



Получение побегов баклажана (*Solanum melongena* L.) из *in vitro* культур волосовидных корней

^{1,2}З.Р. Суфьянова*, ^{1,2}Е.В. Михайлова

¹Уфимский университет науки и технологий, Российская Федерация, Уфа
²Институт биохимии и генетики Уфимского федерального исследовательского центра
Российской академии наук, Российская Федерация, Уфа
*E-mail: zulfiya.sufyanova1@mail.ru

Резюме

Волосовидные, или бородатые корни, характеризующиеся способностью к автономному быстрому росту в условиях *in vitro*, служат эффективной моделью для изучения метаболизма растений и позволяют создавать геном-редактированные растения с повышенной устойчивостью к стрессам, а также подходят для промышленного культивирования с целью получения ценных биологических соединений. У некоторых видов растений в культурах таких корней возможен спонтанный органогенез, что способствует ускорению получения трансгенных и геном-редактированных линий в случаях, когда регенерация из эксплантов проблематична. Ранее нами методом трансформации семядольных листьев агробактериями *Agrobacterium rhizogenes* штамма 15834 были получены волосовидные корни из семядольных эксплантов баклажана (*Solanum melongena* L.) сорта «Белоснежка». В данной работе описывается получение спонтанных регенерантов из линий волосовидных корней и их успешное укоренение и адаптация к почвенным условиям. В результате получено шесть растений, которые способны к цветению и плодоношению в условиях лаборатории. Данная технология упрощает получение растений баклажана с редактированным геномом и генными модификациями.

Ключевые слова: *Agrobacterium rhizogenes*, волосовидные корни, бородатые корни, баклажан, *Solanum melongena* L., геномная инженерия, *in vitro* культивирование, морфогенез, спонтанный органогенез

Цитирование: Суфьянова З.Р., Михайлова Е.В. Получение побегов баклажана (*Solanum melongena* L.) из *in vitro* культур волосовидных корней. *Biomics*. 2025. 17(3). 245-253. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2025-21

© Авторы, Суфьянова З.Р., Михайлова Е.В., 2025

Obtaining shoots of eggplant (*Solanum melongena* L.) from *in vitro* cultures of hairy roots

Sufyanova Z.R.^{1,2}, Mikhaylova E.V.^{1,2}

¹Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russian Federation

²Institute of Biochemistry and Genetics of the Federal State Budgetary Scientific Institution Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russian Federation

*E-mail: zulfiya.sufyanova1@mail.ru

Resume

Hairy roots, characterized by the ability to grow rapidly and autonomously *in vitro*, serve as an effective model for studying plant metabolism and enable the creation of genome-edited plants with enhanced stress

tolerance. They are also suitable for industrial cultivation to produce valuable biological compounds. In some plant species, spontaneous organogenesis is possible in cultures of such roots, which facilitates the rapid production of transgenic and genome-edited lines in cases where regeneration from explants is problematic. Previously, we obtained hairy roots from cotyledon explants of eggplant (*Solanum melongena* L.) cultivar 'The Snow White' using *Agrobacterium rhizogenes* strain 15834 by transformation of cotyledons. This paper describes the spontaneous regeneration of shoots from hairy root lines, their successful rooting, and adaptation to soil conditions. The resulting six plants are capable of flowering and fruiting in the laboratory. This technology simplifies the production of eggplants with edited genomes and genetic modifications.

Keywords: *Agrobacterium rhizogenes*, hairy roots, bearded roots, eggplant, *Solanum melongena* L., genetic engineering, in vitro cultivation, morphogenesis, spontaneous organogenesis

Citation: Sufyanova Z.R., Mikhaylova E.V. Obtaining shoots of eggplant (*Solanum melongena* L.) from *in vitro* cultures of hairy roots. *Biomics*. 2025. 17(3). 245-253. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2025-21

© The Authors, Sufyanova Z.R., Mikhaylova E.V., 2025

Введение

Баклажан (*Solanum melongena* L.) — важная овощная культура, выращиваемая ради плодов, которые по объёму производства занимают пятое место в мире после томатов, лука, огурцов и корншонов, а также капусты. В Китае и Индии это одна из самых распространенных основных овощных культур, находящаяся на третьем месте по популярности у населения. Несмотря на то, что баклажан является многолетним растением, в России его выращивают как однолетнюю культуру, чаще всего в тепличных хозяйствах. В российских научных публикациях и исследованиях [Дрозд и др. (Drozdz et al.), 2022; Мамедов и др. (Mamedov et al.), 2009] активно изучаются генетические аспекты улучшения баклажанов, включая разработку новых методов селекции, анализ генома и использование молекулярных маркеров. Основные направления работ связаны с повышением урожайности, устойчивости к болезням, улучшением технологических качеств плодов и расширением ассортимента для разных регионов.

Для получения геном-редактированных и геном-модифицированных растений семейства Пасленовых традиционно используют методы агробактериальной трансформации семядолей с последующей регенерацией и выведением растений из *in vitro* в почву. Успешная трансформация зависит от различных факторов, среди которых наиболее важными и иногда ограничивающими являются интеграция ДНК в геном растения, а также отбор и регенерация растений из инфицированных эксплантов [Wędzony et al., 2014; Altpeter et al., 2016]. Наличие эффективного протокола имеет решающее значение для проводимых исследований по генетической трансформации.

Первое сообщение об успешной генетической трансформации баклажанов с использованием

Agrobacterium tumefaciens было опубликовано в 1988 году [Guri, Sink, 1988]. В одной из работ исследователи трансформировали выращенные *in vitro* листья баклажанов вектором pMON200, содержащим ген устойчивости к канамицину *nrpIII*. [Alam, Salimullah, 2021]. При генетической трансформации растений с использованием *A. tumefaciens* часто возникают проблемы с регенерацией многих хозяйственно-ценных видов растений из эксплантов, включая баклажан *S. melongena*. Разработка эффективных протоколов трансформации для каждого отдельного сорта требует оптимизации гормонального состава сред, что занимает длительное время и может закончиться неудачей.

Для большинства сортов сельскохозяйственных культур, в особенности для семейства Пасленовых, не отработаны технологии регенерации растений из эксплантов в условиях *in vitro* [Хакимова и др. (Khakimova et al.), 2023]. И в таком случае модельной системой могут служить культуры волосовидных, корней, возникающие в результате генетической трансформации растений под воздействием бактерий *A. rhizogenes*. Они характеризуются рядом отличительных морфологических признаков по сравнению с корнями дикого типа. Ключевыми особенностями являются интенсивное ветвление и формирование удлинённых корневых волосков; нарушение гравитропизма (агравитропный фенотип), и способность к автономному, ускоренному росту *in vitro* на безгормональных питательных средах, что обусловлено интеграцией бактериальной плазмиды Ri в геном растения-хозяина и экспрессией генов T-ДНК (*root locus*, или *rol* генов). Внедрение генетического материала бактерий в геном растения приводит к изменению метаболизма, активному

корнеобразованию и помогает генетически улучшить растение.

Трансформация генетическими конструкциями, осуществляемая с помощью *A. rhizogenes*, может быть использована для исследования экспрессии генов растений, эффектов подавления генов (сайленсинга) и уровней дифференциальной экспрессии промоторов в различных условиях. Волосовидные корни также являются источником важных вторичных метаболитов, как эндогенных, так и получаемых путем внедрения трансгенов. Эти культуры быстро растут, легко поддерживаются и могут синтезировать более одного фитохимического вещества. Известны метаболиты волосовидных корней, которые обладают различными антиканцерогенными, антиаритмическими, антигипертензивными, противоопухолевыми и многими другими лекарственными свойствами [Banerjee et al., 2012]. Эти культуры открывают возможности производства фармацевтических препаратов нового поколения, обладающих улучшенной фармакокинетикой и меньшей токсичностью [Gantait, Mukherjee, 2021].

Культуры таких корней также позволяют создавать генетически модифицированные и геном-редактированные растения, трудно поддающиеся регенерации через каллус, а также наращивать биомассу для промышленного получения ценных биологически активных соединений, оптимизировать процессы культивирования растительных тканей в контролируемых условиях. Таким образом, данная технология представляет значительный интерес как для академических исследований, так и для сельскохозяйственной и фармацевтической отраслей [Wang et al. 2017].

Редактирование генома баклажана и создание геном-редактированных растений можно сделать с помощью системы CRISPR/Cas, которая является мощным инструментом функциональной геномики растений и представляет собой адаптивный иммунный механизм, обнаруженный у бактерий и архей, обеспечивающий точную защиту от атакующих бактериофагов и экзогенных плазмид. Белок Cas9 создает двухцепочечный разрыв в ДНК, который запускает клеточные механизмы репарации ДНК, приводящие к возникновению случайных мутаций. Это, как правило, вызывает нарушение функции гена. С использованием донорной ДНК-последовательности можно добиться гомологичной репарации и внесения желаемых изменений в нуклеотидную последовательность [Yin et al., 2017].

Сочетание метода редактирования генома с использованием CRISPR/Cas и технологии получения волосовидных корней представляют собой быстрый и эффективный способ изучения функции генов в связи

с тем, что трансформация корней, осуществляемая с помощью *A. rhizogenes*, позволяет получить большую выборку и быстро нарастить необходимую для экспериментов биомассу. Эффективные протоколы трансформации могут обеспечить эффективность регенерации трансгенных и геном-редактированных корней на уровне 70%. Тем не менее, новейшие методы редактирования генома, такие как редактирование оснований и прайм редактирование, еще ни разу не были опробованы на волосовидных корнях, с чем связана высокая актуальность таких исследований [Kiryushkin et al., 2021].

При выращивании культур волосовидных корней Пасленовых часто наблюдается спонтанный органогенез, при котором новые органы (такие как корни, побеги или листья) формируются из тканей или клеток растения без внешнего вмешательства. Этот процесс может происходить благодаря внутренним механизмам регуляции развития, воздействию стрессовых факторов или в условиях *in vitro*, когда ткани или клетки начинают самостоятельно образовывать новые органы. Спонтанный органогенез из волосовидных корней значительно ускоряет и упрощает процесс получения регенерантов, повышая эффективность генетической инженерии и геномного редактирования.

Целью данного исследования является получение из линий волосовидных корней баклажана полноценных растений и их дальнейшее культивирование в условиях почвы. Для этого были опробованы различные методы культивирования на почвенных смесях с целью оценки их жизнеспособности, роста и развития. Эти исследования позволяют получить более полное представление о потенциале волосовидных корней для использования в селекционных и биотехнологических целях, а также для изучения механизмов регуляции органогенеза и адаптации растений к внешним условиям.

Материалы и методы

Исследуемые сорта растений. Баклажан Белоснежка (производитель «Гавриш» (Россия) – среднеспелый сорт с овальными плодами массой 180-200 г, которые созревают за 110-115 дней, и могут культивироваться как в открытом грунте, так и в теплице. Мякоть плода белая, плотная, без горечи. Оптимальная температура почвы для прорастания семян - 25-28°C. Отличительной особенностью сорта является отсутствие антоциановой окраски, в том числе имеющего белые плоды, что позволяет использовать его для исследования генов антоцианового биосинтеза.

Стерилизация семян растений баклажана. Семена были стерилизованы в течение 1 минуты в 70%

этаноле, 8 минут в 15% белизне, промыты 5 раз стерильной водой. Далее помещались в питательную агаризованную половинную среду Мурасиге-Скуга (МС) без витаминов (M5524, Sigma Aldrich) (таблица 1) и выращивались при 23°C с фотопериодом 16/8 часов (день/ночь) в климатической камере Binder (Германия).

Таблица 1

Половинная среда Мурасиге-Скуга	
Вещество	Концентрация
Макроэлементы	
Нитрат аммония	825 мг/л
Хлорид кальция	220 мг/л
Сульфат магния	90,35 мг/л
Дигидрофосфат калия	85 мг/л
Нитрат калия	950 мг/л
Микроэлементы	
Борная кислота	3,1 мг/л
Хлорид кобальта • 6H ₂ O	0,0125 мг/л
Сульфат меди (II) • 5H ₂ O	0,0125 мг/л
Сульфат марганца • H ₂ O	8,45 мг/л
Молибденовая кислота (натриевая соль) • 2H ₂ O	0,125 мг/л
Йодид калия	0,415 мг/л
Сульфат цинка • 7H ₂ O	4,3 мг/л
ЭДТА динатриевая соль дигидрат	18,63 мг/л
Раствор хелатного железа	
Сульфат железа (II) гептагидрат	13,9 мг/л
Дополнительные элементы	
Агар	8 г/л
Сахароза	15 г/л

Получение волосовидных корней. Полученные семядольные экспланты из листьев проросших семян баклажана выращивались в регенерационной среде МС с витаминами (таблица 2), после трансформации *A. rhizogenes* штамма 15834 пересаживались на аналогичную среду с добавлением антибиотика и селективного агента.

Таблица 2

Витамины в среде Мурасиге-Скуга	
Вещество	Концентрация
Витамины	
Мио-Инозитол	100 мг/л
Никотиновая кислота	0,5 мг/л
Пиридоксин • HCl	0,5 мг/л
Тиамин • HCl	0,1 мг/л

Образование волосовидных корней на эксплантах баклажана наблюдалось на 12 день после трансформации. Далее волосовидные корни баклажана были выращены в *in vitro* с использованием питательной среды МС следующего состава: 4,4 г/л МС соли (M0404, Sigma Aldrich), 8,0 г/л агара, 30 г/л сахарозы. Кислотность раствора была

доведена до значения pH=5,7-5,8 при помощи кислоты HCl и щелочи KOH с помощью портативного прибора pH-метра HANNA HI 83141. После автоклавирования в среду был добавлен антибиотик цефотаксим в концентрации 600 мг/л для предотвращения бактериальной контаминации. Чашки Петри с волосовидными корнями содержались при температуре 23°C с фотопериодом 16/8 часов (день/ночь) в климатической камере Binder (Германия).

Выращивание ростков баклажана, полученных в ходе спонтанного органогенеза in vitro. Сначала образовавшиеся ростки были пересажены в сосуды типа Magenta в питательные среды, аналогичные используемым для культивирования волосовидных корней (Таблица 2). Также был использован новый состав среды: 11,875 г/л фитагеля (P8169, Sigma-Aldrich), 3,3 г/л МС солей (M0404, Sigma Aldrich) и 22,5 г/л сахарозы. Перед автоклавированием pH раствора доводили до 5,7–5,8. После стерилизации в среду добавлялся антибиотик цефотаксим в концентрации 600 мг/л. Введение фитагеля осуществлялось медленно с интенсивным перемешиванием для равномерного распределения компонентов перед нагреванием в автоклаве, что обеспечило однородность среды и стабильность условий культивирования.

Пересадка из in vitro в почву и выращивание ростков баклажана. Перед проведением пересадки растений из сосудов типа Magenta в почву для каждого ростка подготавливали 0,5 л почвенной смеси и 0,2 л воды, заранее проавтоклавированных и охлаждённых до комнатной температуры (20–22°C). В процессе пересадки использовались стерильные пинцеты. Корни эксплантов тщательно промывались для полного удаления остатков питательной среды и пересаживались в пластиковые одноразовые контейнеры с почвой. Затем они накрывались вторым пластиковым контейнером, выполняющим функцию крышки, для создания условий с повышенной влажностью. Ростки выращивались в автоматизированной климатической камере роста растений “Спектр-15” при температуре 25°C, влажности 80% и освещенности 2700 Lux.

Результаты и обсуждение.

В результате проведения агробактериальной трансформации *in vitro* с использованием *A. rhizogenes* штамма 15834 были успешно получены 14 стабильных линий волосовидных корней сорта баклажана «Белоснежка». Культуры обладали характерными морфологическими признаками: обильным боковым ветвлением, большим количеством корневых волосков, отсутствием гравитропизма и повышенной скоростью роста.

В процессе культивирования в условиях *in vitro* у 4 из полученных линий наблюдался спонтанный органогенез — процесс формирования новых органов, таких как листья и побеги, в отсутствие внешней стимуляции. Это свидетельствует о высокой пластичности и потенциале данных линий к дифференцировке и развитию новых структур. В линии № 11 спонтанный органогенез с образованием ростков на волосовидных корнях был замечен три раза. Эти корни, способные образовывать ростки, отличались от других волосовидных корней тем, что имели светло-зеленую окраску и выглядели толще. При пересадке на новую среду МС, они наиболее активно росли и спустя время давали ростки. У линии № 23 спонтанный органогенез был замечен лишь один раз, сами корни также были светло-зелеными. В линиях F и № 33 органогенез также был замечен лишь один раз, при этом они не приобретали зеленый цвет несмотря на культивирование на свету. Для полученных регенерантов (Рисунок 1) было выполнено комплексное исследование по их адаптации к условиям почвенного субстрата.



Рисунок 1. Ростки, образовавшиеся в результате спонтанного органогенеза в чашках Петри.
Figure 1. Shoots resulting from spontaneous organogenesis.

Первоначально они были пересажены в питательную среду в сосуды типа Magenta, аналогичную используемой для культивирования волосовидных корней. Однако при использовании данной среды было отмечено быстрое ухудшение состояния листьев и стеблей растений, что может быть связано с ее физическими характеристиками, например, из-за гипергидратации (стекловидности). Это наиболее распространенное физиологическое нарушение при выращивании растений в лабораторных условиях, которое приводит к потере способности нормально расти, создавая проблемы при акклиматизации. Гипергидратация может быть вызвана различными стрессовыми условиями и

зависит как от экологических факторов, так и от состава среды. Морфология гипергидратированных побегов характеризуется скрученными, хрупкими и полупрозрачными листьями, побегами с более короткими междоузлиями и другими признаками, указывающими на избыток воды. Такие растения не выживают при пересадке в почву из-за пожелтения, набухания и скручивания листьев. Гипергидратированные растения характеризуются низким содержанием хлорофилла, низким уровнем фенольных соединений и высоким содержанием воды по сравнению с нормальными растениями. Это приводит к чрезмерной гидратации, низкой лигнификации и сниженной механической прочности растений, полученных из культур тканей, что препятствует регенерации таких растений и требует сложной акклиматизации в теплице, чаще всего заканчивающейся гибелью. Гипергидратированность является следствием реакции растения на стресс, когда экспланты помещаются в неподходящую *in vitro* среду [Hazarika, Bora, 2010].

Высокая относительная влажность и скопление газов (в основном CO₂ и этилена) в атмосфере закрытых культивационных емкостей также способствуют развитию гипергидратированности. Таким образом, можно выделить факторы, вызывающие данную проблему *in vitro*: (1) состав питательной среды, наличие регуляторов роста и тип используемого гелеобразующего агента (2) условия культивирования, наличие аэрации (3) тип эксплантата, его размер, возраст и генотип [Polivanova et al., 2022]. В частности, структура первоначально использованной нами среды оказалась слишком мягкой и рыхлой, что негативно сказывалось на стабильности и поддержании оптимальных условий для роста растений.

В связи с выявленными недостатками была разработана новая питательная среда на основе солей Мурасиге-Скуга. В состав этой среды вместо традиционного агара был включен фитагель — специальный порошок на основе желатиновой камеди, предназначенный для использования вместо агара и других гелеобразующих агентов при культивировании растительных тканей. Преимущество фитагеля в том, что он больше подходит для повышения твердости питательной среды, чем агар, который в высоких концентрациях снижает доступность различных компонентов среды, в частности цитокининов [Polivanova et al., 2022].

Посадка в сосуды типа Magenta осуществлялась в момент, когда проростки в чашках Петри достигали значительной зеленой массы (росток с 1-2 листьями) (рисунок 2).

Получение побегов баклажана из культур волосовидных корней

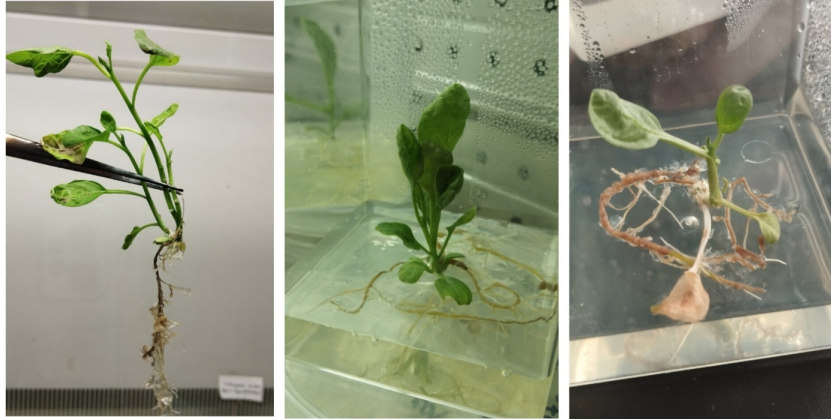


Рисунок 2. Ростки, выросшие в питательной среде с фитагелем в сосудах типа Magenta
Figure 2. Shoots grown in a nutrient medium with phytagel in Magenta-type vessels

Пересадка в почву для проведения этапа адаптации к внешней воздушной среде из сосудов типа Magenta в закрытые пластиковые контейнеры (рисунок 3) проводилась позже, когда у растений уже было сформировано от трех до пяти листьев, в их более зрелой стадии развития. Это происходило примерно через 1,5–2 месяца после начала культивирования, и готовность к пересадке в почвенный грунт оценивалась индивидуально для каждого растения. В процессе адаптации крышки от контейнеров на третий день после пересадки в почву приоткрывались на небольшую щель и фиксировались. На пятый день пересадки размер щели увеличивался и через неделю крышка полностью удалялась. Такой постепенный режим снижения влажности способствовал уменьшению стрессовых факторов у растений и стимулировал развитие их устойчивости к внешним условиям окружающей среды. Этот подход позволил улучшить физиологическое состояние растений, повысить их стрессоустойчивость и подготовить к дальнейшему культивированию вне лабораторных условий.

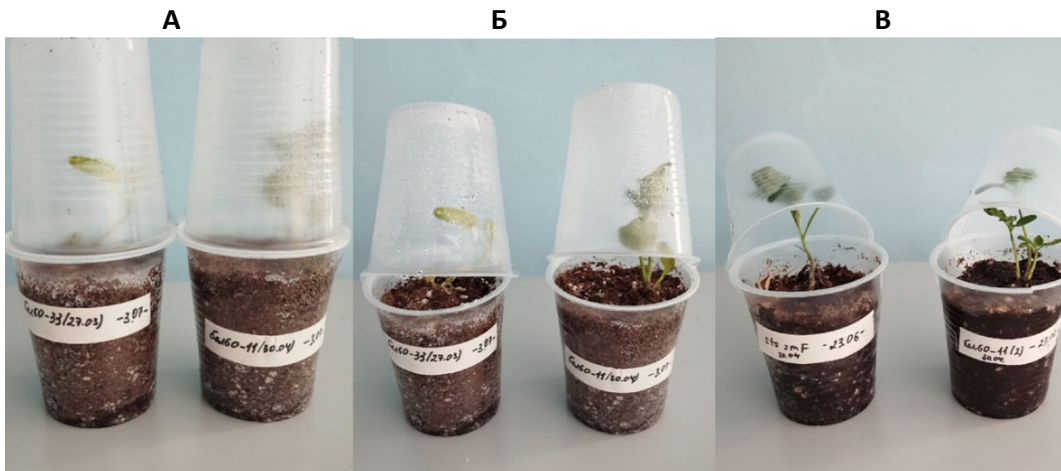


Рисунок 3. Ростки, посаженные в закрытые пластиковые контейнеры с почвой.
(А) в первый день после посадки, (Б) на третий день после посадки, (В) на пятый день после посадки.
Figure 3. Shoots planted in closed plastic containers with soil: (A) on the first day after planting, (B) on the third day after planting, (C) on the fifth day after planting

В период цветения (рисунок 4) растения подвергались ручному опылению: пыльца аккуратно собиралась с одного цветка и переносилась на рыльце другого с использованием ватных палочек или самого

цветка. В результате эксперимента были получены плоды баклажана (рисунок 5) и собраны семена для дальнейшего использования.

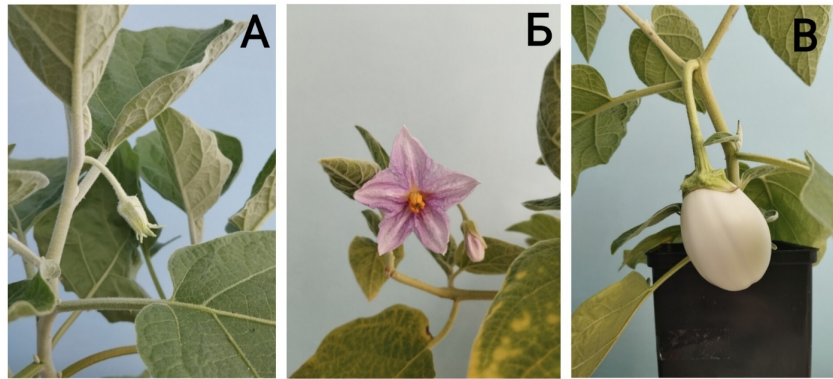


Рисунок 4. Получение плодов баклажана. А- образование цветка. Б- цветение. В -плод.
Figure 5. Eggplant fruit development. A – Flower formation. B – Flowering. C – Fruit.

В результате проведенных мероприятий было получено шесть полноценных побегов баклажана (рисунок 5) что подтверждает эффективность выбранных методов культивирования и адаптации для дальнейших исследований и практического применения.



Рисунок 5. Побег баклажана, полученные путем спонтанного органогенеза:

А- № 33, Б- № 23, В-№ F, Г- № 11, Д-№ 11 (регенерант № 2), Е-№ 11 (регенерант №1).

Figure 4. Eggplant shoots obtained by spontaneous organogenesis: A-№ 33, B-№ 23, C- № F, D- № 11, E-№ 11 (regenerant № 2), F-№ 11 (regenerant № 1).

Заключение

В результате проведенного исследования продемонстрировано успешное использование волосовидных корней, полученных при помощи *A. rhizogenes* штамма 15834, для получения побегов и плодоносящих растений баклажана *S. melongena* L. без использования гормональных сред. Волосовидные корни характеризуются высокой морфологической активностью, способностью к автономному росту и спонтанному образованию органов, что способствует ускорению процессов генной инженерии, геномного редактирования и селекции. Образовавшиеся побеги показали устойчивый рост в почвенных условиях, после пересадки из *in vitro* культуры. Полученные результаты подтверждают возможность применения *A. rhizogenes*-индуцированных корней для создания растений с целевыми признаками, такими как устойчивость к стрессу, и получения от них потомства в условиях лаборатории. Комбинация агробактериальной трансформации, оптимизированных условий культивирования *in vitro* и поэтапной адаптации *ex vitro* представляет собой эффективный инструмент для получения жизнеспособных растений-регенерантов.

Литература

1. Дрозд Е.В., Бабак О.Г., Некрашевич Н.А. и др. Изучение особенностей накопления антоцианов у *Solanum melongena* L. в зависимости от полиморфизма генов R2R3 Мyb-активатора. *Молекулярная и прикладная генетика*. 2022. 32. 6-17. DOI: 10.47612/1999-9127-2022-32-6-17
2. Мамедов М.И., Пышная О.Н., Верба В.М. Культурный баклажан - происхождение, задачи селекции и генетические источники. *Овощи России*. 2009. № 4(6). 27-33. DOI: 10.18619/2072-9146-2009-4-1-27-33
3. Хакимова Л.Р., Ибатуллина Г.Ф., Михайлова Е.В. и др. Каллусогенез у растений баклажана *Solanum melongena* L. в *in vitro* культурах. *Biomics*. 2023. 15(3). 204-212. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2023-18
4. Alam I, Salimullah M. Genetic Engineering of Eggplant (*Solanum melongena* L.): Progress, Controversy and Potential. *Horticulturae* 2021. 7. 78. doi: 10.3390/horticulturae7040078
5. Altpeter F, Springer NM, Bartley LE et al. Advancing crop transformation in the era of genome editing. *Plant Cell*. 2016. 28. 1510–1520. doi: 10.1105/tpc.16.00196
6. Banerjee S, Singh S, Ur Rahman L. Biotransformation studies using hairy root cultures - A review. *Biotechnol Adv*. 2012. 30(3). 461-468. doi: 10.1016/j.biotechadv.2011.08.010

7. Gantait S, Mukherjee E. Hairy root culture technology: applications, constraints and prospect. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2021. 105(1). 35-53. doi: 10.1007/s00253-020-11017-9
8. Guri A, Sink KC. *Agrobacterium* Transformation of Eggplant. *Journal of Plant Physiology*. 1988. 133(1). 52-55. doi: 10.1016/S0176-1617(88)80083-X
9. Hazarika BN, Bora A. Hyperhydricity - A bottleneck to micropropagation of plants. *Acta Horti*. 2010. 865. 95-101 DOI: 10.17660/ActaHortic.2010.865.11
10. Kiryushkin AS, Ilina EL, Guseva ED et al. Hairy CRISPR: Genome Editing in Plants Using Hairy Root Transformation. *Plants (Basel)*. 2021. 11(1). 51. doi: 10.3390/plants11010051
11. Polivanova OB, Bedarev VA. Hyperhydricity in Plant Tissue Culture. *Plants (Basel)*. 2022. 11(23). 3313. doi: 10.3390/plants11233313
12. Wang J, Li J-L, Li J et al. Production of active compounds in medicinal plants, from plant tissue culture to biosynthesis. *Chinese Herbal Medicines*. 2017. 9(2). 115-125. DOI: 10.1016/S1674-6384(17)60085-6
13. Wędzony M, Szechyńska-Hebda M, Żur I et al. Tissue culture and regeneration: a prerequisite for alien gene transfer,” in Alien Gene Transfer in Crop Plants: Innovations, Methods and Risk Assessment. 2014. V. 1. eds A.Pratap, J.Kumar (New York, NY: Springer). 43–75. DOI: 10.1007/978-1-4614-8585-8_3
14. Yin K, Gao C, Qiu JL. Progress and prospects in plant genome editing. *Nat Plants*. 2017. 3. 17107. doi: 10.1038/nplants.2017.107. PMID: 28758991

References

1. Alam I, Salimullah M. Genetic Engineering of Eggplant (*Solanum melongena* L.): Progress, Controversy and Potential. *Horticulturae* 2021. 7. 78. doi: 10.3390/horticulturae7040078
2. Altpeter F, Springer NM, Bartley LE et al. Advancing crop transformation in the era of genome editing. *Plant Cell*. 2016. 28. 1510–1520. doi: 10.1105/tpc.16.00196
3. Banerjee S, Singh S, Ur Rahman L. Biotransformation studies using hairy root cultures - A review. *Biotechnol Adv*. 2012. 30(3). 461-468. doi: 10.1016/j.biotechadv.2011.08.010
4. Drozd E. V., Babak O. G., Nekrashevich N. A. et al. Study of anthocyanin accumulation peculiarities in *Solanum melongena* depending on the polymorphism of activator-type R2R3-Myb genes. *Molecular and Applied Genetics*. – 2022. – Vol. 32. – P. 6–17. – DOI 10.47612/1999-9127-2022-32-6-17.
5. Gantait S, Mukherjee E. Hairy root culture technology: applications, constraints and prospect. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2021. 105(1). 35-53. doi: 10.1007/s00253-020-11017-9

6. Guri A, Sink KC. *Agrobacterium* Transformation of Eggplant. *Journal of Plant Physiology*. 1988. 133(1). 52-55. doi: 10.1016/S0176-1617(88)80083-X
7. Hazarika BN, Bora A. Hyperhydricity - A bottleneck to micropropagation of plants. *Acta Hortic*. 2010. 865. 95-101 DOI: 10.17660/ActaHortic.2010.865.11
8. Kiryushkin AS, Ilina EL, Guseva ED et al. Hairy CRISPR: Genome Editing in Plants Using Hairy Root Transformation. *Plants (Basel)*. 2021. 11(1). 51. doi: 10.3390/plants11010051
9. Khakimova L.R., Ibatullina G.F., Mikhaylova E.V., Vershinina Z.R. Callus formation in eggplant plants *Solanum melongena* L. in vitro cultures. *Biomics*. 2023. T.15(3). C. 204-212. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2023-18
10. Mamedov M.I., Pyshnaya O.N., Verba V.M. Eggplants its origin, breeding program, genetic resources. // *Vegetables of Russia*. – 2009. – No. 4(6). – P. 27–33. DOI:10.18619/2072-9146-2009-4-1-27-33
11. Polivanova OB, Bedarev VA. Hyperhydricity in Plant Tissue Culture. *Plants (Basel)*. 2022. 11(23). 3313. doi: 10.3390/plants11233313
12. Wang J, Li J-L, Li J et al. Production of active compounds in medicinal plants, from plant tissue culture to biosynthesis. *Chinese Herbal Medicines*. 2017. 9(2). 115-125. DOI: 10.1016/S1674-6384(17)60085-6
13. Wędzony M, Szechyńska-Hebda M, Żur I et al. Tissue culture and regeneration: a prerequisite for alien gene transfer,” in *Alien Gene Transfer in Crop Plants: Innovations, Methods and Risk Assessment*. 2014. V. 1. eds A.Pratap, J.Kumar (New York, NY: Springer). 43–75. DOI: 10.1007/978-1-4614-8585-8_3
14. Yin K, Gao C, Qiu JL. Progress and prospects in plant genome editing. *Nat Plants*. 2017. 3. 17107. doi: 10.1038/nplants.2017.107. PMID: 28758991