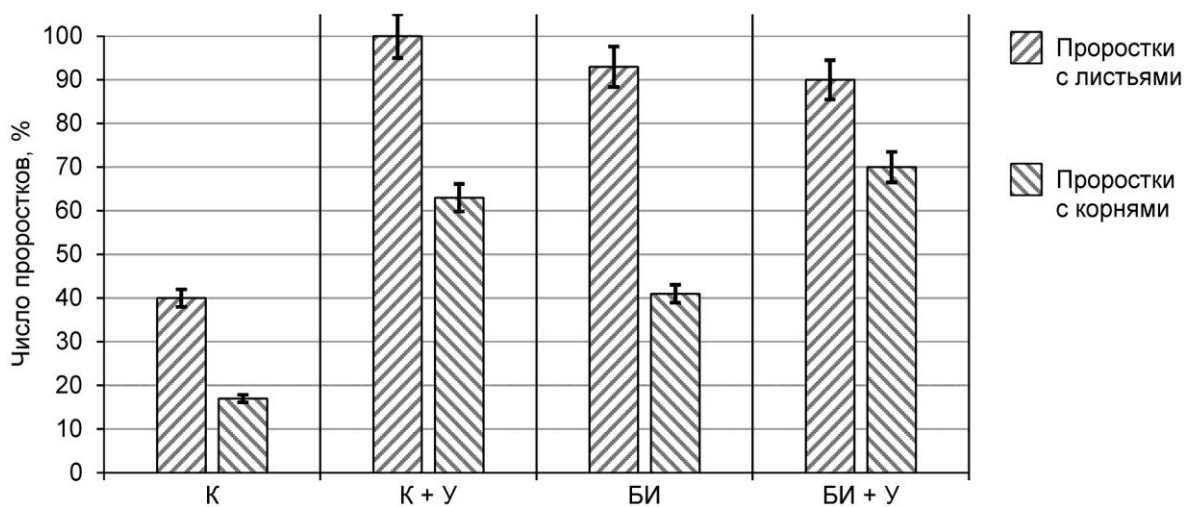


Рисунок 5 – Доля протокормов, образовавших листья и корни к 32-й неделе эксперимента, %. *Примечание:* К – контроль (среда «Кнудсон С»), К + У – контроль 2 (среда «Кнудсон С» с углём), БИ – среда «Кнудсон С» с бензимидазолом (0,0001 мг/мл), БИ + У – среда «Кнудсон С» с бензимидазолом (0,0001 мг/мл) и углём

Необходимо отметить более высокие темпы образования листьев и корней у проростков на питательной среде с углём в сравнении с контролем без угля. Что, по-видимому, связано с антиоксическим эффектом угля, так как проростки выделяют в среду фенольные соединения (такие как орхинол, хиноны, флавоноиды, нужные для аллелопатии и защиты от патогенов), которые со временем, вероятно из-за накопления в питательной среде, начинают оказывать на них негативное влияние [17]. Также обнаружили, что развитие корней на средах с добавлением угля идет скачкообразно, по сравнению со средами без добавления угля, где проростки развивались более равномерно. Этот факт, на наш взгляд, требует дальнейших исследований.

Подводя итог, можно сказать, что сочетание питательной среды с бензимидазолом и углём показало наилучший результат, как для образования числа и размеров листьев, так и для образования корней в сравнении с остальными вариантами эксперимента.

Появление первого ювенильного растения (растения с двумя полноценными листьями), было нами отмечено на месяц раньше в среде с добавлением бензимидазола, чем в контроле.

К окончанию эксперимента – 32-я неделя культивирования, отмечено, что проростки на среде с бензимидазолом выглядят более крупными и развитыми, чем в контроле (рис. б). Это ещё раз подчёркивает активное воздействие бензимидазола на развитие орхидей.

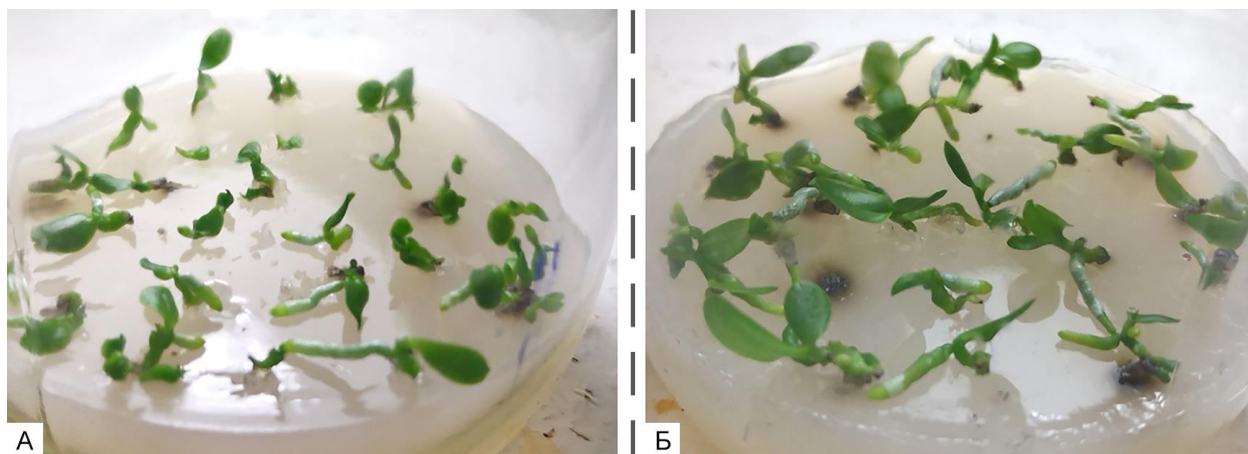


Рисунок 6 – Проростки в контроле (А) и эксперименте (Б) к 32-й неделе культивирования

Отметим, что и к 50-й неделе показатели роста проростков на среде с добавлением бензимидазола сохранили тенденцию более активного роста по сравнению с проростками в контроле. При этом доля числа выживших проростков осталась неизменной в контроле и эксперименте.

Таким образом, можно заключить, что использование бензимидазола в сверхнизких концентрациях оказывает стимулирующее действие на развитие протокормов орхидных, а дальнейшее изучение по влиянию как бензимидазола, так и его производных на рост и выживаемость орхидных представляется перспективным направлением работы с целью быстрого получения культур орхидных.

Список источников:

1. Шосер Г. Орхидеи: выращивание в домашних условиях, разведение и уход. М.: Кладезь-Букс, 1997. 128 с.
2. Степанюк Г.Я., Хоцкова Л.В. Биологические особенности видов рода *Phalaenopsis* Blume при выращивании в оранжереях Сибирского ботанического сада // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 4 (20). С. 105–117.
3. Белицкий И.В. Орхидеи. Практические советы по выращиванию, уходу и защите от вредителей и болезней. М.: Аст, 2001. 176 с.
4. Теллицкая Л.М., Лысякова Н.Ю., Бирюлева Э.Г. Особенности микотрофности некоторых видов орхидей флоры Крыма // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». 2003. № 16 (55). С. 79–86.
5. Симагина Н.О., Лысякова Н.Ю., Булавин И.В. Аллелопатические аспекты симбиотических взаимоотношений некоторых видов семейства Orchidaceae // Экосистемы, их оптимизация и охрана. 2009. № 20. С. 50–56.
6. Waterman R.J., Bidartondo M.I. Deception above, deception below: linking pollination and mycorrhizal biology of orchids // Journal of Experimental Botany. 2008. Vol. 59, iss. 5. С. 1085–1096. DOI: 10.1093/jxb/erm366.
7. Жизнь растений. В 6 т. Т. 6. Цветковые растения / под ред. А.Л. Тахтаджяна. М.: Просвещение, 1982. 544 с.
8. Chugh S., Guha S., Rao I.U. Micropropagation of orchids: a review on the potential of different explants // Scientia Horticulturae. 2009. Vol. 122, iss. 4. P. 507–520. DOI: 10.1016/j.scienta.2009.07.016.
9. Khasim Sh.M., Hegde S.N., González-Arno M.T., Thammasiri K. Orchid biology: recent trends & challenges. Singapore: Springer, 2020. 547 p. DOI: 10.1007/978-981-32-9456-1.
10. Черевченко Т.М., Кушнир Г.П. Орхидеи в культуре. Киев: Наукова думка, 1986. 196 с.
11. Олимова М.И., Закирова Р.П., Элмуродов Б.Ж. Гербицидная, ростстимулирующая и фунгицидная активности некоторых цианэтильных и амидометильных производных бензимидазолов, бензотиазолов и бензопиримидина // Universum: химия и биология. 2020. № 6 (72). С. 19–22.

12. Бегунов Р.С., Соколов А.А., Шебунина Т.В., Калина С.А., Башкирова А.А. Оценка цитотоксического и генотоксического эффекта новых замещенных пиридо[1,2-а]бензимидазолов с помощью *Allium*-теста // Токсикологический вестник. 2015. № 2 (131). С. 35–39.

13. Селезнева Е.С. Анализ воздействия имидазола и его производных на *Allium cepa* // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2009. Т. 11, № 1–4. С. 743–746.

14. Yadav G., Ganguly S. Structure activity relationship (SAR) study of benzimidazole scaffold for different biological activities: A mini-review // European Journal of Medicinal Chemistry. 2015. Vol. 97. P. 419–443. DOI: 10.1016/j.ejmech.2014.11.053.

15. Nameed A., Nameed A., Farooq T., Noreen R., Javed S., Batool Sh., Ahmad A., Gulzar T., Ahmad M. Evaluation of structurally different benzimidazoles as priming agents, plant defence activators and growth enhancers in wheat // BMC Chemistry. 2019. Vol. 13. DOI: 10.1186/s13065-019-0546-2.

16. Коломейцева Г.Л., Антипина В.А., Бабоша А.В., Рябченко А.С. Генеративное размножение автоопыляемых оранжерейных орхидных // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2014. № 3–3. С. 43–48.

17. Gantait S., Das A., Mitra M., Chen J.-Ts. Secondary metabolites in orchids: Biosynthesis, medicinal uses, and biotechnology // South African Journal of Botany. 2021. Vol. 139. P. 338–351. DOI: 10.1016/j.sajb.2021.03.015.

| Информация об авторе(-ах): | Information about the author(-s): |
|--|---|
| <p>Гусева Елизавета Андреевна, студент биологического факультета; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва (г. Самара, Россия). E-mail: evvvvve6342@gmail.com.</p> <p>Богданова Яна Андреевна, ассистент кафедры экологии, ботаники и охраны природы; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва (г. Самара, Россия). E-mail: bogdanova.yaa@ssau.ru.</p> <p>Селезнёва Екатерина Сергеевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры биохимии, биотехнологии и биоинженерии; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва (г. Самара, Россия). E-mail: catana7@yandex.ru.</p> <p>Белоусова Зоя Петровна, доктор химических наук, доцент, профессор кафедры неорганической химии; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва (г. Самара, Россия). E-mail: zbelousova@mail.ru.</p> | <p>Guseva Elizaveta Andreevna, student of Biological Faculty; Samara National Research University (Samara, Russia). E-mail: evvvvve6342@gmail.com.</p> <p>Bogdanova Yana Andreevna, assistant of Ecology, Botany and Nature Protection Department; Samara National Research University (Samara, Russia). E-mail: bogdanova.yaa@ssau.ru.</p> <p>Selezneva Ekaterina Sergeevna, candidate of biological sciences, associate professor of Biochemistry, Biotechnology and Bioengineering Department; Samara National Research University (Samara, Russia). E-mail: catana7@yandex.ru.</p> <p>Belousova Zoya Petrovna, doctor of chemical sciences, associate professor, professor of Inorganic Chemistry Department; Samara National Research University (Samara, Russia). E-mail: zbelousova@mail.ru.</p> |

Для цитирования:

Гусева Е.А., Богданова Я.А., Селезнёва Е.С., Белоусова З.П. Анализ влияния сверхнизких концентраций бензимидазола на адаптацию протокормов *Phalaenopsis amabilis* (L.) Blume // Самарский научный вестник. 2026. Т. 15, № 1. С. 10–15. DOI: 10.55355/snrv2026151101.