

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-6-41-48>
УДК: 633.18:581.192.7:573.6

Е.Г. Савенко*, В.А. Глазырина,
Л.А. Шундрин, Ж.М. Мухина, Л.В. Есаулова

Федеральное государственное
бюджетное научное учреждение «ФНЦ риса»
350921, Россия, г. Краснодар, пос. Белозерный, 3

*Автор для переписки: avena5@rambler.ru

Финансирование. Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, грант № 075-15-2025-574.

Вклад авторов: Савенко Е.Г., Глазырина В.А., Шундрин Л.А., Мухина Ж.М., Есаулова Л.В.: концептуализация, методология, проведение исследования, верификация данных, формальный анализ, подготовка материалов, администрирование данных, создание рукописи и ее редактирование.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Савенко Е.Г., Глазырина В.А., Шундрин Л.А., Мухина Ж.М., Есаулова Л.В. Влияние генотипа и регуляторов роста на эффективность индукции каллусогенеза и регенерации в культуре пыльников риса *in vitro*. *Овощи России*. 2025;(6):41-48. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-6-41-48>

Поступила в редакцию: 01.10.2025

Принята к печати: 18.11.2025

Опубликована: 18.12.2025

Elena G. Savenko*,
Valentina A. Glazyrina,
Ludmila A. Shundrina,
Zhanna M. Mukhina,
Lyubov V. Esaulova

Federal Scientific Rice Centre
3, Belozerny village, Krasnodar,
Russian Federation, 350921

*Corresponding Author: avena5@rambler.ru

Funding. The article was prepared with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, grant No. 075-15-2025-574.

Authors' Contribution: Savenko E.G., Glazyrina V.A., Shundrina L.A., Mukhina Zh.M., Esaulova L.V.: conceptualization, investigation, methodology, validation, formal analysis, writing – review & editing.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

For citation: Savenko E.G., Glazyrina V.A., Shundrina L.A., Mukhina Zh.M., Esaulova L.V. Effect of genotype and growth regulators on the effectiveness of callusogenesis and regeneration in anther culture of rice *in vitro*. *Vegetable crops of Russia*. 2025;(6):41-48. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-6-41-48>

Received: 22.10.2025

Accepted for publication: 18.11.2025

Published: 18.12.2025

Влияние генотипа и регуляторов роста на эффективность индукции каллусогенеза и регенерации в культуре пыльников риса *in vitro*

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Биотехнологический метод культуры пыльников позволяет за короткое время получать чистые линии и тем самым сокращать селекционный период. Реакция гибридов риса *Oryza sativa* L. на культуру пыльников генетически детерминирована и различается на разных этапах культивирования *in vitro*. Регуляторы роста ауксины и цитокинины являются факторами, индуцирующими соматический эмбриогенез. В связи с этим, наряду с подбором отзывчивых на культуру *in vitro* генотипов в индукционных средах необходимо использовать регуляторы роста растений, которые повышают индукцию эмбриогенеза и регенерацию растений при культивировании пыльников риса.

Цель исследования. Изучение влияния генотипа, регуляторов роста растений и дополнительного стимулятора нитрата серебра на индукцию каллусогенеза, эмбриогенеза и регенерацию зеленых растений в культуре пыльников *in vitro* гибридов риса и оптимизация их концентраций применительно к изучаемым генотипам.

Материал и методика. Исследования проводили в лаборатории биотехнологии и молекулярной биологии ФГБНУ «ФНЦ риса» по общепринятой методике *in vitro* Бутенко Р.Г. (1990). Материалом для исследования послужили гибриды риса F_{1.3} поколений.

Результаты исследований. Выявлено положительное влияние регуляторов роста растений 6-бензиламинопурина, α-нафтилуксусной кислоты, абсцизовой кислоты и дополнительного стимулятора нитрата серебра в индукции каллусной ткани и последующей регенерации для гибридов риса F_{1.3} поколений. Показано, что регуляторы роста всегда следует рассматривать во взаимосвязи с генотипом и в диапазоне концентраций 6-БАП – 2,0 и 4,0 мг/л; α-НУК – 1,0-2,0 мг/л; АБК – 1,0 и 2,0 мг/л и AgNO₃ – 2,0 и 4,0 мг/л.

Заключение. Для ускоренного создания гомозиготных селекционных ресурсов риса посредством гаметных технологий подобраны эффективные концентрации ауксинов, цитокининов и дополнительного стимулятора роста нитрата серебра. У исследуемых образцов по морфологическим признакам выделено 4 типа каллусных тканей. Выделены генотипы F₃ Вита/Южная ночь, F₃ Славянец/Австрал, F₃ Вита/Снежинка как наиболее отзывчивые к культуре пыльников *in vitro* с формированием эмбриогенных или морфогенных тканей (каллусов), клетки которых обладают способностью к вторичной дифференцировке с возникновением организованных структур *de novo*, как следствие, с наибольшей степенью регенерации при оптимальных концентрациях используемых регуляторов роста и стимулирующих веществ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

рис, *Oryza sativa* L., культура пыльников *in vitro*, фитогормоны, каллусогенез, регенерация

Effect of genotype and growth regulators on the effectiveness of callusogenesis and regeneration in anther culture of rice *in vitro*

ABSTRACT

Relevance. The biotechnological method of the anther culture *in vitro* allows to obtain pure lines in a short time and thereby to reduce the selection period. The response of the rice hybrids *Oryza sativa* L. to the anther culture is genetically determined and differs at different stages of *in vitro* cultivation. The growth regulators auxins and cytokinins are the factors inducing somatic embryogenesis. In this regard, in addition to selecting genotypes that respond well to *in vitro* culture, it is necessary to use plant growth regulators that increase the induction of embryoidogenesis and plant regeneration during the cultivation of rice anthers.

The aim of the study. To study the effect of genotype, plant growth regulators and additional stimulator AgNO₃ on the induction of callusogenesis, embryoidogenesis and regeneration of green rice plants in the culture of anthers *in vitro* of rice hybrids and to optimize their concentrations in relation to the studied genotypes.

Methodology. The studies were carried out in the laboratory of biotechnology and molecular biology of the "FSC of rice" according to the generally accepted *in vitro* method of Butenko R.G. (1990). The study used F_{1.3} rice hybrids.

Conclusion. A statistically significant effect of the interaction between genotype, concentration, and type of plant hormones in the *in vitro* culture of rice anthers was revealed. It was found that the response of genotypes to successful shoot regeneration under *in vitro* conditions is determined by the combination and concentrations of exogenous and endogenous hormones, and differences in shoot regeneration among different genotypes under different hormone concentrations and additives may be related to the quality of the callus. Effective concentrations of auxins, cytokinins, and an additional growth stimulant were selected to accelerate the selection process.

KEYWORDS:

rice, *Oryza sativa* L., *in vitro* pollen culture, phytohormones, callusogenesis, and regeneration



Введение

Методы культивирования растительных тканей представляют собой перспективный и реальный подход к ускоренному выведению сортов у различных видов растений. Эффективная регенерация растений у риса, как и у других злаковых культур в большой степени зависит от генотипа, состава питательной среды, условий культивирования и регуляторов роста растений [1]. Ауксины и цитокинины, являются факторами, индуцирующими соматический эмбриогенез [2-5]. Чтобы повысить результативность культуры пыльников/микроспор, необходимо создавать максимально благоприятные условия для уменьшения физиологических ограничений [6]. Генотип, стадия развития микроспор и химические вещества оказывают влияние на эффективность эмбриогенеза, и как следствие, на регенерацию растений у зерновых культур [7]. В связи с этим, в индукционных средах необходимо использовать регуляторы роста растений, которые повышают индукцию эмбриогенеза в культуре пыльников риса, пшеницы и ячменя [8-10]. Однако даже для представителей одного вида растений необходим индивидуальный подбор вида и концентраций фитогормонов, т.к. точно установленные комбинации и параметры показателей экзогенных гормонов влияют на путь развития пыльцы и частоту индукции каллуса [11]. Так, в исследованиях Belay Anelay и соавторов (2024) среда MS с добавлением 2,0 мг/л 6-БАП и 0,5 мг/л α -НУК показала наибольшую эффективность регенерации побегов у каллусов местной сафлоры, тогда как у туркменского генотипа сафлоры отмечен низкий регенерационный потенциал и, как следствие, слабая эффективность побегообразования [12]. Некоторые неорганические соединения снижают или предотвращают накопление фенольных соединений и их токсическое воздействие в культуре *in vitro*. Так, например, использование нитрата серебра, снижает накопление фенолов, что положительно влияет на андрогенетические реакции. При культивировании каллусных тканей на питательных средах в условиях *in vitro* индукция регенерации побегов также снижается за счет негативного влияния газообразного растительного гормона этилена. Исследования Cristea и соавторов (2012) показали, что введением нитрата серебра можно регулировать выработку или интенсивность влияния этилена в условиях *in vitro*, что благоприятно сказывается на морфогенетических потенциях [13-15].

Целью данного исследования было изучение влияния генотипа, регуляторов роста растений и дополнительного стимулятора AgNO_3 на индукцию каллусогенеза, эмбриогенеза и регенерацию зелёных растений риса в культуре пыльников *in vitro* гибридов риса и оптимизация их концентраций применительно к изучаемым генотипам.

in vitro гибридов риса и оптимизация их концентраций применительно к изучаемым генотипам.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили гибриды риса F_{1-3} поколений, полученные от скрещивания контрастных по содержанию амилозы, форме и размеру зерновки, окраске перикарпа сортов подвидов japonica/japonica japonica/indica. Исследования проводили по общепринятой методике *in vitro* (Бутенко Р.Г., 1990) [16]. В полнокомпонентную агаризованную питательную среду Blaydes (1966) обогащенную 0,5 мг/л 2,4-Дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-Д) добавляли фитогормоны и дополнительный стимулятор роста в концентрациях: 6-бензиламинопурина (6-БАП) – 2,0; 4,0 и 6,0 мг/л; α -Нафталинуксусная кислота (α -НУК) – 1,0 и 2,0 мг/л; абсцизовая кислота (АБК) – 1,0 и 2,0 мг/л; нитрат серебра (AgNO_3) – 2,0; 4,0 и 6,0 мг/л. Контролем послужила среда Blaydes + 2,0 мг 2,4-Д. Морфогенные каллусы для регенерации пересаживали на среду Murashige and Scoogy (MS) (1962) дополненную 1,0 мг/л α -НУК и 5,0 мг/л кинетина. Достоверность влияния факторов оценивали с помощью двухфакторного дисперсионного анализа Microsoft Excel. Учет качества и количества каллусов велся по каждому образцу. Частоту образования каллуса определяли по формуле: $\text{ЧК \%} = (\text{Общее количество индуцированных каллусов} / \text{общее количество культивируемых пыльников}) \times 100\%$. На каждый вариант среды инокулировали по 300 пыльников в 3-х кратной повторности. Частота дифференциации (в процентах) определялась как количество зелёных проростков на 100 штук каллуса.

Результаты

Анализ результатов выявил благоприятное влияние 6-БАП на каллусогенез и регенерацию у изучаемых гибридов. Положительный эффект в индукции эмбриогенного каллуса и регенерации растений для гибридов достигнут при использовании концентраций 2,0 и 4,0 мг/л 6-БАП.

При анализе полученных данных по каллусогенезу при использовании 2,0 мг/л и 4,0 мг/л для изучаемых комбинаций статистических различий не выявлено. У гибрида F_3 Вита/Южная ночь для регенерации концентрация 2,0 мг/л 6-БАП была предпочтительнее. Достоверно низкие показатели индукции каллуса и регенерации для обеих комбинаций отмечены в контрольном варианте и при увеличении концентрации гормона до 6,0 мг/л (табл. 1).

Таблица 1. Индукция каллусообразования и регенерация в культуре пыльников риса *in vitro* при использовании 6-БАП
Table 1. Induction of callus formation and regeneration in rice anther culture *in vitro* using 6-BAP

Гибрид	6 - БАП, мг/л	Каллусогенез, %	Регенерация, %
F_2 Анита 22/Августин	0	20,5±2,33	0,5±0,32
	2,0	2,1±4,16*	3,2±0,41
	4,0	28,2±4,08*	1,9±0,69
	6,0	16,5±2,36	0,4±0,32
F_3 Вита/Южная ночь	0	17,2±3,11	3,0±1,78
	2,0	30,9±5,97**	11,9±2,35
	4,0	24,6±6,01**	4,9±1,99
	6,0	10,7±3,99	2,4±1,48

Примечание: * и ** - варианты не различаются между собой

При изучении влияния α -НУК на каллусогенез, эмбриогенез и регенерацию выявлено, что для эффективной стимуляции новообразований при работе с большинством генотипов риса рекомендуемая концентрация α -НУК 2,0 мг/л. Максимальные показатели каллусогенеза получены при этой концентрации для генотипов F₃ Южная ночь/ Виола (21,1%), F₃ Вита/Южная ночь (33,6%), F₃ Вита/Титан (21,4%). Образец F₂ Анита 22/Августин проявил высокую реакцию к андрогенезу при культивировании пыльников на средах, содержащих α -НУК в концентрации 1,0 мг/л и 2,0 мг/л (30,4% и 27,1% соответственно). Но на средах с содержанием α -НУК в концентрации 1,0 мг/л она была достоверно выше (НСР₀₅=1,20) (табл. 2).

Однако дисперсионный анализ выявил, что для большинства генотипов выход морфогенного каллуса с последующей

регенерацией растений был либо выше при применении 1,0 мг/л нафтилуксусной кислоты, либо не было существенной разницы от увеличения концентрации от 1,0 до 2,0 мг/л (НСР₀₅=0,80).

Более высокие концентрации гормона влияли на тип каллуса и, как следствие, на его качество (рис. 4). Исключение составил гибрид F₃ Южная ночь/Снежинка, каллусогенез и регенерация у которого повышались при применении 2,0 мг/л α -НУК – 15,1% и 5,9% соответственно (табл. 2).

На примере 9 гибридов F₁₋₃ риса показаны андрогенные реакции генотипов в зависимости от концентраций АБК. Максимальное количество пыльников, индуцирующих новообразования, наблюдалось при использовании АБК в концентрации 1,0 мг/л.

Таблица 2. Влияние α -НУК на каллусогенез и регенерацию гибридов риса в культуре пыльников *in vitro*
Table 2. Effect of α -NUC on callusogenesis and regeneration of rice hybrids in anther culture *in vitro*

Гибрид F ₁	α -НУК, мг/л	Каллусогенез, %	Регенерация, %
F ₂ Анита 22/Августин	0	20,1	1,4
	1,0	30,4	3,4
	2,0	27,1	2,7
F ₃ Южная ночь/Снежинка	0	4,8	1,7
	1,0	7,2	3,6
	2,0	15,1	5,9
F ₃ Южная ночь/ Вита	0	6,6	2,0
	1,0	9,2	2,6
	2,0	12,4	2,9
F ₃ Южная ночь/ Виола	0	15,0	1,5
	1,0	19,3	3,0
	2,0	21,1	2,7
F ₃ Вита/Южная ночь	0	20,1	6,9
	1,0	25,5	18,0
	2,0	33,6	14,9
F ₃ Вита/Снежинка	0	12,9	3,0
	1,0	16,4	5,1
	2,0	19,0	4,8
F ₃ Славянец/Австрал	0	6,1	2,0
	1,0	7,6	4,1
	2,0	16,2	4,2
F ₃ Вита/Титан	0	16,1	4,0
	1,0	19,9	4,9
	2,0	21,4	4,4
F ₃ Южная ночь/Австрал	0	8,1	2,6
	1,0	8,9	2,6
	2,0	9,9	3,1
НСР ₀₅		1,20	0,80

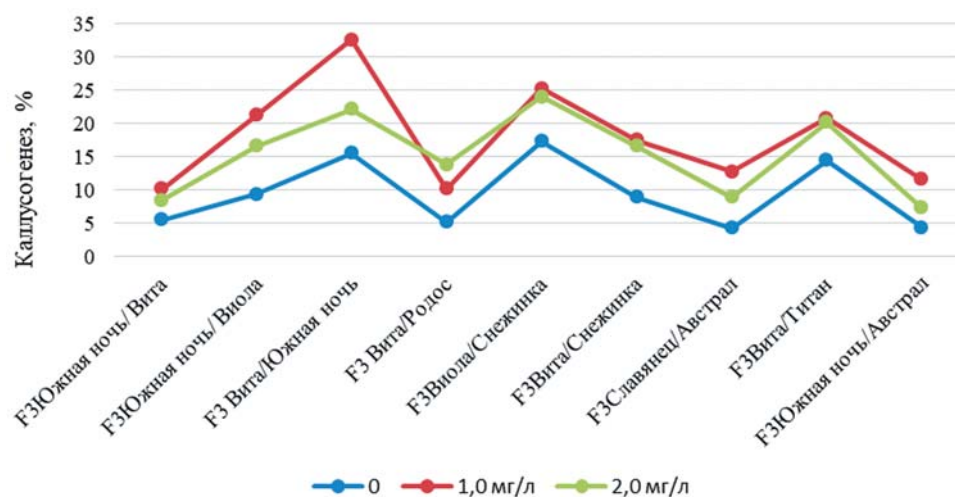


Рис. 1. Влияние различных концентраций АБК на каллусогенез в культуре пыльников гибридных комбинаций риса *in vitro*
 Fig. 1. Effect of different concentrations of ABA on callus formation in the anther culture of hybrid rice combinations *in vitro*

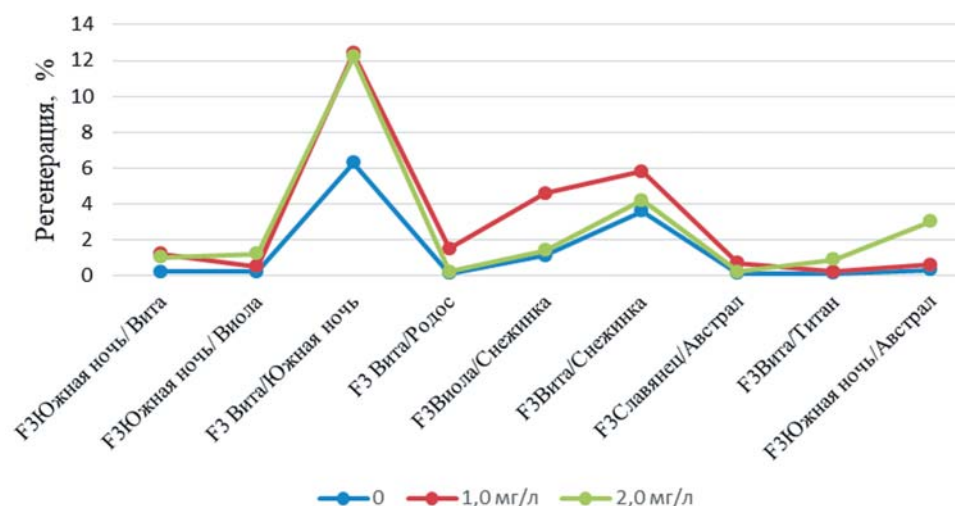


Рис. 2. Регенерация растений гибридных комбинаций риса в культуре пыльников *in vitro* под влиянием различных концентраций АБК
 Fig. 2. Regeneration of rice hybrid combinations in anther culture *in vitro* under the influence of various concentrations of ABA

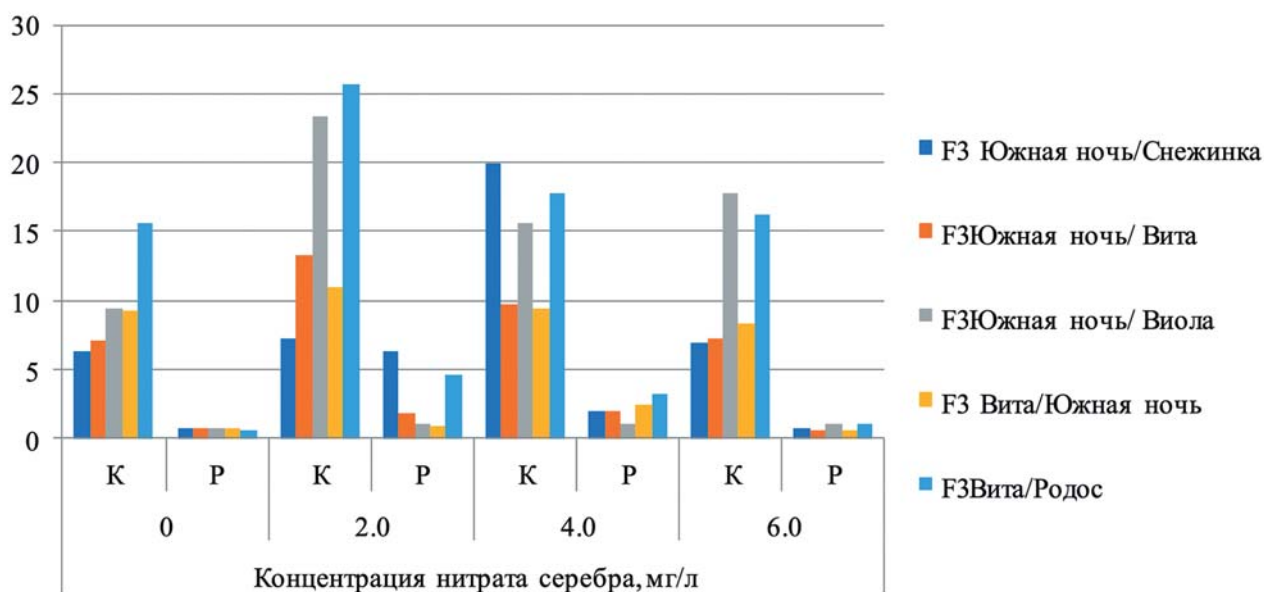


Рис. 3. Влияние нитрата серебра на каллусогенез и регенерацию гибридов риса в культуре пыльников *in vitro* Примечание: К - каллусогенез, $HCP_{05}=2,51$, Р - регенерация, $HCP_{05}=0,60$
 Fig. 3. Effect of silver nitrate on callusogenesis and regeneration of rice hybrids in anther culture *in vitro* Note: K - callusogenesis, $HCP_{05}=2.51$, R - regeneration, $HCP_{05}=0.60$

Разницы во влиянии на каллусогенез концентраций 1,0 и 2,0 мг/л не обнаружено у комбинации F₃ Вита/Титан (20,8 и 20,2% соответственно, НСР₀₅=1,73), а для комбинации F₃ Вита/Родос более эффективным было использование 2,0 мг/л (рис. 1).

Практически у всех генотипов при использовании в питательных средах абсцизовой кислоты в концентрации 1,0 мг/л как каллусообразующая, так и регенерирующая способности были выше. Для гибридов F₃ Южная ночь/Австрал – 3,0%, F₃ Южная ночь/Виола – 1,2%, F₃ Вита/Титан – 0,9% (НСР₀₅=0,15) использование АБК в концентрации 2,0 мг/л было более благоприятным для регенерации растений (рис. 2).

При анализе влияния нитрата серебра максимальные значения каллусогенеза в 5 образцах зафиксированы при концентрации 2,0 мг/л, эта же концентрация была оптимальной для процесса регенерации растений четырех изучаемых гибридов. Более высокая регенерация при 4,0 мг/л нитрата серебра отмечена только у гибрида F₃ Вита/Южная ночь (рис. 3).

Обсуждение

Получение гаплоидных растений в культуре изолированных пыльников у риса возможно только косвенным путем через каллусогенез. Далее в результате морфогенеза из клеток каллуса регенерируют растения. Андрогазные реакции в культуре *in vitro* в значительной степени зависят от генотипа, типа и концентрации экзогенных гормонов, которые влияют на определение пути развития микроспор, частоту индукции каллуса и регенерацию гаплоидных растений [17, 18]. Текущее исследование показало, что генотипы риса неодинаково реагировали на фитогормоны и их концентрации, что влекло за собой различия в частоте образования каллусов и регенерационной способности. Различия в способности к индукции каллуса и регенерации у разнообразных генотипов риса при разных концентрациях регуляторов роста позволяют предположить у них вероятно разный уровень эндогенных гормонов [19].

Синтетический аналог 6-аминопурина 6-БАП, вызывающий синтез РНК и белка, используется в технологиях *in vitro* при формировании каллусных культур и индукции процессов регенерации [21]. С помощью двухфакторного дисперсионного анализа выявлено достоверное взаимодействие и влияние генотипа и 6-БАП в составе питательной среды на эффективность андрогенеза двух гибридов риса F₂ Анита 22/Августин и F₃ Вита/Южная.

Показано, что в индукции новообразований и регенерации для изучаемых гибридов риса оптимальной концентрацией 6-БАП в питательных средах является 2,0 мг/л. У отдельных генотипов, вследствие различного содержания эндогенных гормонов, возможно использовать концентрации 2,0 и 4,0 мг/л 6-БАП. Значительное снижение индукции каллусогенеза влекло применение 6-БАП в концентрации 6,0 мг/л, а в концентрации 4,0 и 6,0 мг/л снижали эффективность регенерации растений в каллусной культуре *in vitro* (табл. 1). Это различие свидетельствует о том, что присутствие и уровень цитокинина в среде влияет на формирование побегов. С другой стороны, самые низкие значения всех показателей наблюдались в среде без обогащения 6-БАП.

Необходимость введения а-нафтилуксусной кислоты в среды культивирования подтверждена цитологическими

исследованиями, проведенными на разных видах сельскохозяйственных культур. Они показали, что α -НУК усиливает органообразовательные процессы в каллусах [22]. Дисперсионный анализ показал, что при увеличении концентрации α -НУК индукция каллусогенеза повышалась у всех изучаемых генотипов, при этом морфогенетический потенциал многих гибридов снижался в результате формирования неморфогенных и/или промежуточных типов каллуса. Это не позволило установить влияние концентраций этого гормона на регенерацию боль-



Рис. 4. Морфотипы каллуса в культуре пыльников риса *in vitro*
Fig. 4. Callus morphotypes in rice anther culture *in vitro*

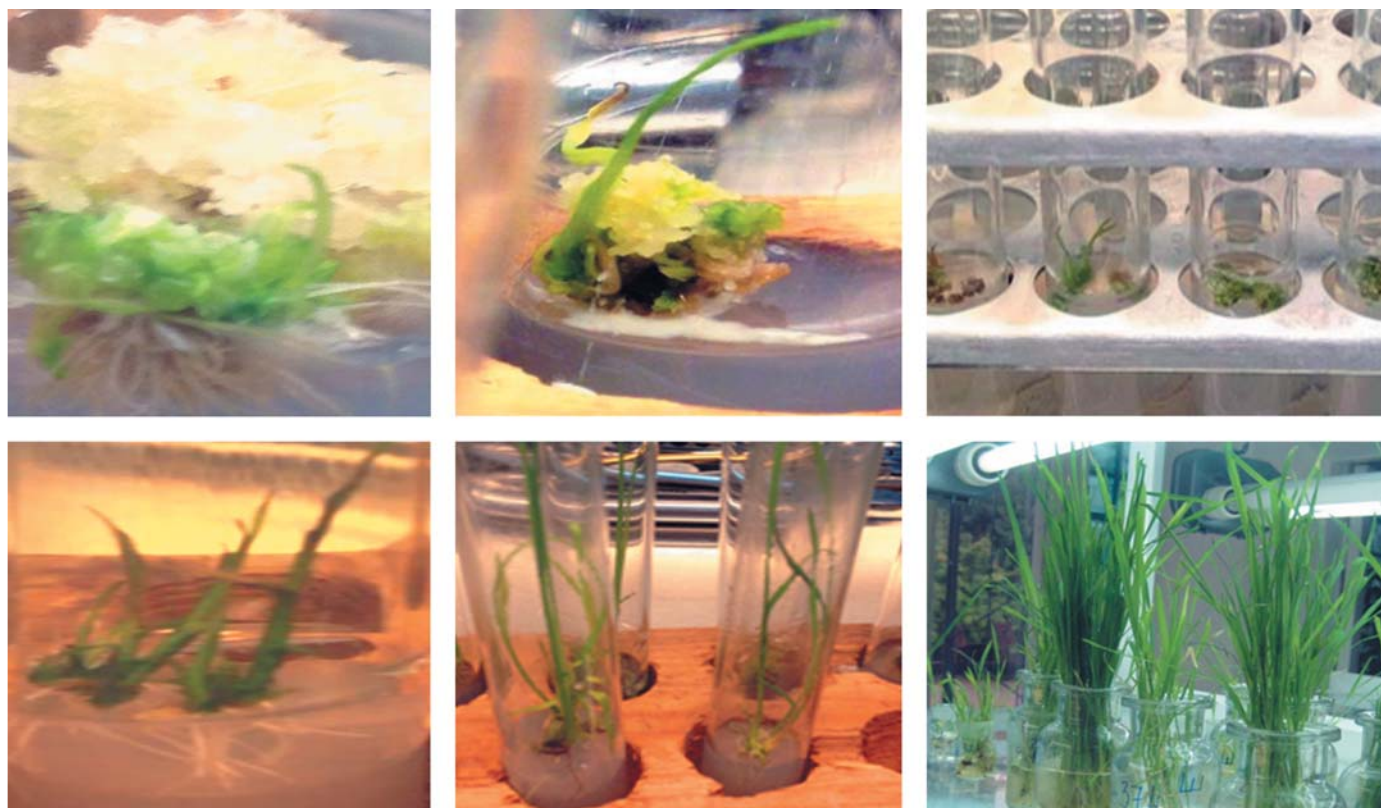


Рис. 5. Морфогенез в культуре пыльников *in vitro* риса с регенерацией побегов
Fig. 5. Morphogenesis in rice anther culture *in vitro* with shoot regeneration

шинства генотипов. Такие же результаты были получены ранее на других генотипах риса подвита *японика*. Таким образом, оптимальные концентрации α -НУК, также как другого гормона 6-БАП для каллусогенеза и регенерации отдельных образцов риса могут варьировать вследствие различного уровня эндогенных гормонов у генотипически отличающихся комбинаций.

У исследуемых образцов риса по морфологическим признакам выделено 4 типа каллусных тканей. Наиболее высокой органо/эмбриогенной способностью обладали плотные, белые, мелкозернистые каллусы белого или светло-желтого оттенка с узелковыми вкраплениями (нодулярный, узелковый каллус). Такие каллусные формирования состояли из округлых, мелких клеток с густой цитоплазмой и крупным ядром, характерных для меристемных клеток. Высокой регенерационной способностью обладали также округлые, белые, светло-желтые, средней плотности каллусы (морфогенные каллусы). Каллусы светло-желтых оттенков рыхловатые имели промежуточный характер и отличались низкой регенерационной способностью. Как неморфогенный охарактеризован каллус темно-коричневый, рыхлый, оводнённый с крупными бесформенными клетками разного размера (рис. 4).

Для переключения микроспор на спорофитный путь развития обычно используются различные стрессы (холод, голодание, осмотические условия) [23-24]. Под влиянием стресса уровень АБК повышается в тканях, окружающих микроспоры и непосредственно в микроспорах, в связи с чем, многие авторы высказывают предположения о причастности абсцизовой кислоты в индукции соматического эмбриогенеза, отмечая положительное влияние накопления кислоты на эффективность этого

процесса. Другие авторы сообщают, что гормон стресса, ингибитор деления клеток и ростовых процессов абсцизовая кислота в сочетании с цитокинами у одних видов растений действительно стимулирует соматический эмбриогенез, а у других этот процесс подавляет [25-27].

Результаты эксперимента показали, что у отдельных генотипов риса при правильно подобранной концентрации абсцизовая кислота способствовала формированию высоко морфогенного каллуса, снижению формирования в нем аномальных и развитию нормальных соматических зародышей с последующей регенерацией растений (см. рис.5). Кроме этого, на начальных этапах культивирования каллусов, АБК предотвращала образование ризогенных (корнеподобных) структур, которые способны выделять ауксины, подавляющие компетентность каллусных клеток к образованию побегов в условиях *in vitro*.

Добавление нитрата серебра в среду Блейдса в концентрации 2,0 мг/л стимулировало индукцию каллусов. Количество каллусогенных пыльников у разных образцов при концентрации 2,0 мг/л варьировало в пределах 8,0-26,1%, а в концентрации 4,0 мг/л – 9,6-20,1%, что больше показателей в контроле (6,9-16,0%, НСР05=1,50). Развитие сформированных эмбрионидов каллуса риса ингибировало повышение концентрации нитрата серебра до 6,0 мг/л. Доля эмбрионидов менялась от 0,70% до 1,20%, что соответствовало уровню показателей контрольного варианта без нитрата серебра, в котором доля морфогенного каллуса и его регенерационная способность также снижались до 0,70-0,9% (НСР05=0,30). Также отмечено, что $AgNO_3$ предотвращает преждевременное старение культивируемых пыльников, подавляя биосинтез фенола и этилена, что положительно сказывается на морфогенетических потенциях.

Выводы

Выявлено достоверное влияние взаимодействия генотипа, концентрации и типа растительных гормонов в культуре пыльников *in vitro* риса. Обнаружено, что реакцию генотипов на успешную регенерацию побегов в условиях *in vitro* определяет совокупность и концентрации экзогенных и эндогенных гормонов, а различия в регенерации побегов у разных генотипов на фоне различных гормонов и добавок

могут быть связаны с качеством каллуса. Таким образом, включение фитогормонов в искусственные питательные среды повышают эффективность гаметных технологий, а гормональные потребности, необходимо оптимизировать для конкретных сортов или генотипов. Для ускоренного создания чистых линий риса применительно к изучаемым гибридам подобраны эффективные концентрации ауксинов, цитокининов и дополнительного стимулятора роста.

• Литература

- Maraschin S.F., Priester W. de, Spaink H.P., Wang M. Androgenic switch: an example of plant embryogenesis from the male gametophyte perspective. *Journal of Experimental Botany*. 2005;56(417):1711–1726. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri190>
- Гамбург К.З., Рекославская Н.И., Швецов С.Г. Ауксины в культурах тканей и клеток растений. Новосибирск: Наука. 1990. 243 с.
- Lee S.Y., Cheong J.I., Kim T.S. Production of doubled haploids through anther culture of MI rice plants derived from mutagenized fertilized egg cells. *Plant Cell Repts*. 2003;22(3):218–223. <https://doi.org/10.1007/s00299-003-0663-0>
- Mehran E., Shariatpanahi, U. Bal, E. Heberle-Bors, A. Touraev Stresses applied for the re-programming of plant microspores towards *in vitro* embryogenesis. *Physiologia Plantarum*. 2006;127:519–534. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00675.x>
- Reddy V.S., Leelavathi S., & S.K. Sen Influence of genotype regeneration from wheat anther and barley microspore culture using phenylacetic acid (PAA). *Plant Cell Rep*. 1985;(11):489–498.
- Shahinul Islam S.M., Narendra Tuteja Enhancement of androgenesis by abiotic stress and other pretreatments in major crop species. *Plant Science*. 2012;(182):134–144. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.10.001>
- El-Hennawy M.A., Zaazaa E.I., Al-Ashkar I.M., Eid E.A. Genetic analysis of anther culture response in some bread wheat crosses under drought stress conditions. *J. Biol. Chem. Environ. Sci*. 2018;(13):189–213. <https://www.researchgate.net/publication/336445607>
- Wang Z.M. Wei Embryogenesis and regeneration of green plantlets from wheat (*Triticum C.T. aestivum*) leaf base Plant Cell Tissue. *Organ Cult*. 2004;(77):149–156. <https://doi.org/10.1023/B:TICU.0000016818.58971.cc>
- Khatun R., Islam S.M.S., Ara I., Tuteja N., Bari M.A. Effect of cold pretreatment and different media in improving anther culture response in rice (*Oryza sativa* L.) in Bangladesh. *Indian J. Biotechnol*. 2012;11(4):458–463. <https://www.researchgate.net/publication/301764292>
- Haque M., A.B. Siddique, Islam S.M.S. Effect of silver nitrate and amino acids on high frequency plants regeneration in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Tissue Cult. Biotechnol*. 2015;25:37–50. <https://doi.org/10.3329/ptcb.v25i1.24124>
- Ali J., Katrina L.C.N., Shahana A., Azerkhsh T., Ali A.E., Corinne M.M.-N., Anumalla M. Improved anther culture media for enhanced callus formation and plant regeneration in rice (*Oryza sativa* L.). *Plants*. 2021;10 (5):839. <https://www.researchgate.net/publication/351068806>
- Kassa Belay Anelay, Mekbib Firew, Assefa Kebebew Effects of plant hormones and genotypes on anther culture response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Scientific African*. 2024;26:e02367. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024. e 02367>
- Dias J.S., Martins M.G. Effect of silver nitrate on anther culture embryo production of different *Brassica oleracea* morphotypes. *Scientia Horticulturae*. 1999;82:299–307. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00052-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00052-7)
- Cristea T.O., Leonte C., Brezeanu C., Brezeanu M., Ambarus S., Calin M., Prisecaru M. Effect of AgNO₃ on androgenesis of *Brassica oleracea* L. anthers cultivated *in vitro*. *Afr. J. Biotechnol*. 2012;11:13788–13795. <https://doi.org/10.5897/AJB12.2157>
- Shahvali-Kohshour R., Moieni A., Baghizadeh A. Positive effects of

- cold pretreatment, iron source, and silver nitrate on anther culture of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.). *Plant Biotech. Rep*. 2013;7:481–488. <https://doi.org/10.1007/s11816-013-0286-z>
- Бутенко Р.Г., Тихонович Г.И. и др. Культура изолированных клеток и тканей в селекции растений. Основы сельскохозяйственной биотехнологии. 1990. С.162–165.
- Ali J., Katrina L.C.N., Shahana A., Azerkhsh T., Ali A.E., Corinne M.M.-N., Anumalla M. Improved anther culture media for enhanced callus formation and plant regeneration in rice (*Oryza sativa* L.). *Plants*. 2021;10 (5):839. <https://doi.org/10.3390/plants10050839>
- Ibrahim M.A., Ali R.A., Aldabbagh E.J., Mohammed A. Factors affecting callus induction from anther and ovary of okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *Indian J*. 2023;57(5):658–664. <https://doi.org/10.18805/IJAR.AF-7548>
- Flemmer A., Franchini M., Lindström L. Description of safflower (*Carthamus tinctorius*) phenological growth stages according to the extended BBCH scale. *Ann. Appl. Biol*. 2014;166 (2):331–339. <https://doi.org/10.1111/aab.12186>
- Obert B., Dedičová B., Hricová A., Pret'ová A. Flax anther culture: effect of genotype, cold treatment and media. *Plant. Cell. Tissue. Organ. Cult*. 2004;79(2):233–238. <https://doi.org/10.1007/s11240-004-0664-x>
- Савенко Е.Г., Кострюкова Э.Н., Глазырина В.А., Гончарова Ю.К. Влияние концентрации 6–бензиламинопурина на каллусогенез и регенерацию у гибридов риса ВНИИ с.-х. биотехнологии. Сборник XVII Всероссийской молодежной научной конференция «Биотехнология в растениеводстве, животноводстве и ветеринарии». М., 2017. С.122–124.
- Чайлакян М.Х. Регуляция цветения высших растений. М. Наука; 1988. 510 с.
- Тураев А., Висенте О., Хеберлеборс Э. Иницирование микроспорового эмбриогенеза под воздействием стресса. *Trends Plant Sci*. 1997;2:297–302. [https://doi.org/10.1016/s1360-1385\(97\)89951-7](https://doi.org/10.1016/s1360-1385(97)89951-7)
- Зоринянец С., Ташпулатов А. С., Хеберле-Борс Э. и Тураев А. «Роль стресса в индукции гаплоидного микроспорового эмбриогенеза». Гаплоиды в улучшении сельскохозяйственных культур II, под ред. Д. Палмера, У. Келлера и К. Каши. Берлин: Springer. 2005. С. 35–52.
- Савенко Е.Г., Кострюкова Э.Н., Глазырина В.А., Шундрин Л.А. Каллусогенез и регенерация гибридов риса при различных концентрациях абсцизовой кислоты (АБК). *Рисоводство*. 2017;2(35):46–50. <https://elibrary.ru/yujsax>
- Шаяхметов И.Ф., Шакирова Ф.М. Формирование соматических эмбриоидов в суспензионной культуре клеток пшеницы в присутствии АБК. *Физиология растений*. 1996;43:101–103.
- Широков А.И., Крюков Л.А. Основы биотехнологии растений. 2012. 49 с.

• References

- Maraschin S.F., Priester W. de, Spaink H.P., Wang M. Androgenic switch: an example of plant embryogenesis from the male gametophyte perspective. *Journal of Experimental Botany*. 2005;56(417):1711–1726. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri190>
- Gamburg K.Z., Rekoslavskaya N.I., and Shvetsov S.G. Auxins in Plant Tissue and Cell Cultures. Novosibirsk: Nauka, 1990. 243 p. (In Russ.)

3. Lee S.Y., Cheong J.I., Kim T.S. Production of doubled haploids through anther culture of MI rice plants derived from mutagenized fertilized egg cells. *Plant Cell Repts.* 2003;22(3):218-223. <https://doi.org/10.1007/s00299-003-0663-0>
4. Mehran E., Shariatpanahi, U. Bal, E. Heberle-Bors, A. Touraev Stresses applied for the re-programming of plant microspores towards *in vitro* embryogenesis. *Physiologia Plantarum.* 2006;127:519–534. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00675.x>
5. Reddy V.S., Leelavathi S., & S.K. Sen Influence of genotype regeneration from wheat anther and barley microspore culture using phenylacetic acid (PAA). *Plant Cell Rep.* 1985;(11):489–498.
6. Shahinul Islam S.M., Narendra Tuteja Enhancement of androgenesis by abiotic stress and other pretreatments in major crop species. *Plant Science.* 2012;(182):134–144. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.10.001>
7. El-Hennawy M.A., Zaazaa E.I., Al-Ashkar I.M., Eid E.A. Genetic analysis of anther culture response in some bread wheat crosses under drought stress conditions. *J. Biol. Chem. Environ. Sci.* 2018;(13):189–213. <https://www.researchgate.net/publication/336445607>
8. Wang Z.M. Wei Embryogenesis and regeneration of green plantlets from wheat (*Triticum C.T. aestivum*) leaf base Plant Cell Tissue. *Organ Cult.* 2004;(77):149–156. <https://doi.org/10.1023/B:TICU.0000016818.58971.cc>
9. Khatun R., Islam S.M.S., Ara I., Tuteja N., Bari M.A. Effect of cold pretreatment and different media in improving anther culture response in rice (*Oryza sativa* L.) in Bangladesh. *Indian J. Biotechnol.* 2012;11(4):458–463. <https://www.researchgate.net/publication/301764292>
10. Haque M., A.B. Siddique, Islam S.M.S. Effect of silver nitrate and amino acids on high frequency plants regeneration in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Tissue Cult. Biotechnol.* 2015;25:37–50. <https://doi.org/10.3329/ptcb.v25i1.24124>
11. Ali J., Katrina L.C.N., Shahana A., Azerkhsh T., Ali A.E., Corinne M.M.-N., Anumalla M. Improved anther culture media for enhanced callus formation and plant regeneration in rice (*Oryza sativa* L.). *Plants.* 2021;10 (5):839. <https://www.researchgate.net/publication/351068806>
12. Kassa Belay Anelay, Mekbib Firew, Assefa Kebebew Effects of plant hormones and genotypes on anther culture response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Scientific African.* 2024;26:e02367. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02367>
13. Dias J.S., Martins M.G. Effect of silver nitrate on anther culture embryo production of different *Brassica oleracea* morphotypes. *Scientia Horticulturae.* 1999;82:299–307. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00052-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00052-7)
14. Cristea T.O., Leonte C., Brezeanu C., Brezeanu M., Ambarus S., Calin M., Prisecaru M. Effect of AgNO₃ on androgenesis of *Brassica oleracea* L. anthers cultivated *in vitro*. *Afr. J. Biotechnol.* 2012;11:13788–13795. <https://doi.org/10.5897/AJB12.2157>
15. Shahvali-Kohshour R., Moieni A., Baghizadeh A. Positive effects of cold pretreatment, iron source, and silver nitrate on anther culture of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.). *Plant Biotech. Rep.* 2013;7:481–488. <https://doi.org/10.1007/s11816-013-0286-z>
16. Butenko R.G., Tikhonovich G.I., et al. Culture of isolated cells and tissues in plant breeding. Fundamentals of agricultural biotechnology. 1990. P.162–165. (In Russ.)
17. Ali J., Katrina L.C.N., Shahana A., Azerkhsh T., Ali A.E., Corinne M.M.-N., Anumalla M. Improved anther culture media for enhanced callus formation and plant regeneration in rice (*Oryza sativa* L.). *Plants.* 2021;10 (5):839. <https://doi.org/10.3390/plants10050839>
18. Ibrahim M.A., Ali R.A., Aldabbagh E.J., Mohammed A. Factors affecting callus induction from anther and ovary of okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *Indian J.* 2023;57(5):658–664. <https://doi.org/10.18805/IJAr.AF-7548>
19. Flemmer A., Franchini M., Lindström L. Description of safflower (*Carthamus tinctorius*) phenological growth stages according to the extended BBCH scale. *Ann. Appl. Biol.* 2014;166 (2):331–339. <https://doi.org/10.1111/aab.12186>
20. Obert B., Dedičová B., Hricová A., Pret'ová A. Flax anther culture: effect of genotype, cold treatment and media. *Plant. Cell. Tissue. Organ. Cult.* 2004;79(2):233–238. <https://doi.org/10.1007/s11240-004-0664-x>
21. Savenko E.G., Kostyukova E.N., Glazyrina V.A., Goncharova Yu.K. Influence of the concentration of 6-benzylaminopurine on callusogenesis and regeneration in rice hybrids of the All-Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology. Collection of the XVII All-Russian Youth Scientific Conference "Biotechnology in Crop Production, Animal Husbandry, and Veterinary Medicine". Moscow, 2017; 122–124. (In Russ.)
22. Chailakyan M.Kh. Regulation of Flowering in Higher Plants. Moscow: Nauka; 1988. 510 p. (In Russ.)
23. Touraev A., Vicente, O., and Heberle-Bors, E. (1997). Initiation of microspore embryogenesis by stress. *Trends Plant Sci.* 1997;2:297–302. [https://doi.org/10.1016/s1360-1385\(97\)89951-7](https://doi.org/10.1016/s1360-1385(97)89951-7) (In Russ.)
24. Zorinants S., Tashpulatov A.S., Heberle-Bors E., Touraev A. The role of stress in the induction of haploid microspore embryogenesis. Haploids in Crop Improvement II, eds D. Palmer, W. Keller, and K. Kasha. Berlin: Springer. 2005. P.35–52. (In Russ.)
25. Savenko E.G., Kostyukova E.N., Glazyrina V.A., Shundrina L.A. Callusogenesis and regeneration of rice hybrids at different concentrations of abscisic acid (ABA). *Rice Growing.* 2017;2(35):46–50. <https://elibrary.ru/yujsax> (In Russ.)
26. Shayakhmetov I.F., Shakirova F.M. Formation of somatic embryoids in suspension culture of wheat cells in the presence of ABC. *Plant physiology.* 1996;43:101–103 (In Russ.)
27. Shirokov A.I., Kryukov L.A. Fundamentals of plant biotechnology. Uch.-methodical. stipend. 2012. 49 p. (In Russ.)

Об авторах:

Елена Георгиевна Савенко – кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биотехнологии и молекулярной биологии ФГБНУ ФНЦ риса <https://orcid.org/0000-0001-9110-032X> SPIN-код: 1555-6845, автор для переписки, avena5@rambler.ru

Валентина Александровна Глазырина – старший научный сотрудник лаборатории биотехнологии и молекулярной биологии ФГБНУ ФНЦ риса, SPIN-код: 5516-8009

Людмила Анатольевна Шундрин – научный сотрудник лаборатории биотехнологии и молекулярной биологии ФГБНУ ФНЦ риса, SPIN-код: 8524-7373

Жанна Михайловна Мухина – доктор биол. наук, главный научный сотрудник лаборатории биотехнологии и молекулярной биологии ФГБНУ ФНЦ риса, <https://orcid.org/0000-0003-3557-1615>, SPIN-код: 3701-4655

Любовь Владимировна Есаулова – кандидат биол. наук, зам. директора по науке ФГБНУ ФНЦ риса, <https://orcid.org/0000-0002-0907-2524>, SPIN-код: 9335-1160

About the Authors:

Elena G. Savenko – Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher at the Laboratory of Biotechnology and Molecular Biology Federal Scientific Rice Centre, <https://orcid.org/0000-0001-9110-032X>, SPIN-code: 1555-6845, Corresponding Author, avena5@rambler.ru

Valentina A. Glazyrina – Senior Researcher of the Laboratory of Biotechnology and Molecular Biology Federal Scientific Rice Centre, SPIN-code: 5516-8009

Ludmila A. Shundrina – Researcher of Laboratory of Biotechnology and Molecular Biology Federal Scientific Rice Centre, SPIN-code: 8524-7373

Zhanna M. Mukhina – Dr. Sci. (Biology), Chief Scientist of the Laboratory of Biotechnology and Molecular Biology Federal Scientific Rice Centre, <https://orcid.org/0000-0003-3557-1615>, SPIN-code: 3701-4655

Lyubov V. Esaulova – Cand. Sci. (Biology), Deputy Director of Science <https://orcid.org/0000-0002-0907-2524>, SPIN-code: 9335-1160