

Мусаб Хуссиен^{1✉}, Ольга Ивановна Молканова²

^{1,2}Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, Москва, Россия

¹muthab.hussien95@gmail.com

²molkanova@mail.ru

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЗАМЕДЛЕННОГО РОСТА ДЛЯ СРЕДНЕСРОЧНОГО СОХРАНЕНИЯ *PHALAENOPSIS HYBRID IN VITRO*⁴

Цель исследования – изучение влияния разных концентраций ретардантов на рост и развитие протокормов гибрида *Phalaenopsis in vitro*, а также выявление анатомо-морфологических особенностей листьев, формирующихся при разнообразных режимах культивирования и хранения. Исследование проводилось в 2023–2025 гг. в лаборатории биотехнологии растений Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук. Протокормы *Phalaenopsis hybrid* были получены в результате асимбиотического посева семян на питательной среде Gamborg (1968) с добавлением 0,5 мг/л 6-бензиламинопурина (6-БАП). Изучено влияние различных ретардантов, их концентраций и температур на сохранение протокормов *Phalaenopsis hybrid in vitro*. При культивировании протокормов на питательной среде Murashige-Skoog (1962) с концентрацией макросолей, уменьшенной в 2 раза ($\frac{1}{2}MS$), и добавлением хлорхолинхлорида (ССС) в концентрации 0,2–0,4 мг/л при температуре 15 °С через 18 месяцев без пересадки уровень жизнеспособности составил 80–90 %. На питательной среде $\frac{1}{2}MS$ с добавлением 0,2 мг/л СССР для формирования проростков достигала 90 %. Наибольший процент протокормоподобных тел (PLB) наблюдали у эксплантов, культивируемых на $\frac{1}{2}MS$ с 0,4 мг/л СССР. Анатомо-морфологические исследования показали пластичность структуры листьев при разных температурных режимах. При 24 °С листья характеризовались меньшей плотностью устьиц преимущественно округлой формы, а структура мезофилла была более организована, тогда как при 15 °С число устьиц было выше, форма – эллиптической, мезофилл листа – менее дифференцирован. Результаты данного исследования могут служить практическими рекомендациями для сохранения и размножения *Phalaenopsis hybrid in vitro*.

Ключевые слова: Orchidaceae, протокорм, питательная среда, ретарданты, условие культивирования, анатомия, листья

Для цитирования: Хуссиен М., Молканова О.И. Разработка технологии замедленного роста для среднесрочного сохранения *Phalaenopsis hybrid in vitro* // Вестник КрасГАУ. 2026. № 2. С. 51–64. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-2-51-64.

Финансирование: работа выполнена в рамках Государственного задания ГБС РАН регистрационный номер 122042700002-6.

Musab Hussien^{1✉}, Olga Ivanovna Molkanova²

^{1,2}N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the RAS, Moscow, Russia

¹muthab.hussien95@gmail.com

²molkanova@mail.ru

DEVELOPMENT OF A SLOW-GROWTH TECHNOLOGY FOR THE MEDIUM-TERM PRESERVATION OF *PHALAENOPSIS HYBRID IN VITRO*

The aim of the study is to investigate the effects of different retardant concentrations on the growth and development of *Phalaenopsis hybrid* protocorms *in vitro*, as well as to identify the anatomical and morphological features of leaves formed under various cultivation and storage conditions. The study was conducted

from 2023 to 2025 in the Plant Biotechnology Laboratory of the N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences. *Phalaenopsis* hybrid protocorms were obtained by asymbiotic seed sowing on Gamborg (1968) nutrient medium supplemented with 0.5 mg/L 6-benzylaminopurine (6-BAP). The effects of various retardants, their concentrations, and temperatures on the preservation of *Phalaenopsis* hybrid protocorms *in vitro* were studied. When protocorms were grown on Murashige-Skoog (1962) nutrient medium with a 2-fold reduction in the concentration of macrosalts ($\frac{1}{2}$ MS) and the addition of chlorocholine chloride (CCC) at a concentration of 0.2–0.4 mg/L at a temperature of 15 °C after 18 months without transplantation, the viability level was 80–90 %. On $\frac{1}{2}$ MS nutrient medium with the addition of 0.2 mg/L CCC, the proportion of seedling formation reached 90 %. The highest percentage of protocorm-like bodies (PLB) was observed in explants cultured on $\frac{1}{2}$ MS with 0.4 mg/L CCC. Anatomical and morphological studies revealed plasticity in leaf structure under different temperature conditions. At 24 °C, leaves were characterized by a lower density of stomata, predominantly rounded in shape, and a more organized mesophyll structure. At 15 °C, the number of stomata was higher, the shape was elliptical, and the leaf mesophyll was less differentiated. The results of this study can serve as practical recommendations for the maintenance and propagation of *Phalaenopsis* hybrid *in vitro*.

Keywords: Orchidaceae, protocorm, nutrient medium, retardants, cultivation conditions, anatomy, leaves

For citation: Hussien M, Molkanova OI. Development of a slow-growth technology for the medium-term preservation of *Phalaenopsis* hybrid *in vitro*. *Bulletin of KSAU*. 2026;(2):51-64. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2026-2-51-64.

Funding: the work has been carried out within the framework of the State Assignment of the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, registration number 122042700002-6.

Введение. *Orchidaceae* является одним из крупнейших семейств покрытосеменных растений, включающим более 28 000 видов [1]. Основное количество орхидей сосредоточено в эпифитных сообществах тропических лесов [2]. Однако в результате антропогенного воздействия и изменения климата сокращаются ресурсы тропической гермоплазмы в их естественной среде обитания. Сохранение естественного генетического разнообразия тропических видов путем создания коллекций *ex situ* становится приоритетным направлением [3].

Фаленопсис (*Phalaenopsis* Blume) – один из самых популярных культивируемых родов орхидей в мире. Растения этого рода широко используются в мировой торговле цветами как горшечные растения и как срезанные цветы. Их популярность и широкое распространение обусловлены эффектным внешним видом цветков, относительной простотой культивирования в контролируемых условиях, а также продолжительным декоративным эффектом [4].

В связи с экономической и эстетической значимостью фаленопсиса разработка стратегии его сохранения *in vitro* является необходимостью. Особенно с учетом того, что генетический материал тропических растений сохраняется лишь в нескольких генетических банках [5]. Существуют различные подходы к сохранению генетических ресурсов. В ботанических садах

наряду с полевыми коллекциями *ex situ* и банком семян применяют культивирование тканей и органов растений в асептических условиях. Несмотря на ряд преимуществ последнего метода, только 10 % ботанических садов поддерживают коллекцию гермоплазмы *in vitro* [6]. Разработка протокола сохранения *in vitro* важна для тропических видов растений.

Выделяют краткосрочное, среднесрочное и долгосрочное хранение гермоплазмы *in vitro* [7]. Краткосрочное хранение *in vitro* характеризуется длительностью культивирования от 1 до 3 месяцев. Однако частое субкультивирование эксплантов повышает стоимость технологии и увеличивает риск реинфицирования образца или появления соматональной изменчивости [8]. Для увеличения срока хранения живого материала вплоть до нескольких лет применяют долгосрочное хранение или криоконсервацию. Этот метод предусматривает предварительную подготовку тканей и органов растений *in vitro* с последующим охлаждением в жидком азоте до –196 °C [9]. В некоторых исследованиях описаны протоколы, позволяющие сохранять при помощи криоконсервации семена, пыльцу и каллусную ткань орхидей более 30 лет [10]. Данный метод требует дорогостоящего оборудования, жидкого азота и разработки дополнительных протоколов предподготовки тканей перед заморозкой [11, 12]. Более доступным методом кон-

сервации гермоплазмы растений *in vitro*, нивелирующим недостатком краткосрочного хранения, является среднесрочное хранение. Этот способ основан на снижении метаболических процессов в тканях экспланта за счет изменения температуры, освещенности или добавления в питательную среду ретардантов и осмотиков [13, 14]. В условиях среднесрочного хранения ткани органы растений могут оставаться жизнеспособными до 3 лет без пересадки эксплантов на свежую питательную среду. В нескольких исследованиях рассмотрено влияние освещенности, ретардантов и осмотиков на жизнеспособность эксплантов эпифитных видов орхидей в течение периода от 2 до 20 месяцев [13–15].

Таким образом, среднесрочное сохранение эксплантов при пониженных температурах рассматривается как эффективный и одновременно наиболее доступный метод сохранения биоразнообразия растений. Вместе с тем в научной литературе представлено ограниченное число исследований, посвященных влиянию температурного режима и ретардантов на процессы сохранения, развития и восстановления *Phalaenopsis hybrid*.

Листья являются ключевыми органами фотосинтеза и транспирации у высших растений. Их размер и форма оказывают существенное влияние на рост, размножение, выживаемость и адаптивные стратегии [16]. Благодаря высокой степени морфологической пластичности листья способны обеспечивать адаптацию к различным условиям среды. Варьирование формы и размеров листьев между биомами указывает на значимость анатомических особенностей: тип и размер устьичного аппарата, форма и высота эпидермальных клеток, а также структура мезофилла могут использоваться не только как диагностические признаки, но и как индикаторы приспособляемости растений к условиям культивирования [17, 18]. Изучение анатомии листьев растений *Phalaenopsis hybrid* в условиях хранения позволит глубже понять физиологические и структурные изменения, возникающие в процессе адаптации, и предоставит ценную информацию для оптимизации протоколов клонального микроразмножения и сохранения *in vitro*. Следует отметить, что анатомия листьев фаленописа в условиях хранения изучена недостаточно.

Цель исследования – оценка влияния различных концентраций ретардантов на рост и

развитие протокормов *Phalaenopsis hybrid in vitro* при варьировании условий культивирования, а также выявление анатомо-морфологических особенностей листьев, формирующихся при различных режимах хранения и культивирования.

Задачи: оценить влияние различных концентраций ретардантов на рост и развитие протокормов *Phalaenopsis hybrid in vitro* при варьировании условий культивирования; определить оптимальные сочетания температуры и концентрации ретардантов, обеспечивающие эффективное сохранение протокормов в среднесрочном периоде; изучить анатомо-морфологические особенности листьев, формирующихся при различных режимах хранения и культивирования.

Объекты и методы. Исследования проводили в 2023–2025 гг. в лаборатории биотехнологии растений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук (ГБС РАН). В качестве объектов исследования использовали протокормы гибрида *Phalaenopsis* (♀ с фиолетовыми цветками × ♂ с белыми цветками), полученные при асимбиотическом посеве семян на питательной среде Gamborg (1968) [19] с добавлением 0,5 мг/л 6-бензиламинопурина (6-БАП).

Во всех экспериментах использована питательная среда MS с 50 % концентрацией макро-солей и 100 % концентрацией микро-солей и витаминов. В качестве источника углеводов добавляли 20 г/л сахарозы, а также 0,1 г/л миоинозитола. Стерилизацию питательной среды и инструментов проводили при температуре 121 °C и давлении 1 атм. в течение 20 мин в автоклаве WAC-60 (Daihan Scientific, Южная Корея). Значение pH среды перед стерилизацией составляло 5,5–5,8.

Экспланты инкубировали в банках объемом 100 мл в условиях культивационной комнаты при (24 ± 2) °C с фотопериодом 16/8 ч (свет/темнота) и климатической камеры (Forma Scientific, США) при (15 ± 2) °C с аналогичным световым режимом. Для культивирования использовали питательную среду ½ MS, дополненную различными ретардантами в концентрациях: 0,2–0,4 мг/л хлорхолинхлорида (CCC) и 1,0–2,0 мг/л паклобутразола (PBZ). Контрольным вариантом служила питательная среда без ретардантов.

Через 3, 9 и 18 мес. культивирования проводили оценку регенерации эксплантов. При этом рассчитывали показатели жизнеспособности (%), формирования проростков (%) и образования протокормоподобных тел (PLB, %).

После 18 мес. сохранения у эксплантов были проведены измерения длины побегов (см) и корней (см), подсчет числа листьев и корней (шт.).

Анатомические исследования проводили на листьях проростков, сформировавшихся из сохраняемых протокормов при различных температурных режимах. Растительные образцы фиксировали в 70 %-м этаноле. Поперечные срезы листовой пластинки выполняли с помощью микротомы MC-2, оборудованного охлаждающим модулем OMT-2802E, при температуре $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Толщина срезов составляла 60–80 μm , что обеспечивало возможность сравнения листьев, сформировавшихся в различных условиях культивирования. Срезы листьев окрашивали альциановым синим и сафранином для выявления анатомических деталей клеточных стенок.

Получение анатомических изображений осуществляли при помощи светового микроскопа Olympus CX41 (Olympus Corporation, Токио, Япония), сопряженного с цифровой фотокамерой Canon 7D Mark II (Canon Inc., Токио, Япония). На основе полученных изображений определяли основные морфометрические параметры: толщина листа, высота мезофилла, диаметр проводящих пучков, а также толщина верхнего и нижнего эпидермальных слоев.

Для исследования устьичного аппарата применяли метод лаковых реплик. На срединную часть листовой пластинки наносили тонкий слой прозрачного лака, после его высыхания пленку аккуратно снимали с помощью прозрачной клейкой ленты и фиксировали на предметном стекле. Измерение морфометрических характеристик устьиц – длины полярной оси и экваториального диаметра — проводили с применением цифрового микроскопа Keyence VHX-1000E при увеличении $\times 1000$. Для анализа использовали не менее пяти полей зрения. Оценку формы устьиц выполняли на основе соотношения длины полярной оси (L) и экваториального диаметра (D). Индекс устьиц (SI), характеризующий долю устьиц относительно общего чис-

ла эпидермальных клеток на заданной площади, рассчитывали по формуле

$$SI = \frac{S}{(S + E)} \cdot 100 \%,$$

где S – число устьиц; E – количество эпидермальных клеток в рассматриваемой области.

Площадь устьичного аппарата вычисляли по выражению

$$S = \frac{\pi \cdot L \cdot D}{4},$$

где S – площадь одного устьица; L – длина полярной оси; D – экваториальный диаметр.

Все эксперименты проводили в трехкратной повторности, по 10 эксплантов в каждой повторности. Статистическую обработку экспериментальных данных выполняли с использованием программных пакетов CoStat 6.45 и MS Excel. Различия между вариантами считались статистически значимыми при $p < 0,05$ по критерию Дункана; варианты, достоверно различающиеся между собой, обозначены разными буквами.

Результаты и их обсуждение. Использование ретардантов в составе питательной среды, а также изменение условий культивирования эксплантов являются ключевыми факторами, определяющими сохранение, жизнеспособность и дальнейшее развитие протокормов *in vitro*. Результаты показали, что при культивировании в условиях комнатной культуры добавление ретардантов в питательную среду значительно повлияло на жизнеспособность протокормов. В целом жизнеспособность была высокой как в контрольном варианте, так и на питательной среде с добавлением ССС. Вместе с тем установлено, что при температуре $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ экспланты, культивируемые на питательной среде $\frac{1}{2}$ MS с добавлением PBZ, утратили жизнеспособность после трех месяцев в результате угнетения развития протокормов, сопровождавшегося некрозом тканей (рис. 1). Это согласуется с результатами других исследований, показавших, что применение PBZ в высоких концентрациях оказывает отрицательное влияние на декоративные растения, включая орхидеи. В частности при использовании PBZ в повышенных дозах жизнеспособность проростков *Grammatophyllum speciosum* снижалась до 30 % уже через месяц культивирования при температуре $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ [20, 21].

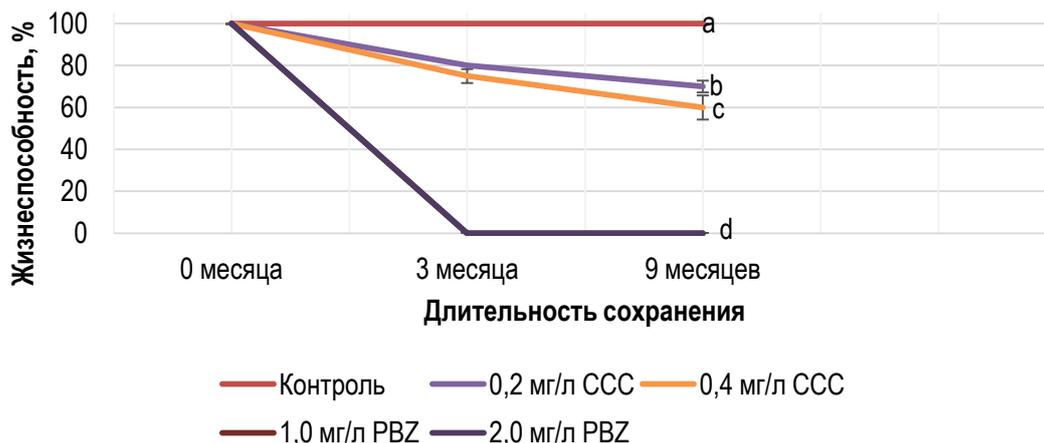


Рис. 1. Изменение жизнеспособности протокормов *Phalaenopsis hybrid* в процессе сохранения при температуре 24 °С на питательных средах разного состава
Survival rate dynamics of *Phalaenopsis Hybrid* protocorms during preservation at 24 °С on various nutrient media

Через девять месяцев сохранения жизнеспособность протокормов на среде с добавлением ССС снизилась на 30–40 % из-за выделения фенолов в питательную среду, в то время как

протокормы в контрольном варианте дифференцировались в проростки и сохраняли высокую жизнеспособность (рис. 2).

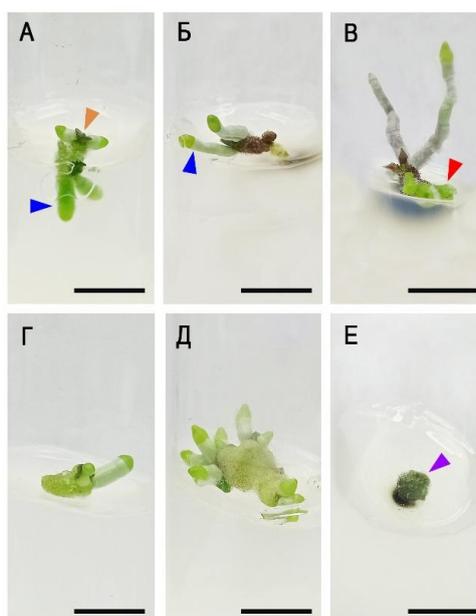


Рис. 2. Развитие протокормов *Phalaenopsis hybrid* при культивировании на питательной среде с ретардантами при температуре 24 °С *in vitro*: А – формирование проростков на питательной среде без ретардантов; Б, В – дифференциация протокормов на питательной среде с добавлением 0,2 мг/л ССС через 3 и 9 месяцев; Г, Д – дифференциация протокормов на питательной среде с добавлением 0,4 мг/л ССС через 3 и 9 месяцев; Е – протокормы, выращенные на питательной среде с добавлением PBZ через 3 месяца. Синие стрелки – корни, оранжевые – листья, красные – протокормоподобные тела (PLB), фиолетовые – начало отмирания протокорма
Development of *Phalaenopsis hybrid* protocorms during cultivation on nutrient medium with retardants at 24 °С *in vitro*. А – seedling formation on medium without retardants; Б, В: protocorm differentiation on medium supplemented with 0.2 mg/L CCC after 3 and 9 months; Г, Д: protocorm differentiation on medium supplemented with 0.4 mg/L CCC after 3 and 9 months; Е: protocorms grown on medium with PBZ after 3 months. Blue arrows: roots; orange: leaves; red: protocorm-like bodies (PLBs); purple: start of protocorm necrosis

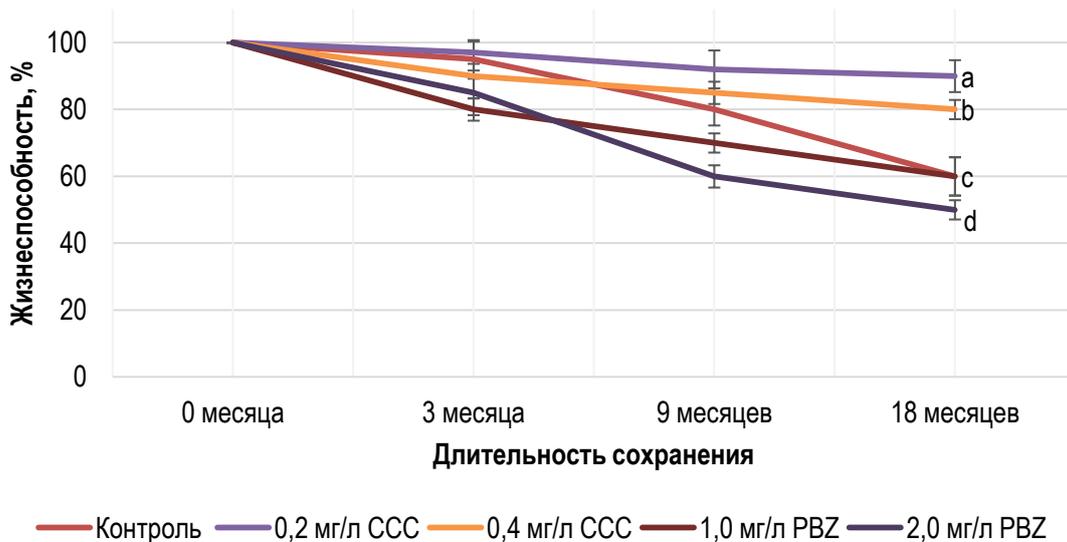


Рис. 3. Изменение жизнеспособности протокормов *Phalaenopsis hybrid* в процессе сохранения при температуре 15 °С на питательных средах разного состава
Survival rate dynamics of *Phalaenopsis Hybrid* protocorms during preservation at 15 °С on various nutrient media

Культивирование протокормов при температуре 15 °С способствовало их сохранению в течение 18 месяцев. Возможно, это связано со снижением интенсивности физиологических процессов, для протекания которых требуется температура 24 °С [3]. Наибольшая жизнеспособность эксплантов *Phalaenopsis hybrid* (80–90 %) получена в условиях климатической камеры на питательной среде с добавлением CCC. Сохранение протокормов на питательных средах без ретардантов и с добавлением PBZ в различных концентрациях значительно снижало жизнеспособность протокормов (в два раза и в 1,5–3,0 раза соответственно) (рис. 3).

Хлорхолинхлорид (CCC) замедляет рост растений, препятствуя действию эндогенных гормонов. Этот эффект достигается за счет влияния на активность фитогормонов, в частности путем ингибирования биосинтеза гиббереллиновой кислоты (GA), ответственной за растяжение и рост клеток. В результате CCC подавляет чрезмерный вегетативный рост, способствуя более контролируемому развитию растений и сохраняя высокую жизнеспособность по сравнению с PBZ [22]. Паклобутразол (PBZ) представляет собой триазольное соединение, содержащее ароматическое кольцо, которое ингибирует биосинтез гиббереллинов у растений. Однако PBZ отличается высокой химической стабильностью, и его разложение практически не зависит от кислот-

ных, щелочных или нейтральных условий [23]. Высокая подвижность и устойчивость этой молекулы могут представлять серьезную проблему при ее применении в клональном микроразмножении по сравнению с другими ретардантами. Установлено, что формирование проростков и PLB зависело от применяемых ретардантов и температурного режима. Образование листовых зачатков и корней отмечено после 3 месяцев культивирования эксплантов на питательной среде без ретардантов при температуре 24 °С (рис. 2, А). Отмечено, что увеличение срока сохранения, а также увеличение концентрации CCC способствовало увеличению процента образования PLB: после трех месяцев 35 и 40 % на питательных средах с 0,2 и 0,4 мг/л CCC, после девяти месяцев – 75 и 87 % соответственно (рис. 2, Б–Д; 4). В нескольких исследованиях авторы сообщали о влиянии CCC на образование PLB у представителей эпифитных орхидей. Это можно объяснить тем, что CCC замедляет рост экспланта и одновременно способствует накоплению углеводов в клетках растений, что приводит к увеличению массы PLB и стимулирует дальнейшее размножение. Это можно объяснить тем, что CCC замедляет рост экспланта и одновременно приводит к накоплению углеводов в растительных клетках, что способствует увеличению массы PLB и стимулирует дальнейшее размножение [24, 25].

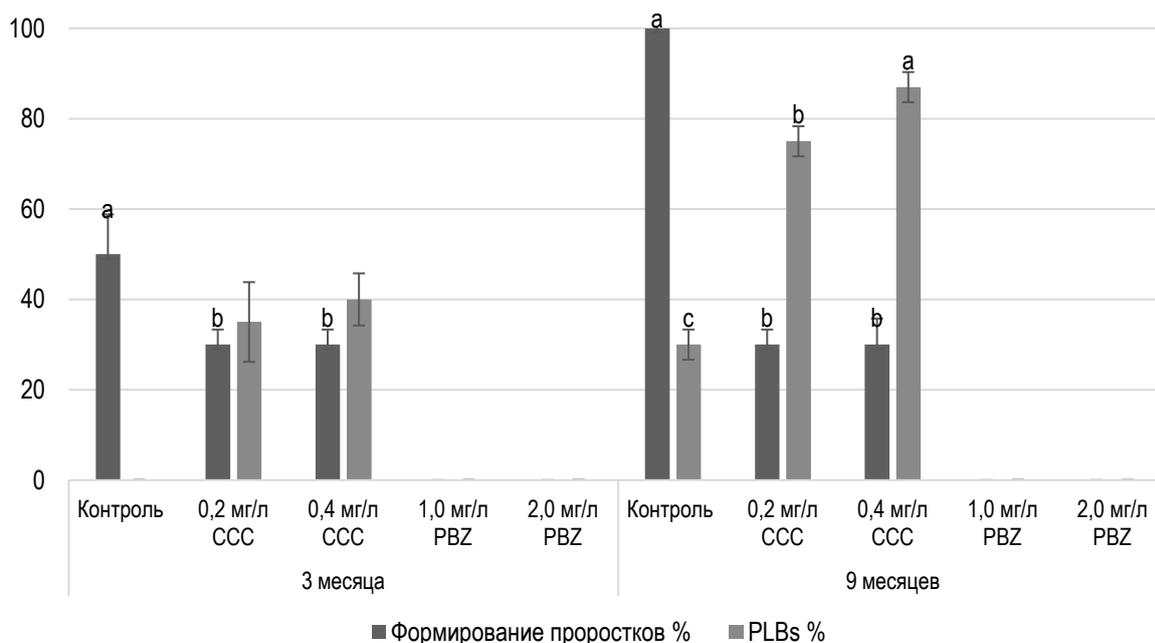


Рис. 4. Изменение морфологических показателей регенерантов *Phalaenopsis hybrid* в процессе сохранения при температуре 24 °С на питательных средах разного состава *in vitro*
 Morphological characteristics of *Phalaenopsis Hybrid* regenerants during preservation at 24 °C on various nutrient media *in vitro*

Культивирование протокормов при температуре 15 °С вызывало существенное снижение интенсивности метаболических процессов и, как следствие, замедление роста и развития PLB. Через 9 месяцев органогенез отсутствовал

во всех вариантах опыта. Однако значительная часть протокормов, сохраненных на питательной среде с добавлением 0,2 мг/л CCC, через 18 месяцев сформировала проростки (до 90 %) (рис. 5).

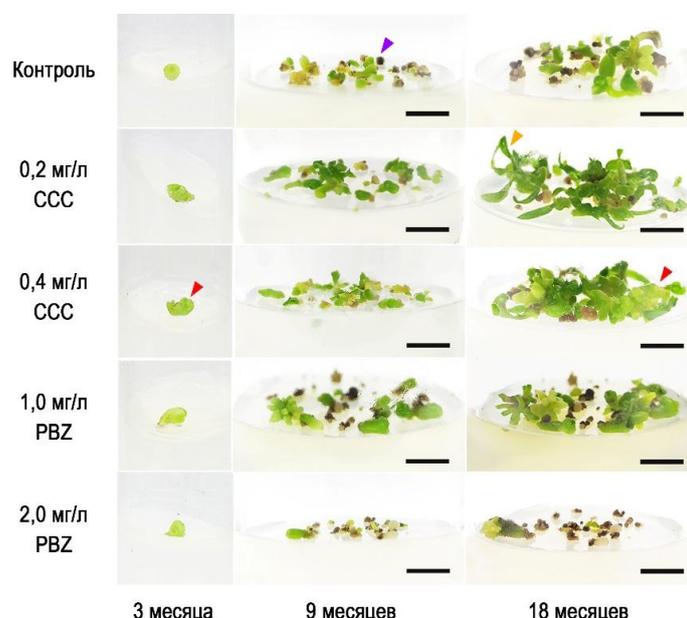


Рис. 5. Развитие протокормов *Phalaenopsis hybrid* при культивировании на питательной среде с ретардантами при температуре 15 °С *in vitro*. Оранжевые стрелки – листья; красные – протокормоподобные тела (PLB); фиолетовые – начало отмирания протокорма
 Development of *Phalaenopsis hybrid* protocorms during cultivation on nutrient medium with retardants at +15 °C *in vitro*. Orange arrows: leaves; red: protocorm-like bodies (PLBs); purple: start of protocorm necrosis

На питательной среде, содержащей 1,0 мг/л PBZ, образование проростков не происходило. Это может быть связано с ингибированием синтеза гиббереллина путем блокирования образования фермента кауреноксидазы P450, что при-

водит к прекращению роста апикальной части [26]. При этом добавление 0,4 мг/л CCC или 1,0 мг/л PBZ в питательную среду стимулировало активное формирование PLB (80 и 75 % соответственно) (рис. 6).

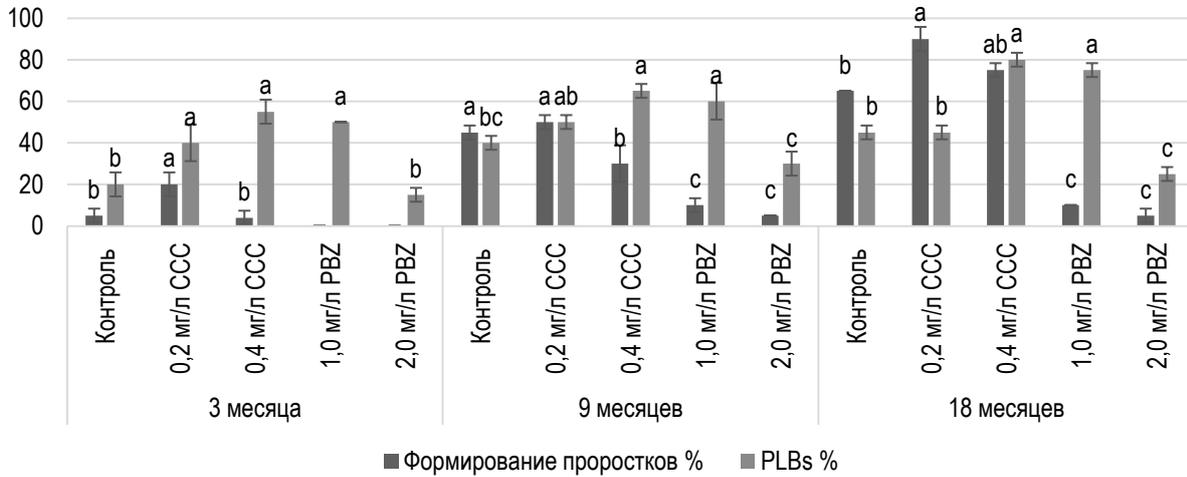


Рис. 6. Изменение морфологических показателей регенерантов *Phalaenopsis hybrid* в процессе сохранения при температуре 15 °С на питательных средах разного состава *in vitro*
 Morphological characteristics of *Phalaenopsis Hybrid* regenerants during preservation at 15 °C on various nutrient media *in vitro*

При культивировании протокормов на питательной среде без добавления ретардантов экспланты демонстрировали средние показатели: образование PLB составило 45 %, а формирование проростков – 65 %. Эти результаты согласуются с данными других исследований, где показано индуцирование образования PLB при добавлении 1,0 мг/л PBZ в питательную среду для сохранения *Trichopilia suavis in vitro* [13]. Способность PBZ увеличивать регенерационный потенциал связана с повышением содержания эндогенного цитокинина, который способствует делению клеток [27].

Образовавшиеся во время сохранения на различных питательных средах и условиях проростки отличались по морфометрическим показателям. После 9 месяцев консервирования при 24 °С экспланты образовывали проростки с наибольшей высотой ((1,31 ± 0,06) см), а также максимальным числом листьев ((2,33 ± 0,33) шт.) и длиной субстратных корней ((2,67 ± 0,33) см). Наибольшим числом и длиной воздушных корней характеризовались проростки на питательных средах с 0,2 и 0,4 мг/л CCC (табл. 2).

Таблица 2

Морфометрические показатели регенерантов *Phalaenopsis hybrid* на питательных средах с ретардантами через 9 месяцев культивирования при температуре 24 °С
 Morphometric characteristics of regenerants after 9 months of cultivation at 24 °C on various nutrient media with growth inhibitors

Вариант	Длина проростков, см	Число листьев, шт.	Число корней, шт.	Длина корней, см
½ МС	1,31 ± 0,06 a	2.33 ± 0,33 a	2,67 ± 0,25 b	0,97 ± 0,05 b
½ МС + 0,2 мг/л CCC	0 b	0 b	2,00 ± 0,13 c	1,47 ± 0,08 a
½ МС + 0,4 мг/л CCC	0 b	0 b	2,83 ± 0,17 a	0,52 ± 0,03 c
½ МС + 1,0 мг/л PBZ	0 b	0 b	0 d	0 d
½ МС + 2,0 мг/л PBZ	0 b	0 b	0 d	0 d

При сохранении в течение 18 месяцев на питательной среде с 0,2 мг/л ССС в условиях пониженной температуры сформировались проростки с наибольшей высотой ((1,10 ± 0,12) см), а также максимальным числом листьев ((1,83 ± 0,17) шт.) по сравнению с другими вариантами

(табл. 3). Это может быть объяснено тем фактом, что ССС улучшает усвоение питательных веществ, водный баланс и синтез белка в растущих органах, а также играет важную роль в повышении способности к фотосинтезу и, следовательно, в формировании проростков [28].

Таблица 3

Морфометрические показатели регенерантов *Phalaenopsis hybrid* на питательных средах с ретардантами через 18 месяцев культивирования при температуре 15 °С
Morphometric characteristics of regenerants after 9 months of cultivation at 15 °С on various nutrient media with growth inhibitors

Вариант	Длина проростков, см	Число листьев, шт.	Число корней, шт.	Длина корней, см
½ МС	0,75 ± 0,03 bc	1,33 ± 0,33 ab	0,67 ± 0,25 ab	0,20 ± 0,05 b
½ МС + 0,2 мг/л ССС	1,10 ± 0,11 a	1,83 ± 0,17 a	0,67 ± 0,30 ab	0,37 ± 0,06 a
½ МС + 0,4 мг/л ССС	0,82 ± 0,04 b	1,17 ± 0,15 b	1,00 ± 0,04 a	0,24 ± 0,08 b
½ МС + 1,0 мг/л PBZ	0,59 ± 0,02 c	1,00 ± 0 b	0 b	0 c
½ МС + 2,0 мг/л PBZ	0 d	0 c	0 b	0 c

Было замечено, что растения, сформировавшиеся в условиях климокамеры, имели тонкие, ярко-зеленые листья, отличающиеся от листьев растений, культивируемых в условиях культивационной комнаты. По истечении 18 мес. пересадки эксплантов, сформированных в условиях климокамеры на этапе восстановления, наблюдалось пожелтение и опадание старых листьев, тогда как начиналось формирование новых листьев, по морфологическим признакам сходных с листьями растений, выращенных в условиях культивационной комнаты.

Установленные различия в морфологических характеристиках листьев послужили основанием для проведения анатомического исследования их строения с целью выявления функциональных особенностей листового аппарата в условиях хранения и определения факторов, отличающих их от листьев, сформированных в условиях культивационной комнаты.

Форма и расположение эпидермальных клеток существенно варьировали в зависимости от условий культивирования в период формирования листьев. При температуре 24 °С клетки адаксиальной (верхней) эпидермы имели неправильную форму, располагались нерегулярно и каждая формировала по одной папилле. На абаксиальной (нижней) стороне эпидермальные клетки были вытянутыми, выстраивались в параллельные ряды, при этом папиллы были слабо выражены или полностью отсутствовали. В отличие от этого при 15 °С эпидермальные

клетки обеих поверхностей варьировали от неправильных до прямоугольных, располагались в упорядоченных параллельных рядах и полностью лишались папилл (рис. 7).

Температура является ключевым фактором, влияющим на вегетативный рост и цветение фаленопсиса. При воздействии на растения относительно низкой температуры (< 25 °С) в период вегетации меняются морфологические признаки для сохранения жизнеспособности растений [29].

Температурные условия также оказывали значительное влияние на плотность устьиц. У листьев, сформировавшихся при 24 °С, плотность устьиц на адаксиальной стороне составила 7,31 шт/мм², тогда как на абаксиальной – 20,98 шт/мм². При 15 °С наблюдалось повышение плотности устьиц на обеих поверхностях: до 24,77 устьиц/мм² на адаксиальной и до 30,12 устьиц/мм² на абаксиальной стороне. Морфология устьиц также различалась в зависимости от условий выращивания. При 15 °С устьица имели преимущественно эллиптическую форму, при этом отношение полярной оси к экваториальной (L/D) находилось в пределах 1,27–1,40. В то же время устьица листьев, развивавшихся при 24 °С, были более округлыми, с коэффициентом L/D в диапазоне 0,97–1,15. Это может быть связано с тем, что для предотвращения перевозбуждения и фотоповреждения растения усиливали процессы теплоотдачи. Данные наблюдения согласуются с результата-

ми по фиксации углерода, которые указывают на начальные признаки адаптации к низким температурам: активность Рубиско достигала уровня, сопоставимого с таковой у растений, не

подвергавшихся стрессу, при этом отмечалось увеличение дневной открытости устьиц, обеспечивающее более эффективное поглощение CO₂ в светлое время суток [30].

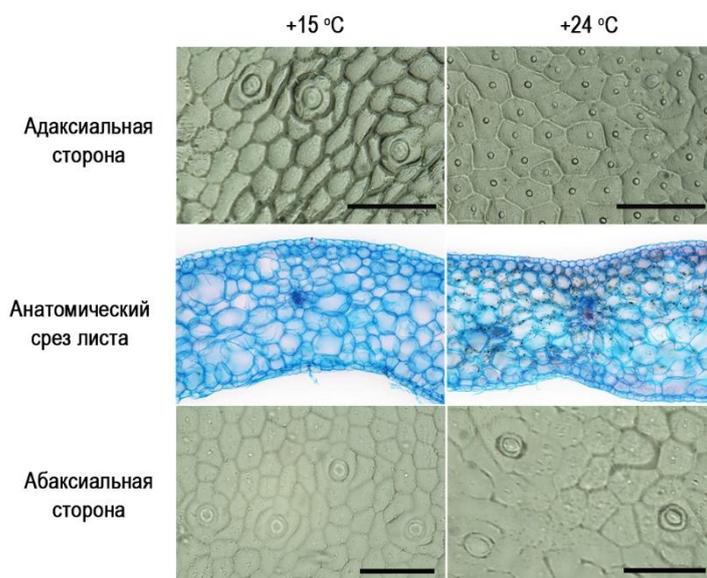


Рис. 7. Анатомические срезы листовых пластинок и эпидерма листа *Phalaenopsis hybrid* в культуре *in vitro* при различных условиях хранения
Anatomical sections of leaf blades and leaf epidermis of *Phalaenopsis hybrid* in *in vitro* culture under different preservation conditions

Несмотря на то что различия в устьичном индексе при культивировании в различных температурных условиях не достигли статистической значимости, отмечено его незначительное снижение у листьев, сформировавшихся при 15 °С, по сравнению с растениями, развивавшимися при 24 °С. Анализ анатомических срезов показал, что общее строение листа соответствовало характерным признакам однодольных растений: присутствовали верхний и нижний эпидермис, мезофилл, проводящие пучки, а также слабо дифференцированная кутикула.

Листья, сформировавшиеся при 15 °С, были тоньше и характеризовались однослойным эпидермисом из прямоугольных клеток толщиной около 20 мкм. Мезофилл состоял из паренхимных клеток различной формы и размера. Проводящие пучки оставались морфологически недифференцированными, но имели больший диаметр по сравнению с листьями, развившимися при 24 °С.

Напротив, листья, сформировавшиеся при 24 °С, имели более организованное и структурно гомогенное анатомическое строение. Клетки всех тканей располагались регулярно, парал-

лельно друг другу и были относительно однотипными по размеру. Клетки адаксиальной эпидермы имели преимущественно квадратную форму, изредка встречались прямоугольные. Мезофилл отличался гомогенностью и был представлен изодиаметрическими паренхимными клетками, при этом клетки, прилегающие к эпидермису, были мельче, чем в центральной зоне. Проводящие пучки в таких листьях имели меньший диаметр по сравнению с листьями, развившимися при 15 °С. Основой физиологических функций листа и, следовательно, его анатомической структуры является его анатомическое строение. Изменения в анатомической структуре листа существенно влияют на рост и метаболизм растения [31]. Эти изменения, вероятно, можно рассматривать как адаптацию, направленную на предотвращение чрезмерно интенсивной транспирации листьев при сохранении в условиях климокамеры. Таким образом, полученные результаты демонстрируют, что температура культивирования оказывает комплексное влияние как на морфологию эпидермиса, так и на анатомическое строение листа, включая степень дифференцировки тканей, ор-

ганизацию мезофилла и параметры устьичного аппарата. Эти изменения могут рассматриваться как адаптивные ответы растения на различающиеся условия внешней среды.

Заключение. В результате проведенного исследования установлено, что условия культивирования и использование ретардантов в составе питательной среды являются ключевыми факторами при среднесрочном сохранении протокормов *Phalaenopsis hybrid*. Оптимальные условия для сохранения протокормов *Phalaenopsis hybrid in vitro* – температура 15 °С в сочетании с концентрацией 0,2 мг/л ССС. Максималь-

ное образование PLB наблюдали при культивировании на питательной среде с добавлением 0,4 мг/л ССС. Были выявлены анатомо-морфологические особенности листьев, сформированных при различных условиях культивирования, которые способствовали повышению жизнеспособности регенерантов при пониженных температурах. Полученные результаты имеют практическое значение, способствуя совершенствованию технологий клонального микроразмножения и сохранения *Phalaenopsis hybrid in vitro*.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Zhang G., Hu Y., Huang M.Z. et al. Comprehensive phylogenetic analyses of *Orchidaceae* using nuclear genes and evolutionary insights into epiphytism // *Journal of Integrative Plant Biology*. 2023. Vol. 65, N 5. P. 1204–1225. DOI: 10.1111/jipb.13462.
2. Phillips R.D., Reiter N., Peakall R. Orchid conservation: from theory to practice // *Annals of Botany*. 2020. Vol. 126, N 3. P. 345–362. DOI: 10.1093/aob/mcaa093.
3. Benelli C., Tarraf W., Izgu T., et al. In vitro conservation through slow growth storage technique of fruit species: An overview of the last 10 years // *Plants*. 2022. Vol. 11, N 23. P. 3188. DOI: 10.3390/plants11233188.
4. Balilashaki K., Ghehsareh M.G. Micropropagation of *Phalaenopsis amabilis* var. 'Manila' by leaves obtained from in vitro culturing the nodes of flower stalks // *Notulae Scientia Biologicae*. 2016. Vol. 8, N 2. P. 164–169. DOI: 10.15835/nsb.8.2.9782.
5. Radomir A.M., Stan R., Florea A., et al. Overview of the success of in vitro culture for ex situ conservation and sustainable utilization of endemic and subendemic native plants of Romania // *Sustainability*. 2023. Vol. 15, N 3. P. 2581. DOI: 10.3390/su15032581.
6. Mitrofanova I.V., Molkanova O.I. Biotechnology strategy of plant biodiversity conservation in botanical gardens of Russia. In: I International Symposium on Botanical Gardens and Landscapes. 2019. Vol. 1298. P. 231–238. DOI: 10.17660/ActaHortic.2020.1298.32.
7. Yadav S., Priya K., Dhiman R., et al. Long- and medium-term storage of germplasm for conservation of tree species. In: *Biotechnological Approaches for Sustaining Forest Trees and Their Products*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. P. 241–275. DOI: 10.1007/978-981-97-4363-6_10.
8. Coelho N., Gonçalves S., Romano A. Endemic plant species conservation: Biotechnological approaches // *Plants*. 2020. Vol. 9, N 3. P. 345. DOI: 10.3390/plants9030345.
9. Moghaddam A.S., Kaviani B., Torkashvand A.M., et al. *In vitro* propagation, cold preservation and cryopreservation of *Taxus baccata* L., an endangered medicinal and ornamental shrub // *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. 2024. Vol. 23, N 1. P. 13–28. DOI: 10.24326/asphc.2024.5277.
10. Azad M.Z., Kaviani B., Sedaghatoor S. Cold storage and cryopreservation by encapsulation-dehydration of *Cephalanthera rubra* (L.) Rich., a threatened orchid species // *Acta Agrobotanica*. 2024. Vol. 77, N 1. P. 1. DOI: 10.5586/aa/189312.
11. Чанотей Д., Осипенко А. Е. Криоконсервация – передовая технология сохранения генетических ресурсов лесных растений (обзор иностранной литературы) // *Леса России и хозяйство в них*. 2022. Т. 4, № 83. С. 56–65. DOI: 10.51318/FRET.2022.56.46.007.
12. Kaviani B., Kulus D. Cryopreservation of endangered ornamental plants and fruit crops from tropical and subtropical regions // *Biology*. 2022. Vol. 11, N 6. P. 847. DOI: 10.3390/biology11060847.
13. Hussien M., Molkanova O.I., Raeva-Bogoslovskaya E.N. Medium-term preservation of *Trichopilia suavis* Lindl. and *Paxton* in vitro using slow-growth technology // *Asian Journal of Plant Sciences*. 2025. Vol. 24, № 2. P. 161–173. DOI: 10.3923/ajps.2025.161.173.

14. Linjikao J., Inthima P., Kongbangkerd A. Effect of different media and mannitol concentrations on growth and development of *Vandopsis lissochiloides* (Gaudich.) Pfitz. under slow growth conditions // International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering. 2019. Vol. 13, N 3. P. 177–182. DOI: 10.5281/zenodo.3299541.
15. Darmawati I.A.P., Ayu I., Fitriani Y., et al. Inhibition of *Dendrobium bicaudatum* Reinw. ex Lindl growth using paclobutrazol for in vitro conservation // Jurnal Hortikultura Indonesia. 2022. Vol. 13, N 1. P. 29–34. DOI: 10.29244/jhi.13.1.29-34.
16. Hu Y., Zhang H., Qian Q., et al. The potential roles of unique leaf structure for the adaptation of *Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf. in Qinghai – Tibetan Plateau // Plants. 2022. Vol. 11, N 4. P. 512. DOI: 10.3390/plants11040512.
17. Soares J.D.R., Pasqual M., Araujo A.G.D., et al. Leaf anatomy of orchids micropropagated with different silicon concentrations // Acta Scientiarum. Agronomy. 2012. Vol. 34, N 4. P. 413–421. DOI: 10.4025/actasciagron.v34i4.15062.
18. Bogoslovskaya E.R., Vinogradova Y., Molkanova O., et al. Anatomical structures of Saskatoon berry (*Amelanchier Medik.*) leaves under different cultivation conditions // Bangladesh Journal of Plant Taxonomy. 2023. Vol. 30, N 2. P. 185–193. DOI: 10.3329/bjpt.v30i2.70495.
19. Gamborg O.L., Miller R., Ojima K. Nutrient requirements of suspension cultures of soybean root cells // Experimental Cell Research. 1968. Vol. 50, N 1. P. 151–158. DOI: 10.1016/0014-4827(68)90403-5.
20. Wiryananont Y., Nilprapa P. Morphology of *Grammatophyllum speciosum* Blume after paclobutrazol treatment in sterile conditions // Songklanakarin Journal of Plant Science. 2024. Vol. 11, N 2. P. 29–35.
21. Rigsby C.M., Smiley E.T., Henry S., et al. Total root and shoot biomass inhibited by paclobutrazol application on common landscape trees // Arboriculture & Urban Forestry. 2025. Vol. 51, N 1. P. 74–84. DOI: 10.48044/jauf.2024.017.
22. Zhang M., Yang J., Pan H., et al. Dwarfing effects of chlormequat chloride and uniconazole on potted baby primrose // HortTechnology. 2020. Vol. 30, N 5. P. 536–543. DOI: 10.48044/jauf.2024.017.
23. Wang W.D., Wu C.Y., Lonameo B.K. Toxic effects of paclobutrazol on developing organs at different exposure times in Zebrafish // Toxics. 2019. Vol. 7, N 4. P. 62. DOI: 10.3390/toxics7040062.
24. Sanghamitra M., Babu J.D., Bhagavan B.V.K., et al. Standardization of different potting media on vegetative growth and flowering of *Dendrobium* orchid cv. Sonia 17 under shade net conditions in high altitude tribal zone of Andhra Pradesh // International Journal of Chemical Studies. 2019. Vol. 7, N 5. P. 50–56.
25. Karagoz F.P., Dursun A., Kotan M.M. Determining of the effects of paclobutrazol treatments on seedling height control of wild *Gypsophila bicolor* (Freyn & Sint.) Grossh // Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 2023. Vol. 51, № 2. P. 12913. DOI: 10.15835/nbha51212913.
26. Sochacki D., Marciniak P., Ciesielska M., et al. The influence of selected plant growth regulators and carbohydrates on in vitro shoot multiplication and bulbing of the tulip (*Tulipa L.*) // Plants. 2023. Vol. 12, N 5. P. 1134. DOI: 10.3390/plants12051134.
27. Desta B., Amare G. Paclobutrazol as a plant growth regulator // Chemical and Biological Technologies in Agriculture. 2021. Vol. 8, N 1. P. 1. DOI: 10.1186/s40538-020-00199-z.
28. Mehraj H., Alam M.M., Habiba S.U., et al. LEDs combined with CHO sources and CCC priming PLB regeneration of *Phalaenopsis*. Horticulturae. 2019. Vol. 5, N 2. P. 34. DOI: 10.3390/horticulturae5020034.
29. Hong Y.Y., Kim K.S. Effect of low temperature and plant age on growth and photosynthesis of *Phalaenopsis* 'Hwasu 3551' and 'White-Red Lip' during vegetative stage // Journal of the Korean Society for People, Plants and Environment. 2014. Vol. 17, N 6. P. 497–505. DOI: 10.11628/ksp-pe.2014.17.6.497.
30. Daems S., Ceusters N., Valcke R., et al. Effects of chilling on the photosynthetic performance of the CAM orchid *Phalaenopsis* // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13, N 1. P. 981581. DOI: 10.3389/fpls.2022.981581.
31. Yang J., Chong P., Chen G., et al. Shifting plant leaf anatomical strategic spectra of 286 plants in the eastern Qinghai–Tibet Plateau: Changing gears along 1050–3070 m // Ecological Indicators. 2023. Vol. 146, N 1. P. 109741. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109741.

References

1. Zhang G, Hu Y, Huang MZ, et al. Comprehensive phylogenetic analyses of Orchidaceae using nuclear genes and evolutionary insights into epiphytism. *Journal of Integrative Plant Biology*. 2023;65(5):1204-1225. DOI: 10.1111/jipb.13462.
2. Phillips RD, Reiter N, Peakall R. Orchid conservation: from theory to practice. *Annals of Botany*. 2020;126(3):345-362. DOI: 10.1093/aob/mcaa093.
3. Benelli C, Tarraf W, Izgu T, et al. In vitro conservation through slow growth storage technique of fruit species: an overview of the last 10 years. *Plants*. 2022;11(23):3188. DOI: 10.3390/plants11233188.
4. Balilashaki K, Ghehsareh MG. Micropropagation of *Phalaenopsis amabilis* var. 'Manila' by leaves obtained from in vitro culturing the nodes of flower stalks. *Notulae Scientia Biologicae*. 2016;8(2):164-169. DOI: 10.15835/nsb.8.2.9782.
5. Radomir AM, Stan R, Florea A, et al. Overview of the success of in vitro culture for ex situ conservation and sustainable utilization of endemic and subendemic native plants of Romania. *Sustainability*. 2023;15(3):2581. DOI: 10.3390/su15032581.
6. Mitrofanova IV, Molkanova OI. Biotechnology strategy of plant biodiversity conservation in botanical gardens of Russia. In: *I International Symposium on Botanical Gardens and Landscapes*. 2019. Vol. 1298. P. 231–238. DOI: 10.17660/ActaHortic.2020.1298.32.
7. Yadav S, Priya K, Dhiman R, et al. Long- and medium-term storage of germplasm for conservation of tree species. In: *Biotechnological Approaches for Sustaining Forest Trees and Their Products*. Singapore: Springer Nature Singapore; 2024. P. 241–275. DOI: 10.1007/978-981-97-4363-6_10.
8. Coelho N, Gonçalves S, Romano A. Endemic plant species conservation: biotechnological approaches. *Plants*. 2020;9(3):345. DOI: 10.3390/plants9030345.
9. Moghaddam AS, Kaviani B, Torkashvand AM, et al. In vitro propagation, cold preservation and cryopreservation of *Taxus baccata* L., an endangered medicinal and ornamental shrub. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. 2024;23(1):13-28. DOI: 10.24326/asphc.2024.5277.
10. Azad MZ, Kaviani B, Sedaghatoor S. Cold storage and cryopreservation by encapsulation-dehydration of *Cephalanthera rubra* (L.) Rich., a threatened orchid species. *Acta Agrobotanica*. 2024;77(1):1. DOI: 10.5586/aa/189312.
11. Chanotey D, Osipenko AE. Cryoconservation – an advanced technology for preservation of forest plant genetic resources (review of foreign literature). *Lesy Rossii i khozyaistvo v nikh*. 2022;4(83):56-65. DOI: 10.51318/FRET.2022.56.46.007.
12. Kaviani B, Kulus D. Cryopreservation of endangered ornamental plants and fruit crops from tropical and subtropical regions. *Biology*. 2022;11(6):847. DOI: 10.3390/biology11060847.
13. Hussien M, Molkanova OI, Raeva-Bogoslovskaya EN. Medium-term preservation of *Trichopilia suavis* Lindl. and Paxton in vitro using slow-growth technology. *Asian Journal of Plant Sciences*. 2025;24(2):161-173. DOI: 10.3923/ajps.2025.161.173.
14. Linjikao J, Inthima P, Kongbangkerd A. Effect of different media and mannitol concentrations on growth and development of *Vandopsis lissochiloides* (Gaudich.) Pfitz. under slow growth conditions. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*. 2019;13(3):177-182. DOI: 10.5281/zenodo.3299541.
15. Darmawati IAP, Ayu I, Fitriani Y, et al. Inhibition of *Dendrobium bicaudatum* Reinw. ex Lindl growth using paclobutrazol for in vitro conservation. *Jurnal Hortikultura Indonesia*. 2022;13(1):29-34. DOI: 10.29244/jhi.13.1.29-34.
16. Hu Y, Zhang H, Qian Q, et al. The potential roles of unique leaf structure for the adaptation of *Rheum tanguticum* Maxim. ex Balf. in Qinghai – Tibetan Plateau. *Plants*. 2022;11(4):512. DOI: 10.3390/plants11040512.
17. Soares JDR, Pasqual M, Araujo AGD, et al. Leaf anatomy of orchids micropropagated with different silicon concentrations. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 2012;34(4):413-421. DOI: 10.4025/actasciagron.v34i4.15062.

18. Bogoslovskaya ER, Vinogradova Y, Molkanova O, et al. Anatomical structures of Saskatoon berry (*Amelanchier Medik.*) leaves under different cultivation conditions. *Bangladesh Journal of Plant Taxonomy*. 2023;30(2):185-193. DOI: 10.3329/bjpt.v30i2.70495.
19. Gamborg OL, Miller R, Ojima K. Nutrient requirements of suspension cultures of soybean root cells. *Experimental Cell Research*. 1968;50(1):151-158. DOI: 10.1016/0014-4827(68)90403-5.
20. Wiriyananont Y, Nilprapa P. Morphology of *Grammatophyllum speciosum* Blume after paclobutrazol treatment in sterile conditions. *Songklanakarin Journal of Plant Science*. 2024;11(2):29-35.
21. Rigsby CM, Smiley ET, Henry S, et al. Total root and shoot biomass inhibited by paclobutrazol application on common landscape trees. *Arboriculture & Urban Forestry*. 2025;51(1):74-84. DOI: 10.48044/jauf.2024.017.
22. Zhang M, Yang J, Pan H, et al. Dwarfing effects of chlormequat chloride and uniconazole on potted baby primrose. *HortTechnology*. 2020;30(5):536-543. DOI: 10.48044/jauf.2024.017.
23. Wang WD, Wu CY, Lonameo BK. Toxic effects of paclobutrazol on developing organs at different exposure times in Zebrafish. *Toxics*. 2019;7(4):62. DOI: 10.3390/toxics7040062.
24. Sanghamitra M, Babu JD, Bhagavan BVK, et al. Standardization of different potting media on vegetative growth and flowering of *Dendrobium* orchid cv. Sonia 17 under shade net conditions in high altitude tribal zone of Andhra Pradesh. *International Journal of Chemical Studies*. 2019;7(5):50-56.
25. Karagoz FP, Dursun A, Kotan MM. Determining of the effects of paclobutrazol treatments on seedling height control of wild *Gypsophila bicolor* (Frey & Sint.) Grossh. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2023;51(2):12913. DOI: 10.15835/nbha51212913.
26. Sochacki D, Marciniak P, Ciesielska M, et al. The influence of selected plant growth regulators and carbohydrates on in vitro shoot multiplication and bulbing of the tulip (*Tulipa L.*). *Plants*. 2023;12(5):1134. DOI: 10.3390/plants12051134.
27. Desta B, Amare G. Paclobutrazol as a plant growth regulator. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2021;8(1):1. DOI: 10.1186/s40538-020-00199-z.
28. Mehraj H, Alam MM, Habiba SU, et al. LEDs combined with CHO sources and CCC priming PLB regeneration of *Phalaenopsis*. *Horticulturae*. 2019;5(2):34. DOI: 10.3390/horticulturae5020034.
29. Hong YY, Kim KS. Effect of low temperature and plant age on growth and photosynthesis of *Phalaenopsis* 'Hwasu 3551' and 'White-Red Lip' during vegetative stage. *Journal of the Korean Society for People, Plants and Environment*. 2014;17(6):497-505. DOI: 10.11628/ksppe.2014.17.6.497.
30. Daems S, Ceusters N, Valcke R, et al. Effects of chilling on the photosynthetic performance of the CAM orchid *Phalaenopsis*. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13(1):981581. DOI: 10.3389/fpls.2022.981581.
31. Yang J, Chong P, Chen G, et al. Shifting plant leaf anatomical strategic spectra of 286 plants in the eastern Qinghai – Tibet Plateau: changing gears along 1050–3070 m. *Ecological Indicators*. 2023;146(1):109741. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109741.

Статья принята к публикации 17.11.2025 / The article accepted for publication 17.11.2025.

Информация об авторах:

Мусаб Хуссиен, младший научный сотрудник лаборатории биотехнологии растений
Ольга Ивановна Молканова, ведущий научный сотрудник лаборатории биотехнологии растений, кандидат сельскохозяйственных наук

Information about the authors:

Musab Hussien, Junior Researcher, Plant Biotechnology Laboratory
Olga Ivanovna Molkanova, Leading Researcher, Plant Biotechnology Laboratory, Candidate of Agricultural Sciences