

Научная статья

УДК 635.9:582.951.63:57.082.26:631.527.8

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-011



## Частные аспекты культивирования львиного зева *Antirrhinum majus* L. в условиях *in vitro*

И. В. Барабанов<sup>1</sup>, М. В. Васильева<sup>1</sup>, С. В. Жидяева<sup>2</sup>, Р. С. Рахмангулов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральное исследовательское учреждение Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Научно-технологический университет «Сириус», Краснодарский край, Федеральная территория «Сириус», Россия

**Автор, ответственный за переписку:** Иван Владимирович Барабанов, i.barabanov@vir.nw.ru

**Актуальность.** Однолетние декоративные культуры востребованы в озеленении общественных пространств и приусадебных участков, также выращиваются на срез в открытом грунте или в теплицах. Таким образом ускоренное получение качественно новых сортов декоративных растений требует вовлечения в работу биотехнологических методов, в частности, введения образцов растений в асептические условия, культивирования их *in vitro* и получения жизнеспособного органогенного каллуса. **Материалы и методы.** Объектом исследования выступили сорта *Antirrhinum majus* L. коллекции ВИР. Экспланты каждого сорта в виде молодых побегов с почками после стерилизации вводили в асептические условия, затем производили пассаж растений на питательные среды, содержащие регуляторы роста, способствующие ускоренному микроклональному размножению, ризогенезу или каллусогенезу. **Результаты и обсуждение.** Показана высокая эффективность введения растений *A. majus* в асептические условия. Подобраны среды для микроклонального размножения, корнеобразования и каллусогенеза. На всех средах отмечена высокая интенсивность образования новых побегов для черенкования. Наилучшие результаты корнеобразования наблюдались на средах с добавлением ИУК и НУК. Наибольшая эффективность каллусообразования наблюдалась на среде, содержащей 1 мг/л БАП, 1 мг/л 2,4-Д и 1 мг/л НУК. Подобраны субстраты для адаптации растений *ex vitro*, обеспечивающие высокую выживаемость образцов. **Заключение.** В исследовании отработаны методы культивации растений *A. majus* в условиях *in vitro*, от введения в асептические условия до адаптации к внешней среде. Оптимизированы условия для развития и поддержания жизнеспособного каллуса. Представленные в работе методики обеспечивают стабильное получение биологического материала для молекулярно-генетических исследований.

**Ключевые слова:** регуляторы роста, микроклональное размножение, каллусная культура, *Antirrhinum majus* L.

**Благодарности:** Статья подготовлена в рамках государственного задания № FGEM-2025-0008 «Разработка подходов ускоренной селекции для улучшения хозяйственно ценных признаков декоративных и ягодных культур».

**Для цитирования:** Барабанов И.В., Васильева М.В., Жидяева С.В., Рахмангулов Р.С. Частные аспекты культивирования львиного зева *Antirrhinum majus* L. в условиях *in vitro*. *Биотехнология и селекция растений*. 2025;8(4):106-117. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-011

Прозрачность финансовой деятельности: Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы.

© Барабанов И.В., Васильева М.В., Жидяева С.В., Рахмангулов Р.С., 2025

---

Original article

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-011

## Particular aspects of snapdragon *Antirrhinum majus* L. *in vitro* cultivation

Ivan V. Barabanov<sup>1</sup>, Marina V. Vasilyeva<sup>1</sup>, Serafima V. Zhidiyaeva<sup>2</sup>, Ruslan S. Rakhmangulov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Sirius University of Science and Technology, Sirius Federal Territory, Krasnodar region, Russia

**Corresponding author:** Ivan V. Barabanov, i.barabanov@vir.nw.ru

**Background.** Annual ornamental crops are in demand in the landscaping of public spaces and private gardens, and are also grown outdoors or in greenhouses for cutting. The accelerated production of high-quality ornamental plant cultivars requires the use of biotechnological techniques, such as the introduction into aseptic conditions, *in vitro* cultivation, and viable organogenic callus production. **Materials and methods.** The study focused on the *Antirrhinum majus* L. cultivars from the VIR collection. The explants of each cultivar in the form of young shoots with buds were introduced into aseptic conditions after sterilization, and then the plants were transferred to media containing growth regulators that promote accelerated microclonal propagation, rhizogenesis, or callusogenesis. **Results and discussion.** The introduction of *A. majus* plants into aseptic conditions was highly effective. Media for microclonal propagation, root formation, and callusogenesis were selected. A high intensity of formation of new shoots for cuttings was observed on all cultivation media. The best results for root formation were achieved on media supplemented with IAA and NAA. The highest efficiency for callus formation was observed on a medium containing 1 mg/L of BAP, 1 mg/L of 2,4-D, and 1 mg/L of NAA. Substrates for *ex vitro* plant adaptation have been selected to ensure high survival rates of the specimens. **Conclusions.** In the course of the study, techniques for *A. majus* plants *in vitro* cultivation were developed, ranging from introduction to aseptic conditions to adaptation to the external environment. The conditions for the development and maintenance of a viable callus have been optimized. The techniques presented in the study ensure a stable supply of biological material for molecular genetic research.

**Keywords:** growth regulators, microclonal propagation, callus culture, *Antirrhinum majus* L.

---

**Acknowledgements:** The article was prepared within the framework of the State Assignment to VIR according to the Thematic Plan of Research, topic No. FGEM-2025-0008 “Development of accelerated breeding approaches to the improvement of economically important traits of ornamental and berry crops”.

**For citation:** Barabanov I.V., Vasilyeva M.V., Zhidiyaeva S.V., Rakhmangulov R.S. Particular aspects of snapdragon *Antirrhinum majus* L. *in vitro* cultivation. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2025;8(4):106-117. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-011

Financial transparency: The authors have no financial interest in the presented materials or methods. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal’s opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employers.

---

© Barabanov I.V., Vasilyeva M.V., Zhidiyaeva S.V., Rakhmangulov R.S., 2025

## Введение

Львиный зев *Antirrhinum majus* L. – популярная садовая и ценная декоративная культура, представляет собой однолетнее травянистое растение, культивируемое в средней полосе России. Для сортов львиного зева характерно соцветие кисть, цветки оригинальной формы и значительное разнообразие окраски венчика. Львиный зев – классическая модель для изучения молекулярно-генетических закономерностей формирования признаков, обеспечивающих декоративную ценность растения: форму и тип соцветия, тип цветка, компактность растения и окраску венчика (Martin et al., 1991, Bradley et al., 1996; Schwarz-Sommer et al., 2003; Zhang et al., 2005; Schwinn et al., 2006).

Круглогодичное ведение селекционного процесса, преодоление механизмов несовместимости, получение качественно новых признаков и, следовательно, ускоренное получение сортов хозяйственно значимых растений достигаются при помощи современных молекулярно-генетических и биотехнологических методов (Ryndin, Mokhno, 2012; Rakhmangulov, Tikhonova, 2021; Slepchenko, Pashchenko, 2021). Необходимость применения биотехнологических методов возникает не только в процессе селекции, но и по завершении создания сорта. При семенном размножении *A. majus* возможно возникновение в ряду поколений нежелательных фенотипов, частичная утрата декоративной ценности (Daneshvar, Hesami, 2016).

Сохранение сортовой специфики, приобретенных хозяйственно ценных признаков также является важной задачей селекционного процесса и может быть решена при помощи микрклонального размножения. Подобные методики дополняют традиционные методы сохранения разнообразия, обеспечивая возможность устойчивого управления генетическими ресурсами (Benson, 2002, Gavrilenko et al., 2022; Samarina et al., 2024).

Помимо селекционной работы и сохранения коллекций микрклональное размножение позволяет в кратчайшие сроки накопить растительный материал для молекулярно-генетических исследований. Сниженное вирусное и бактериальное воздействие на растения, культивируемые *in vitro*, позволяет, например, с меньшими затратами проводить выделение нуклеиновых кислот высокого качества, трудно достижимого при использовании растений, выращенных в открытом или защищенном грунте. Введение растений в асептические условия, формирование дублетных *in vitro* коллекций, получение каллусной культуры или культур изолированных протопластов – это промежуточные этапы генной инженерии, в частности проведения агробактериальной трансформации, редактирования генома методом CRISPR/Cas9, позволяющих преодолеть ограничения внутривидовой изменчивости (Rakhmangulov, Tikhonova, 2021; Rakhmangulov, 2022; Rakhmangulov et al., 2022;). Проведение подобных исследований требует тщательно отработанных методик

работы с культурой *in vitro*. Получение пригодного для дальнейшего использования каллуса, поддержание его жизнеспособности возможно при подборе оптимального сочетания и оптимальных концентраций регуляторов роста в питательной среде (Reinert, 1959; Street, 1966; Torrey, 1966; Halperin, 1966). Важный этап при получении каллусной культуры – подбор эксплантов, частей растения, вводимых в асептические условия. В ряде исследований, посвященных различным аспектам микрклонального размножения львиного зева, используются следующие типы эксплантов: семядоли, фрагменты стебля, листовые диски (Sangwan, Harada, 1975; Hesami, Daneshvar, 2016).

Заключительным этапом работы *in vitro* является достижение устойчивого и контролируемого развития органов в культивируемых тканях. В зависимости от условий культивирования и, в первую очередь, от содержащихся в среде биологически активных веществ, растительные ткани и отдельные клетки демонстрируют способность к регенерации растений либо через стадии эмбриогенеза, напоминающие развитие зародыша семени (Sangwan, Harada, 1975), либо через образование побегов и корней (Kolomiyets et al., 2016). В ходе исследований, посвященных культивированию львиного зева *in vitro*, было установлено, что гормоны различной природы и иные регуляторы роста оказывают специфическое воздействие на развитие экспланта. Ауксины, такие как индолилуксусная кислота (ИУК) и нафталинуксусная кислота (НУК), вызывают ограниченное развитие каллуса и обильное образование корней, тогда как 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота (2,4-Д) способствует образованию мягкого рыхлого каллуса с зародышами и реже приводит к развитию толстых, аномальных корней. Кокосовое молоко и 2-нафтоксиуксусная кислота, используемые вместе, вызывают рост рыхлого зеленого каллуса и регенерацию из тотипотентных клеток некрупных округлых зародышей. Цитокинины, такие как бензиладенин, зеатин и кинетин, индуцировали компактный зеленый каллус, но в отсутствие ауксина не способствовали органогенезу. Совместное действие индолилуксусной кислоты и кинетина приводило к регенерации целого растения из стеблевых эксплантов. При использовании нафтилуксусной кислоты вместе с кинетином развитие побегов полностью подавлялось, но образовывались обильные корни (Sangwan, Harada, 1975).

В связи с этим на базе Федерального исследовательского центра «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР) заложена дублетная *in vitro* коллекция сортов львиного зева большого *A. majus*. Поддержание подобной коллекции обеспечивает круглогодичный доступ к растительному материалу, свободному от бактериальной и грибковой контаминации, возможность быстро мобилизовать его для нужд молекулярно-генетических и биотехнологических исследований, а именно для выделения нуклеиновых кислот, агробактериальной трансформации. Культивирование растений *in vitro* является необходимой

составляющей как молекулярно-генетических исследований, так и современного селекционного процесса.

## Материалы и методы

На данный момент в асептических условиях поддерживаются восемь сортов *A. majus* коллекции ВИР (табл. 1).

**Таблица 1. Сорты львиного зева коллекции ВИР, культивируемые *in vitro***  
**Table 1. Snapdragon cultivars from the VIR collection, cultivated *in vitro***

№/ No.	Название сорта/ Cultivar name	Номер каталога ВИР/ VIR Catalogue number	Фенотип (окраска венчика)/ Phenotype (corolla coloration)
1	‘Черный Принц’	7115	Темно-красный
2	‘Вайс’	7512	Белый
3	‘Низкий Розовый’	11437	Розовый
4	‘Низкий Оранжевый’	11438	Оранжевый
5	‘Низкий желтый’	11439	Ярко-желтый
6	‘Навайо’	11682	Фиолетовый
7	‘Вильдрозе’	11888	Розовый
8	‘Розенскимммер’	13106	Насыщенный пурпурный

Культивируемые в асептических условиях сорта *A. majus* послужили материалом для ряда экспериментов, в том числе по:

1. оценке эффективности микроклонального размножения *in vitro*;
2. оценке эффективности корнеобразования на питательных средах с различным составом регуляторов роста;
3. оценке различных типов эксплантов на предмет эффективности каллусообразования на средах с разным сочетанием регуляторов роста;
4. выведению микрорастений из асептических условий, оценке приживаемости и корнеобразования на различных субстратах.

Введение растений в асептические условия проводили в три этапа:

1. подготовка растительного материала и питательных сред;
2. стерилизация растительного материала;
3. введение стерильных эксплантов в условия *in vitro*.

В качестве эксплантов использовали молодые побеги с почками без листьев. Побеги с апикальной почкой в экспериментах не использовали.

Стерилизацию проводили по протоколу, приведенному в таблице 2.

**Таблица 2. Протокол стерилизации эксплантов**  
**Table 2. Protocol for explants sterilization**

№/ No.	Действующее вещество/ Active substance	Время экспозиции, мин/ Exposure time, min	Примечание/ Note
1	Водный раствор поверхностно-активного вещества	15	На протяжении всего времени экспозиции производить перемешивание образцов круговыми движениями
2	10% раствор гипохлорита натрия (NaOCl)	10	
3	96% этиловый спирт (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	1	
4	Дистиллированная вода	5	Отмывка производится трехкратно, в стерильных условиях

Побеги помещали на питательную среду Мурасиге и Скуга (МС, MS) (Murashige, Skoog, 1962) с добавлением 0,5 мг/л 6-бензиламинопурина (БАП).

Были подготовлены питательные среды для ускоренного микроклонального размножения, корнеобразова-

ния и индукции каллусогенеза. Варианты сред идентичны по базовому составу и основаны на питательной среде МС с добавлением 30 г/л сахарозы и 6 г/л агара, но характеризуются различными концентрациями регуляторов роста цитокининовой и ауксиновой природы (табл. 3).

Эксплантами для проведения указанных опытов являлись молодые листья, части стебля и узлы, которые были взяты с ранее введенных в асептические условия растений.

**Таблица 3. Состав регуляторов роста в питательных средах МС для микроклонального размножения, корнеобразования и каллусогенеза у *Antirrhinum majus* L**

**Table 3. Composition of growth regulators in nutrient media MS for microclonal propagation, root- and callus formation in *A. majus***

№/ No.	Эксперимент/ Experiment	Среда/ Medium	Содержание компонентов в 1 литре среды/ Component content in 1 L of medium			
			БАП (6-бензиламинопурин), мг/ BAP (6-benzylaminopurine), mg	НУК (нафталинуксусная кислота), мг/ NAA (naphthaleneacetic acid), mg	ИУК (индолилуксусная кислота), мг/ IAA (indole-3-acetic acid), mg	2,4-Д (дихлорфеноксиуксусная кислота), мг / 2,4-D (2,4-dichlorophenoxyacetic acid), mg
1	Контроль/ Control	МС1 (К-)	-	-	-	-
2	Микроклональное размножение/ Microclonal propagation	МС2	0,5	-	-	-
3		МС3	0,25	0,1	-	-
4		МС4	0,25	-	0,1	-
5	Индукция корнеобразования/ Induction of root formation	МС5	-	0,5	-	-
6		МС6	-	1	-	-
7		МС7	-	-	0,5	-
8		МС8	-	-	1	-
9		МС9	-	0,5	0,5	-
10		МС10	-	1	1	-
11	Индукция каллусогенеза и поддержание каллусной культуры/ Induction of callusogenesis and maintenance of callus culture	МС11	1	1	-	1
12		МС12	6	-	-	-
13		МС13	-	0,5	0,5	-
14		МС14	-	1	1	-
15		МС15	-	-	-	1

Заключительная стадия культивирования образцов львиного зева состояла в выведении растений из асептических условий, которое проводили в два этапа:

1. Первоначально извлеченные из культуральных сосудов растения нарезали на черенки с почками;
2. Черенки высаживали на различные субстраты.

Варианты состава субстратов приведены в таблице 4.

Статистическую достоверность различий между выборками, отличия эффективности сред в рамках одного сорта подтверждали при помощи программного обеспечения PAST3, применяя критерий Манна-Уитни (Mann, Whitney, 1947), при  $p < 0,05$ .

**Таблица 4. Субстраты для адаптации растений к условиям внешней среды**

**Table 4. Substrates for plant adaptation to environmental conditions**

№/ No.	Вариант субстрата/ Substrate variant	Субстрат, соотношение в долях/ Substrate, ratio in parts			
		Торф / Peat	Песок / Sand	Перлит / Perlite	Вермикулит / Vermiculite
1	А	1	-	-	-
2	Б	0,5	-	-	0,5
3	В	-	-	0,5	0,5
4	Г	0,7	0,3	-	-
5	Д	0,7	-	-	0,3

## Результаты и обсуждение

**Оценка эффективности стерилизации.** Простерилизованные черенки сортов *A. majus*, (см. табл. 1), были в двадцатикратной повторности введены в автоклавиру-

ванные культуральные сосуды (пробирки) на питательную среду МС2. Показана высокая выживаемость вводимых эксплантов. У единичных образцов имел место некроз, часть культуральных сосудов оказалась заражена бактериальной инфекцией (табл. 5). Прорастания плесневых грибов не отмечено.

**Таблица 5. Оценка эффективности стерилизации растительного материала**

**Table 5. Assessment of the effectiveness of plant material sterilization**

№/ No.	Сорт/ Cultivar	Жизнеспособных эксплантов, шт./ Viable explants, pcs.	Некроз/ Necrosis	Контаминация/ Contamination	Эффективность, %/ Efficiency, %
1	‘Черный Принц’	16	3	1	80
2	‘Вайс’	18	2	0	90
3	‘Низкий Розовый’	19	0	1	95
4	‘Низкий Оранжевый’	17	1	2	85
5	‘Низкий желтый’	17	2	1	85
6	‘Навайо’	14	2	4	70
7	‘Вильдрозе’	20	0	0	100
8	‘Розенскиммер’	20	0	0	100

Приведенные данные позволяют судить о том, что подобранная методика стерилизации, включая состав стерилизующих агентов и время экспозиции, позволяет эффективно вводить растения *A. majus* в асептические условия.

Растущие побеги со временем разделяли на экспланты по одному узлу в каждом (табл. 6), удаляли листовые пла-

стинки и повторно вводили в культуральные сосуды на идентичную среду, постепенно нарабатывая растительный материал для поддержания дублетной *in vitro* коллекции указанных сортов и постановки экспериментов, направленных на оптимизацию процесса культивирования львиного зева в асептических условиях.

**Таблица 6. Количество узлов, образовавшихся за месяц на одном побеге *Antirrhinum majus* L.**

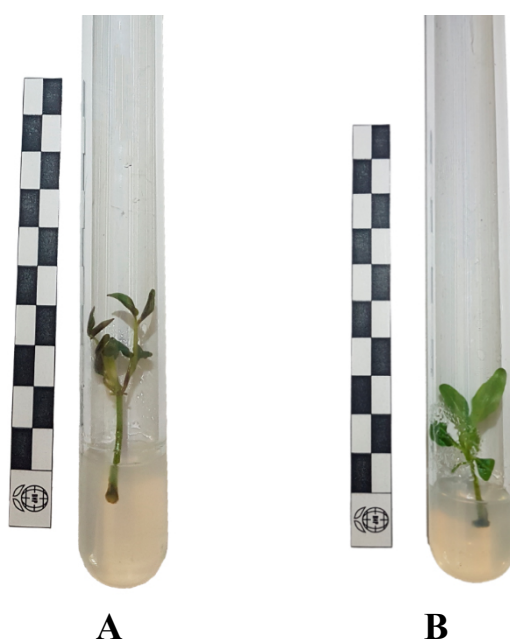
**Table 6. Number of nodes formed per month on one shoot of *A. majus***

№	Сорт/ Cultivar	Питательная среда/ Culture medium			
		МС1	МС2	МС3	МС4
1	‘Черный принц’	3,00±0,39	3,00±0,30	2,40±0,34 МС1*, МС2, МС4	3,00±0,30
2	‘Вайс’	3,20±0,29	3,30±0,26 МС4	3,70±0,37	4,30±0,26 МС1, МС2
3	‘Низкий желтый’	2,30±0,30	4,20±0,33	2,90±0,46 МС1	4,10±0,10 МС1
4	‘Низкий оранжевый’	3,00±0,33	2,60±0,34	2,80±0,29	2,80±0,25
5	‘Низкий розовый’	3,00±0,45	3,50±0,22	3,00±0,15	3,00±0,30
6	‘Навайо’	2,70±0,26	3,20±0,29	3,80±0,36 МС1	3,10±0,23
7	‘Вильдрозе’	5,30±0,58	4,70±0,52	5,50±0,58 МС4	3,80±0,25 МС1, МС3
8	‘Розенскиммер’	6,00±0,98	5,70±0,67	8,90±0,59 МС1, МС2	8,10±0,77 МС1, МС2
9	Среднее значение	3,56±0,47	3,77±0,36	4,12±0,76	4,02±0,62

\* – Значимые отличия от прочих сред для конкретного сорта указаны соответствующими номерами, например, в графе МС3 указаны среды МС1, МС2, МС4, на которых получены статистически отличающиеся результаты/ Significant differences from other environments for a specific cultivar are indicated by the corresponding numbers, for example, in the column МС3, environments МС1, МС2, МС4 are indicated, on which statistically different results were obtained

**Подбор питательных сред для повышения эффективности микроклонального размножения.** Оценка эффективности микроклонального размножения проводилась через месяц после введения черенков на указанные в таблице 3 питательные среды (рис. 1А, В). Показано, что внесение в питательную среду 0,1 мг/л ИУК и 0,1 мг/л НУК не оказывает значимого влияния на интенсивность образования микропобегов, однако повышение эффек-

тивности микроклонального размножения при использовании ИУК наблюдалось у отдельных сортов – ‘Вайс’, ‘Вильдрозе’, ‘Розенскиммер’, ‘Низкий желтый’. Часть сортов, ‘Черный Принц’, ‘Навайо’, ‘Розенскиммер’, ‘Низкий желтый’, также демонстрировала небольшое, но статистически значимое повышение эффективности микроклонального размножения на среде МС3, с добавлением 0,1 мг/л НУК.



**Рис 1. Растения *Antirrhinum majus* L сортов ‘Вильдрозе’ (А) и ‘Вайс’ (В), культивируемые в условиях *in vitro*, среда МС1**

**Fig 1. Plants of snapdragon ‘Wildrose’ (A) and ‘Weiss’ (B) cultivated *in vitro* on MS1 medium**

Значительное превышение среднего количества узлов для вариантов на каждой среде показано для сортов ‘Вильдрозе’ и ‘Розенскиммер’, при этом показатели сорта ‘Розенскиммер’ превышали средние более, чем в два раза: 8,9 против 4,12 узлов на среде МС3 и 8,1 против 4,02 на среде МС4. Исследования в рамках данной темы демонстрируют схожие результаты: значимо интенсивность микроклонального размножения отличается именно от сорта к сорту (Sangwan, Narada, 1975; Newbury, 1986). В исследовании, проведенном в Бирмингемском университете (Великобритания), наивысшая зарегистрированная эффективность микроклонального размножения на среде МС+1 мг/л БАП (Newbury, 1986), сопоставима с таковой для контроля МС1 в нашем исследовании, различия есть, но они статистически незначимы.

**Индукция корнеобразования.** Наилучшие результаты по количеству корней первого порядка у исследуемых сортов получены на средах МС7 и МС8, содержащих 0,5 мг/л ИУК и 1 мг/л НУК, соответственно. На МС7 среднее число корней первого порядка достигало 2,43, на МС8 – 3,23. Результаты, значительно превышающие средние для всех сортов, отмечены у сорта ‘Вильдрозе’, 7,26 и 8,93 корня соответственно (рис. 2А, В).

Прочие результаты, а также результаты статистической обработки, приведены в таблице 7. Активизация корнеобразования при внесении идентичных регуляторов роста отмечена и другими исследователями, также показано активное образование корней, связанное с добавлением к среде гетероауксина (ИМК) (Newbury, 1986; Poirier-Hamon et al., 1974).



**Рис. 2. Растительный материал *Antirrhinum majus* L., культивируемый в условиях *in vitro***  
 А. Корневая система сорта 'Вильдрозе', среда MS7 В. Корневая система сорта 'Розенскиммер', среда MS8

**Fig. 2. *A. majus* plant material cultivated *in vitro***

A. Root system of snapdragon 'Wildrose' on MS7 medium. B. Root system of snapdragon 'Rosenskimmer' on MS8 medium.

**Таблица 7. Количество корней первого порядка у сортов *Antirrhinum majus* L. на среде MS с различными сочетаниями фитогормонов**

**Table 7. The number of first-order roots in *A. majus* cultivars on MS medium with different combinations of phytohormones**

Сорт/ Cultivar	Питательная среда / Culture medium						
	MC1	MC5	MC6	MC7	MC8	MC9	MC10
'Черный принц'	0	0,7±0,52	0,06±0,06	0,67±0,37	0	0	0,25±0,18
'Вайс'	2,64±1,04 MC5*, MC6, MC9, MC10	0,41±0,42 MC7, MC8	0,15±0,10	4,2±0,71 MC1, MC5, MC6, MC9, MC10	2,28±0,44 MC5, MC6, MC9, MC10	0,93±0,53 MC1, MC7, MC8	0,71±0,51 MC1, MC7, MC8
'Низкий желтый'	0	2±1,26	0,16±0,11	1,7±0,93	0,63±0,54	2,1±0,85	0,3±0,21
'Низкий оранжевый'	0	0,67±0,47	1,17±0,65	0,90±0,41	2,70±0,42	0	1,80±1,21
'Низкий розовый'	2,80±1,15	1,29±0,41	0,64±0,27 MC1, MC6, MC7, MC10	1,62±0,42	2,08±0,42	2,43±1,78	4,86±2,20
'Навайо'	2,25±0,84	2,4±0,63	2±0,47	1,08±0,56	3,16±0,95	0 MC5, MC6, MC8	0,08±0,08 MC5, MC6, MC8
'Вильдрозе'	2,73±0,81 MC5, MC6, MC8, MC9, MC10	0,06±0,07	0,46±0,47	7,26±0,57 MC1, MC5, MC6, MC8, MC9, MC10	8,93±0,90 MC1, MC5, MC6, MC7, MC9, MC10	3,46±1,81	0,28±0,29
'Розен скиммер'	2,26±0,80	3,46±0,98	2,13±0,72	2±0,52	6,16±1,98 MC1, MC6	0 MC5, MC6, MC8	0,26±0,15 MC5, MC6, MC8
Среднее значение/ Average value	1,59±0,47	1,47±0,41	0,96±0,29	2,43±0,79	3,23±1,04	1,12±0,49	1,07±0,57

\* Значимые отличия от прочих сред для конкретного сорта указаны соответствующими номерами, как в таблице 6/  
 Significant differences from other environments for a specific cultivar are indicated by the corresponding numbers, as in Table 6

**Индукция каллусогенеза и поддержание каллусной культуры.** Предварительно отобранные для постановки эксперимента по инициации каллусообразования листовые и стеблевые экспланты львиного зева сортов были высажены на обозначенные питательные среды в тридцатикратной повторности. Подавляющее большинство листовых эксплантов показали образование первичного каллуса, но вскоре после этого подверглись некротиче-

ским изменениям на всех средах. Стеблевые экспланты продемонстрировали лучшую выживаемость. Наибольшая эффективность каллусообразования наблюдалась на среде МС11, содержащей по 1 мг на литр БАП, 2,4-Д, НУК. Ни один из стеблевых эксплантов не подвергся некрозу на указанной среде. Полные данные приведены в таблице 8.

**Таблица 8. Развитие каллуса *Antirrhinum majus* L. на различных питательных средах**  
**Table 8. Callus development in *A. majus* on various culture media**

№	Сорт, тип экспланта/ Cultivar, explant type	Вариант питательной среды/ Culture medium variant	Число эксплантов/ Number of explants	Количество жизнеспособных каллусов, шт./ Number of viable calli, pcs.	Процент жизнеспособных каллусов, %/ Percentage of viable calli, %	Количество регенерантов, шт./ Number of regenerants, pcs.	Среднее количество регенерантов на каллус, шт./ Average number of regenerants per callus, pcs.
1.	‘Вильдрозе’ листовые экспланты	МС1	30	2	6,67	-	-
		МС11	30	-	-	-	-
		МС12	30	-	-	-	-
		МС13	30	-	-	-	-
		МС14	30	-	-	-	-
		МС15	30	-	-	-	-
2.	‘Вильдрозе’ стеблевые экспланты	МС1	30	-	-	-	-
		МС11	30	30	100,00	-	-
		МС12	30	2	6,67	-	-
		МС13	30	25	83,33	2	0,08±0,02
		МС14	30	2	6,67	-	-
		МС15	30	9	30,00	7	0,78±0,07
3.	‘Розенскимммер’ листовые экспланты	МС1	30	-	-	-	-
		МС11	30	1	3,33	-	-
		МС12	30	4	13,33	-	-
		МС13	30	-	-	-	-
		МС14	30	-	-	-	-
		МС15	30	-	-	-	-
4.	‘Розенскимммер’ стеблевые экспланты	МС1	30	-	-	-	-
		МС11	30	30	100,00	-	-
		МС12	30	1	3,33	-	-
		МС13	30	23	76,67	3	0,13±0,04
		МС14	30	19	63,33	-	-
		МС15	30	15	50,00	5	0,33±0,06

На средах МС13 и МС15 наблюдалось корнеобразование из каллуса, что может служить аргументом для использования этих сред для получения растений-реге-

нерантов (Рис. 3А). Показано, что приблизительно через четыре недели развитый каллус на среде МС11 начинает постепенно погибать, приобретая коричневый отте-

нок. Продлить срок жизни каллуса удалось при помощи добавления к указанной среде тидиазурона (ТДЗ) в концентрации 1 мг/л. С таким сочетанием регуляторов роста развивался более светлый и обводненный каллус, чем на МС11 без внесения ТДЗ, однако срок жизни каллуса удалось увеличить двукратно – до восьми недель (Рис. 3В).

Данные из литературы, посвященной каллусогенезу, подтверждают положительное влияние НУК, ИУК, БАП, 2,4-Д на каллусообразование, однако для львиного зева не приводятся их сочетания, использованные в нашем исследовании (Hesami, Daneshvar, 2016; Sangwan, Harada, 1975; Poirier-Hamon et al., 1974).



**Рис 3. Растительный материал *Antirrhinum majus* L., культивируемый в условиях *in vitro***

А. Каллусная ткань сорта ‘Розенскиммер’, среда МС13, ризогенез. В. Каллусная ткань сорта ‘Вильдрозе’ на среде МС15

**Fig 3. *A. majus* plant material cultivated *in vitro***

A. Callus tissue of snapdragon ‘Rosenskimmer’ on MS13 medium, rhizogenesis. B. Callus tissue of snapdragon ‘Wildrose’ on MS15 medium.

**Адаптация к условиям *ex vitro*.** Была проведена проверка адаптации растений сортов ‘Вайс’, ‘Вильдрозе’ и ‘Розенскиммер’ к условиям *ex vitro* (табл. 9) Указанные сорта показали наибольшую интенсивность корнеобразования и микроклонального размножения на питатель-

ных средах. Однако при культивировании микрорастений сорта ‘Розенскиммер’ вне пробирки у них наблюдалась низкая выживаемость и плохо формировались корни, что связано, вероятнее всего, с качеством растительного материала, переносимого на субстраты.

**Таблица 9. Выживаемость эксплантов, переносимых на субстраты в условиях климатических камер**

**Table 9. Survival rate of explants introduced onto substrates under climatic chamber conditions**

№	Сорт/ Cultivar	Выживших эксплантов из 15/ Explants survived out of 15				
		А	Б	В	Г	Д
1	‘Вайс’	13	14	14	12	7
2	‘Вильдрозе’	14	9	11	7	7
3	‘Розенскиммер’	12	10	12	12	13

Наибольшая эффективность корнеобразования показана на субстрате В, содержащем перлит и вермикулит в равных пропорциях: 3,82 корня для сорта ‘Вайс’ и 5,07 для сорта ‘Вильдрозе’, а также на торфе с добавлением вермикулита, при этом для сорта ‘Вайс’ наиболее удачной оказалась пропорция 1:1 (субстрат Б), для сорта ‘Вильдрозе’ – сочетание 30% вермикулита и 70% торфа (субстрат Г). Данные по корнеобразованию *ex vitro* представлены в таблице 10. Важно отметить, что высокие показатели выживаемости на субстрате, содержащем перлит и вермикулит в равных пропорциях, приведены также в литературе (Newbury, 1986).

Укоренившиеся образцы были пересажены в индивидуальные сосуды с грунтом и доведены до цветения, что свидетельствует в пользу высокой жизнеспособности растений, выращенных в асептических условиях.

### Заключение

Таким образом, отработана методика микроклонального размножения образцов *Antirrhinum majus* L., от введения в асептические условия *in vitro* до адаптации к внешней среде. Показано, что внесение 0,1 мг/л ИУК или НУК в сочетании с 0,25 мг/л 6-БАП в состав пита-

тельной среды дает незначительное повышение интенсивности образования новых узлов на растении, а внесение 1 мг/л ИУК без добавления цитокининов вдвое повышает эффективность корнеобразования у растений *A. majus*, культивируемых *in vitro*. Подобрана оптимальная среда для развития и поддержания жизнеспособного каллуса: МС с добавлением БАП, нафталинуксуной и 2,4-Д в соотношении 1:1:1 и концентрации 1 мг/л. Определен оптимальный субстрат для адаптации выведенных из *in vitro* растений к нестерильным условиям.

Наличие постоянно культивируемой дублетной *in vitro* коллекции обеспечивает постоянный доступ исследователя к высококачественному биологическому материалу, который в дальнейшем может быть вовлечен в молекулярно-генетические исследования. Описанные выше методики – один из необходимых этапов подготовки к агробактериальной трансформации или редактированию генома методом CRISPR/Cas. Дальнейшая работа предполагает подбор сред для регулярного, предсказуемого органогенеза и поддержания молодых растений регенерантов, а затем переход к упомянутым выше методикам редактирования и получение растений с требуемыми характеристиками.

## References/Литература

- Bradley D., Carpenter R., Copsey L., Vincent C., Rothstein S., Coen E. Control of inflorescence architecture in *Antirrhinum*. *Nature*. 1996;379(6568):791-797. DOI: 10.1038/379791a0
- Gavrilenko T.A., Dunaeva S.E., Tikhonova O.A., Chukhina I.G. New approaches to registration and preservation of domestic varieties of berry crops in the VIR genebank using the example of common raspberry and black currant. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(4):24-38. [in Russian] (Гавриленко Т.А., Дунаева С.Е., Тихонова О.А., Чухина И.Г. Новые подходы к регистрации и сохранению отечественных сортов ягодных культур в генобанке ВИР на примере малины обыкновенной и смородины черной. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(4):24-38). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-o5
- Halperin W. Single cells, coconut milk, and embryogenesis *in vitro*. *Science*. 1966;153(3741):1287-1288. DOI: 10.1126/science.153.3741.1287.b
- Hesami M., Daneshvar M.H. Regeneration from callus which is produced from cotyledon of *Antirrhinum majus*. *Indo-American Journal of Agricultural and Veterinary Sciences*. 2016;1(4):20-24. DOI: 10.1007/ijlbrp\_56e24b27b7a3f
- Kolomiyets T.M., Malyarovskaya V.I., Samarina L.S., Rakhmangulov R.S. Acclimatization of *Campanula sclerophylla* Kolak. propagated *in vitro* to non sterile growth conditions. *Subtropical and ornamental horticulture*. 2016;58:95-99. [in Russian] (Коломиец Т.М., Мальяровская В.И., Самарина Л.С., Рахмангулов Р.С. Адаптация растений *Campanula sclerophylla* Kolak. *in vitro* к нестерильным условиям среды. *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2016;(58):95-99).
- Mann H.B., Whitney D.R. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The Annals of Mathematical Statistics*. 1947;18(1):50-60. DOI: 10.1214/aoms/1177730491
- Martin C., Prescott A., Mackay S., Bartlett J., Vrijlandt E. Control of anthocyanin biosynthesis in flowers of *Antirrhinum majus*. *Plant Journal*. 1991;1(1):37-49. DOI: 10.1111/j.1365-313x.1991.00037.x
- Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue culture. *Physiologia Plantarum*. 1962;15(3):473-497. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x
- Newbury H.J. Multiplication of *Antirrhinum majus* L. by shoot-tip culture. *Plant Cell*. 1986;7(1):39-42. DOI: 10.1007/bf00043919
- Poirier-Hamon S., Rao P.S., Harada H. Culture of mesophyll protoplasts and stem segments of *Antirrhinum majus* (snapdragon): growth and organization of embryoids. *Journal of Experimental Botany*. 1974;25(4):752-760. DOI: 10.1093/jxb/25.4.752
- Rakhmangulov R.S. Application of the CRISPR/Cas system for gene editing in ornamental crops. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(3):33-41. [in Russian] (Рахмангулов Р.С. Применение системы CRISPR/Cas для редактирования генов декоративных культур. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(3):33-41). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-3-o1
- Rakhmangulov R.S., Barabanov I.V., Erastenkova M.V., Ivanov A.A., Kovalenko T.V., Mezhdina K.M., Petrosyan I.A., Kharchenko A.A., Shaimardanov D.YU., Shaimardanova E. Kh., Anisimova I.N., Tikhonova N.G., Ukhatova YU.V., Khlestkina E.K. The new directions in genetics, breeding and biotechnology of ornamental and berry crops in the N.I. Vavilov institute of plant genetic resources (VIR). *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(4):65-78. [in Russian] (Рахмангулов Р.С., Барабанов И.В., Ерастенкова М.В., Иванов А.А., Коваленко Т.М., Межина К.М., Петросян И.А., Харченко А.А., Шаймарданов Д.Ю., Шаймарданова Э.Х., Анисимова И.Н., Тихонова Н.Г., Ухатова Ю.В., Хлесткина Е.К. Новые направления в генетике, селекции, биотехнологии декоративных и ягодных культур в ВИР им. Н.И. Вавилова. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(4):65-78). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-o3
- Rakhmangulov R.S., Tikhonova N.G. Breeding of ornamental plants in Russia. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2021;4(4):40-54. [in Russian] (Рахмангулов Р.С., Тихонова Н.Г. Селекция декоративных растений в России. *Биотехнология и селекция растений*. 2021;4(4):40-54). DOI: 10.30901/2658-6266-2021-4-o4
- Reinert J. Über die Kontrolle der Morphogenese und die Induktion von Adventivembryonen an Gewebekulturen aus Karotten. *Planta*. 1959;53(4):318-333. DOI: 10.1007/bf01881795 [in German]
- Ryndin A.V., Mokhno V.S. Creating new genotypes in Gerbera. *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences = Vestnik Rossiyskoy Akademii Sel'skokhozyaystvennykh Nauk*. 2012;(5):24-26. [in Russian] (Рындин А.В., Мохно В.С. Создание новых генотипов герберы. *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2012;(5):24-26).
- Samarina L., Malyukova L., Wang S., Bobrovskikh A., Doroshkov A., Shkhalakhova R., Manakhova K., Koninskaya N., Matskiv A., Ryndin A., Khlestkina E., Orlov Yu. *In vitro* vs. *in vivo* transcriptomic approach revealed core pathways of nitrogen deficiency response in tea plant (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze). *International Journal of Molecular Sciences*. 2024;25:117-126. DOI: 10.3390/ijms252111726
- Sangwan R.S., Harada H. Chemical regulation of callus growth, organogenesis, plant regeneration, and somatic embryogenesis in *Antirrhinum majus* tissue and cell cultures. *Journal of Experimental Botany*. 1975;26:868-881. DOI: 10.1093/jxb/26.6.868
- Schwarz-Sommer Z., Davies B., Hudson A. An everlasting pioneer: the story of *Antirrhinum* research. *Nature Reviews Genetics*. 2003;4:655-664. DOI: 10.1038/nrg1127
- Schwinn K., Venail J., Shang Y., Mackay S., Alm V., Butelli E., Oyama R., Bailey P., Davies K., Martin C. A small family of MYB-regulatory genes controls floral pigmentation intensity and patterning in the genus *Antirrhinum*. *The Plant Cell*. 2006;18(4):831-851. DOI: 10.1105/tpc.105.039255
- Slepchenko N.A., Paschenko O.I. Composition and condition of perennial herbaceous flower crops collection of FRC SSC of RAS. *Subtropical and ornamental horticulture*. 2021;76:66-80. [in Russian] (Слепченко Н.А., Пашенко О.И. Состав и состояние коллекции многолетних травянистых цветочных культур ФИЦ СЦ РАН. *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2021;(76):66-80). DOI: 10.31360/2225-3068-2021-76-66-80
- Street H.E. Growth, differentiation and organogenesis in plant tissue and organ cultures. In: E.N. Willmer (ed.). *Cell and Tissue in Culture. Methods, Biology and Physiology*. London, New York: Academic press; 1966. Vol. 3, ch. 10. p.631-690.
- Torrey J.G. The initiation, of organized development in plants. In: M. Abercrombie, Jean Brachet (eds). *Advances in Morphogenesis*.

### ***Информация об авторах***

**Иван Владимирович Барабанов**, младший научный сотрудник, лаборатория генетики, селекции, биотехнологии декоративных и ягодных культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, i.barabanov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7793-9823>

**Марина Васильевна Васильева**, ведущий специалист, отдел генетических ресурсов плодовых культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, vasilieva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8687-1592>

**Серафима Валерьевна Жидяева**, младший научный сотрудник, Научный центр генетики и наук о жизни, Научно-технологический университет «Сириус», 354340 Россия, Краснодарский край, Федеральная территория «Сириус», Олимпийский пр., 1, zhidiyeva.sv@talantiuspeh.ru, <https://orcid.org/0009-0000-2982-0115>

**Руслан Султанович Рахмангулов**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, заведующий, лаборатория генетики, селекции, биотехнологии декоративных и ягодных культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, r.rakhmangulov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1200-3113>

### ***Information about the authors***

**Ivan V. Barabanov**, Junior Researcher, Laboratory of Genetics, Breeding, Biotechnology of Ornamental and Berry Crops, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, i.barabanov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7793-9823>

**Marina V. Vasilyeva**, Leading Specialist, Department of Fruit Crop Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, vasilieva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8687-1592>

**Serafima V. Zhidiyeva**, Junior Researcher, Research Center for Genetics and Life Sciences, Sirius University of Science and Technology, 1, Olympic Avenue, Sirius Federal Territory, Krasnodar Region, 354340 Russia, zhidiyeva.sv@talantiuspeh.ru, <https://orcid.org/0009-0000-2982-0115>

**Ruslan S. Rakhmangulov**, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Head, Laboratory of Genetics, Breeding, Biotechnology of Ornamental and Berry Crops, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, r.rakhmangulov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1200-3113>

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interests:** the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 21.10.2025; одобрена после рецензирования 17.12.2025; принята к публикации 24.12.2025.

The article was submitted on 21.10.2025; approved after reviewing on 17.12.2025; accepted for publication on 24.12.2025.