

## ПЦР-АНАЛИЗ НОВЫХ СОРТООБРАЗЦОВ РИСА НА ПРИСУТСТВИЕ ГЕНОВ УСТОЙЧИВОСТИ К ПИРИКУЛЯРИОЗУ

**П.И. Костылев**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства риса, p-kostylev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4371-6848;  
**Н.Н. Вожжова**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, nvzhzh@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2046-4000;  
**А.В. Аксенов**, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства риса, ORCID ID: 0000-0002-6641-878X;  
**Е.В. Краснова**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства риса, ORCID ID: 0000-0002-3392-4774  
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,  
347740, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, 3, email: vniizk30@mail.ru

Рис является одной из основных продовольственных культур во всем мире, однако при поражении пирикулярриозом потери в его урожае могут достигать значительных размеров, составляя для мировой экономики ущерб более 70 млрд долларов. В связи с этим актуально выведение новых, устойчивых к пирикулярриозу сортов риса. Благодаря накопленному прогрессу в изучении генетического механизма устойчивости риса к пирикулярриозу найдено множество генов устойчивости (или локусов количественных признаков – QTL), пирамидирование ряда которых в одном генотипе способствует улучшению устойчивости и ускорению создания новых устойчивых сортов риса. Целью настоящего исследования является поиск и отбор линий риса, обладающих высоким потенциалом продуктивности и несущих пять генов устойчивости к пирикулярриозу: Pi-1, Pi-2, Pi-33, Pi-b и Pi-ta. Для этого выполняли идентификацию данных генов устойчивости молекулярно-генетическими методами: выделение ДНК, проведение ПЦР специфическими сцепленными с генами устойчивости молекулярными маркерами, проведение электрофореза, анализ электрофореграмм. В процессе анализа были выделены образцы риса контрольного питомника и конкурсного сортоиспытания, которые несли в генотипах сразу пять генов устойчивости (Pi-1, Pi-2, Pi-33, Pi-b и Pi-ta). Эти образцы среднеспелые, продолжительность вегетационного периода от залива до полной спелости составляет 120 дней. Растения высотой 90–100 см, имеют вертикальное расположение листьев и метелок. Метелки компактные, длиной 14–16 см, несут 120–180 колосков овальной формы, средней величины. Масса 1000 зерен в среднем 30–32 г. Образцы устойчивы к пирикулярриозу, полеганию и осыпанию. Урожайность в конкурсном сортоиспытании (2023–2024 гг.) в среднем составляла 7,64 т/га, превышая стандарт Южанин на 1,50 т/га.

**Ключевые слова:** рис, сорт, устойчивость к пирикулярриозу, молекулярные маркеры, идентификация генов, конкурсное сортоиспытание.

**Для цитирования:** Костылев П.И., Вожжова Н.Н., Аксенов А.В., Краснова Е.В. ПЦР-анализ новых сортобразцов риса на присутствие генов устойчивости к пирикулярриозу // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17. № 6. С. 38–46. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-101-6-38-46.



## PCR-ANALYSIS OF NEW RICE VARIETIES FOR THE PRESENCE OF BLAST RESISTANCE GENES

**P.I. Kostylev**, Doctor of Agricultural Sciences, professor, main researcher of the laboratory for rice breeding and seed production, p-kostylev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4371-6848;  
**N.N. Vozhzhova**, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for cell breeding, nvzhzh@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2046-4000;  
**A.V. Aksenov**, junior researcher of the laboratory for rice breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-6641-878X;  
**E.V. Krasnova**, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for rice breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-3392-4774  
FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,  
347740, Russia, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; email: vniizk30@mail.ru

Rice is a basic food crop worldwide, but rice blast can cause significant yield losses, costing the global economy over \$70 billion. Therefore, the development of new blast-resistant rice varieties is crucial. Due to the accumulated progress in studying the genetic mechanism of rice resistance to blast, there have been found many resistance genes (or quantitative trait loci (QTL)), the pyramiding of a number of which in one genotype can improve resistance and accelerate the development of new resistant rice varieties. The purpose of the current study was to identify and select rice lines with high productivity potential and carrying five blast resistance genes Pi-1, Pi-2, Pi-33, Pi-b, and Pi-ta. These resistance genes were identified using molecular genetic methods, including DNA extraction, PCR with specific molecular markers linked to the resistance genes, electrophoresis, and electropherogram analysis. During the analysis, there have been identified rice samples of the control nursery and competitive variety testing that carried five resistance genes Pi-1, Pi-2, Pi-33, Pi-b, and Pi-ta in their genotypes. These were middle-maturing samples, with 120 days of vegetation from sowing to full maturity. The plants were 90–100 cm tall, with upright leaves and panicles. The panicles were compact, 14–16 cm, and had 120–180 medium-sized, oval-shaped spikelets. The mean value of 1000-grain weight was 30–32 g. The varieties were resistant to blast, lodging, and shattering.

The productivity in the competitive variety testing (2023-2024) averaged 7.64 t/ha, exceeding that of the standard 'Yuzhanin' by 1.50 t/ha.

**Keywords:** rice, variety, blast resistance, molecular markers, gene identification, competitive variety testing.

**Введение.** Рис является важной продовольственной культурой во всем мире, и более 50 % населения планеты используют рис в качестве основного продукта питания. Пирикулярриоз риса – это грибковое заболевание, вызываемое аскомицетами (*Magnaporthe grisea*), которое ежегодно наносит прямой экономический ущерб в размере более 70 млрд долларов (Scheuermann et al., 2012). Потери урожая из-за пирикулярриоза могут быть весьма значительными. Поэтому выведение новых сортов, устойчивых к болезням, – важный метод повышения урожайности риса. Углубленное изучение генетического механизма устойчивости риса к пирикулярриозу, в ходе которого исследуются гены устойчивости, или локусы количественных признаков (QTL), а также резистентный исходный материал, способствует прогрессу в селекции риса с использованием маркеров и ускорению выведения сортов риса, устойчивых к болезням (Guo et al., 2016).

Генетическая устойчивость риса к пирикулярриозу сложна по своей природе. Согласно результатам генетического анализа устойчивость сортов к этой болезни обусловлена синергетическим действием нескольких основных генов устойчивости в сочетании с несколькими локусами, что указывает на то, что она является количественным признаком. Известно о более 100 локусах устойчивости риса к пирикулярриозу (Wang et al., 2023).

Среди современных высокоэффективных методов борьбы с пирикулярриозом выделяется маркерная селекция. Селекция с использованием молекулярных маркеров (MAS) позволяет напрямую идентифицировать генотипы на уровне ДНК и выявлять целевые гены с помощью молекулярных маркеров, тесно связанных с целевыми признаками (Manoj et al., 2025).

Пирамидирование генов устойчивости широкого спектра действия способствует выведению сортов с устойчивостью широкого спектра действия и долговременной устойчивостью к *M. oryzae*. Китайские ученые показали, что уровень устойчивости к пирикулярриозу проростков и метелок у полигенных линий был значительно выше, чем у моногенных. Основная причина была в том, что большинство комбинаций генов обеспечивали трансгрессивный гетерозис (Wu et al., 2019).

Применение ДНК-маркеров направлено на создание генотипов, которые были бы устойчивы к заболеваниям сельскохозяйственных культур. Маркерные технологии позволяют выполнять отбор требуемых селекционеру генов в процессе целенаправленной селекции. Чтобы получить долгосрочную устойчивость растений, селекционерам требуется вводить не меньше 2–3-х эффективных генов устойчивости к пирикулярриозу, так как с одним геном резистентности сорта быстро ее теряют. Это

происходит по причине того, что устойчивость растений зачастую преодолевается возбудителем болезни из-за появления новых рас.

В Краснодарском крае с использованием мультиплексной системы ПЦР на основе фрагментного анализа среди изученных штаммов *Pyricularia oryzae* Cav. выявлено пять генотипов, каждый из которых характеризуется уникальным генетическим профилем (Нартымов и др., 2023). Поэтому сочетание в одном генотипе риса нескольких доминантных аллелей генов устойчивости к пирикулярриозу позволит растениям противостоять большому количеству рас патогена.

На Дальнем Востоке с помощью молекулярно-генетических маркеров изучены 13 сортов риса на наличие шести генов устойчивости к пирикулярриозу риса – Pi-2, Pi-9, Pi-b, Pi-z(t), Pi-1 и Pi-ta2, наиболее актуальных для региона. В восьми сортах обнаружено по одному гену резистентности – Pi-2 и Pi-ta2. В сорте Садко выявлено два гена – Pi-z(t) и Pi-ta2. Эти сорта риса используют для технологии пирамидирования генов в селекции на устойчивость риса к пирикулярриозу для Дальневосточной зоны рисосаения (Илюшко и др., 2020).

В ФГБНУ «ФНЦ риса» на основе программы маркер-опосредованной селекции риса были созданы восемь сортов риса: Альянс, Ленарис, Восход, Фрегат, Валентина, Победитель (Дубина и др., 2024).

В АНЦ «Донской» работа по созданию линий риса с пятью генами устойчивости к пирикулярриозу с помощью метода молекулярного маркирования ведется с 2003 года. На первом этапе работы получены гибриды от скрещивания сортов Боярин и Вираз с донорами генов резистентности к пирикулярриозу Pi-l, Pi-2, Pi-33. На втором этапе работы в процессе пирамидирования получены формы с этими тремя генами вместе. На третьем этапе проведена их гибридизация с донорами генов Pi-ta и Pi-b для объединения пяти генов. В результате многолетней работы с помощью маркерной селекции и ПЦР-анализа была получена линия риса Пентаген, совмещающая в себе пять эффективных генов устойчивости к этому патогену: Pi-l, Pi-2, Pi-33, Pi-b, Pi-ta. Однако она не показала высокую урожайность. Созданные здесь урожайные сорта Капитан и Пируэт имеют лишь по два гена устойчивости, что недостаточно в современных условиях.

Цель исследований – поиск и отбор линий риса, обладающих высоким потенциалом продуктивности и несущих пять генов устойчивости к пирикулярриозу: Pi-1, Pi-2, Pi-33, Pi-b и Pi-ta.

**Материалы и методы исследований.** Образцы для анализа были отобраны из селекционного, контрольного питомника (КП) и конкурсного сортоиспытания (КСИ) на полях ОП «Пролетарское» (Ростовская область)

в 2024 году. Посев образцов риса выполняли 2–8 мая сеялкой «Деметра» с нормой высева 500 зерен/м<sup>2</sup> на глубину 0,5–1 см. В контрольном питомнике площадь деланки составляла 25 м<sup>2</sup> в двукратной повторности, в конкурсном сортоиспытании – 50 м<sup>2</sup> в четырехкратной повторности. Залив чеков водой осуществляли 9–10 мая. Уборку урожая проводили после созревания зерна напрямую комбайном КС 575. Урожайность пересчитывали с учетом 14%-й влажности. В качестве стандарта использовали сорт риса Южанин, не обладающий генами устойчивости к пирикулярриозу Pi-1, Pi-2, Pi-33, Pi-ta, Pi-b.

Агрометеорологические условия для роста и развития риса в 2024 г. сложились вполне благоприятные. Погода характеризовалась пониженным количеством осадков в летний период и высокой суммой биологически активных температур – больше среднемноголетних значений.

Апрель в 2024 г. по температурному режиму (16,2 °C) был значительно выше среднемноголетних значений (12,0 °C). Количество осадков (25,4 мм при норме 42 мм) было недостаточным для появления всходов при посеве по естественным запасам влаги. Май был прохладным, среднемесячная температура воздуха составляла 15,5 °C (на 1,2 °C ниже нормы). При среднемноголетней норме осадков 52 мм в 2024 г. их выпало 14,8 мм, то есть значительно меньше обычного.

Лето было очень жарким. Июнь имел повышенный температурный режим – 24,6 °C (на 4,5 °C выше нормы) и низкий уровень осадков – 14,8 мм при норме 62 мм. Для июля также была характерна повышенная температура – 27,8 °C (на 5,3 °C выше нормы). Осадков было много (106,7 мм при норме 62 мм), но это было только один сильный ливень. Августовская температура (25,1 °C) была существенно выше нормы, превышая среднемноголетние значения на 3,5 °C. Осадков за месяц выпало очень мало – 0,4 мм при среднемноголетней норме 49 мм.

Температурный режим сентября был повышенным – 21,2 °C (на 4,7 °C выше нормы). Осадков выпало 31,4 мм, что близко к норме (35 мм).

Сумма биологически активных температур в апреле – сентябре составила 3595 °C (норма 2900 °C), что способствовало созреванию всех сортов и образцов. Общая сумма осадков составила 187 мм при норме 302 мм. Такая сухая погода не способствовала развитию пирикулярриоза.

В качестве материнского родителя для анализируемых линий послужил образец Пентаген, имеющий в своем генотипе пять разных генов резистентности к пирикулярриозу, а отцовской формой – высокоурожайный сорт селекции АНЦ «Донской» Кубояр. От их скрещивания были получены гибридные популяции нескольких поколений, из которых ежегодно отбирали перспективные формы, которые постепенно

двигались через селекционный питомник в КП и КСИ, проходя жесткую браковку по морфо-биологическим и структурным признакам.

Идентификацию локусов резистентности к пирикулярриозу осуществляли с помощью метода ПЦР-анализа с использованием кодоминантных маркеров – RM 224 (Pi-1), RM 527 (Pi-2), RM 310 (Pi-33), F4R5R6 (Pi-b), F1R1F2R2 (Pi-ta). Наибольший интерес представляли линии, имеющие все пять генов устойчивости к пирикулярриозу. Наличие генов резистентности к болезни контролировали ежегодно.

Для определения генотипов новых образцов риса сначала выделили ДНК из проростков (в соответствии с методом CTAB) коммерческим набором MagPure Plant DNA Kit (Magen Biotech, Китай) с использованием прибора Allsheng Auto-Pure Mini (Allsheng, Китай). Общий объем ПЦР-реакции составлял 25 мкл, в которые входили 2,5 мкл 10x ПЦР-буфера, 25 мкл MgCl<sub>2</sub>, 0,25–0,4 мкл дНТФ, 1–2 мкл пар праймеров, 0,25 мкл Taq-ДНК-полимеразы и 3 мкл матричной ДНК. ПЦР проводили в амплификаторе T100 Thermal Cycler (BioRad, США).

Условия ПЦР включали первоначальную денатурацию при температуре 94–95 °C в течение 3–5 мин, затем 35 циклов по 30 с при температуре 94–95 °C, 30–35 с при температуре 60–65 °C и 30–40 с при температуре 72 °C, а затем финальную стадию элонгации при температуре 72 °C в течение 3–5 мин. Все продукты ПЦР разделяли с помощью 2-процентного агарозного геля (метод горизонтального электрофореза в агарозных гелях). Затем амплифицированные фрагменты ДНК были окрашены этидиум бромидом для визуализации. Фотографирование проводили прибором Bio-Rad Molecular Imager GelDoc XR+. После обработки данных с помощью программ Bio-Rad GelDoc Lab Image 5.1 и Microsoft Excel был определен генотип каждого растения.

**Результаты и их обсуждение.** Гибридизацию линии Пентаген, несущую гены устойчивости к пирикулярриозу Pi-1, Pi-2, Pi-33, Pi-b Pi-ta, с сортом Кубояр провели в 2015 году. По результатам ПЦР-анализа были отобраны гомозиготные линии, несущие доминантные аллели генов устойчивости. В 2017–2020 гг. из гибридных популяций F<sub>2</sub>...F<sub>5</sub> провели многократный индивидуальный и массовый отбор растений, формировавших наиболее озерненные метелки. Отобранные лучшие линии с морфотипом сорта Кубояр изучали в селекционном, контрольном питомнике и в конкурсном сортоиспытании в период до 2024 года. В 2024 г. с деланок линий Пентаген x Кубояр были отобраны от трех до восьми метелок для ПЦР-анализа. В результате была установлена полиморфность образцов и присутствие различного количества аллелей.

В сеялочных деланках селекционного питомника (СП) было проверено 8 образцов (29 растений). У одного из них – № 4066 все генотипы оказались однородными и несли четыре гена из пяти, отсутствовал Pi-ta (табл. 1).

**Таблица 1. Аллельное состояние генов устойчивости к пирикулярриозу у образцов риса селекционного питомника**  
**Table 1. Allelic state of blast resistance genes in rice samples of the breeding nursery**

| № образца   | № растения | Pi-1     | Pi-2     | Pi-33    | Pi-b     | Pi-ta    |
|-------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 4065        | 1          | 0        | 0        | 2        | 0        | 0        |
| 4065        | 2          | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        |
| 4065        | 3          | 0        | 2        | 2        | 2        | 0        |
| <b>4066</b> | <b>1</b>   | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>0</b> |
| <b>4066</b> | <b>2</b>   | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>0</b> |
| <b>4066</b> | <b>3</b>   | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>0</b> |
| <b>4066</b> | <b>4</b>   | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>0</b> |
| <b>4066</b> | <b>5</b>   | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>0</b> |
| <b>4066</b> | <b>6</b>   | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>0</b> |
| <b>4066</b> | <b>7</b>   | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>0</b> |
| <b>4066</b> | <b>8</b>   | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>0</b> |
| 4070        | 1          | 2        | 2        | 0        | 2        | 0        |
| 4070        | 2          | 2        | 2        | 2        | 1        | 0        |
| 4070        | 3          | 2        | 2        | 2        | 1        | 0        |
| 4071        | 1          | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        |
| 4071        | 2          | 2        | 2        | 0        | 1        | 0        |
| 4071        | 3          | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        |
| 4072        | 1          | 0        | 2        | 1        | 1        | 0        |
| 4072        | 2          | 0        | 2        | 0        | 1        | 0        |
| 4072        | 3          | 0        | 2        | 0        | 1        | 0        |
| 4084        | 1          | 0        | 2        | 2        | 1        | 0        |
| 4084        | 2          | 2        | 2        | 0        | 1        | 0        |
| 4084        | 3          | 0        | 2        | 0        | 1        | 0        |
| 4085        | 1          | 0        | 2        | 0        | 1        | 0        |
| 4085        | 2          | 0        | 2        | 0        | 0        | 0        |
| 4085        | 3          | 2        | 2        | 0        | 0        | 0        |
| 4095        | 1          | 2        | 2        | 0        | 0        | 0        |
| 4095        | 2          | 0        | 2        | 0        | 0        | 0        |
| 4095        | 3          | 2        | 0        | 0        | 0        | 0        |

Примечание. 0 – рецессивные гомозиготные аллели, 2 – доминантные гомозиготные аллели, 1 – гетерозиготные аллели.

Этот ген отсутствовал у всех образцов СП. Четыре гена обнаружено у двух из трех растений образца 4070, однако ген Pi-b был в гетерозиготном состоянии. У остальных образцов встречалось от 1 до 3 генов Pi.

В контрольном питомнике находилось семь образцов (31 растение) из комбинации Пентаген х Кубояр. У образца 4592 было обнаружено одно растение (№ 1), несущее все пять генов в гомозиготном состоянии (табл. 2, рис. 1).

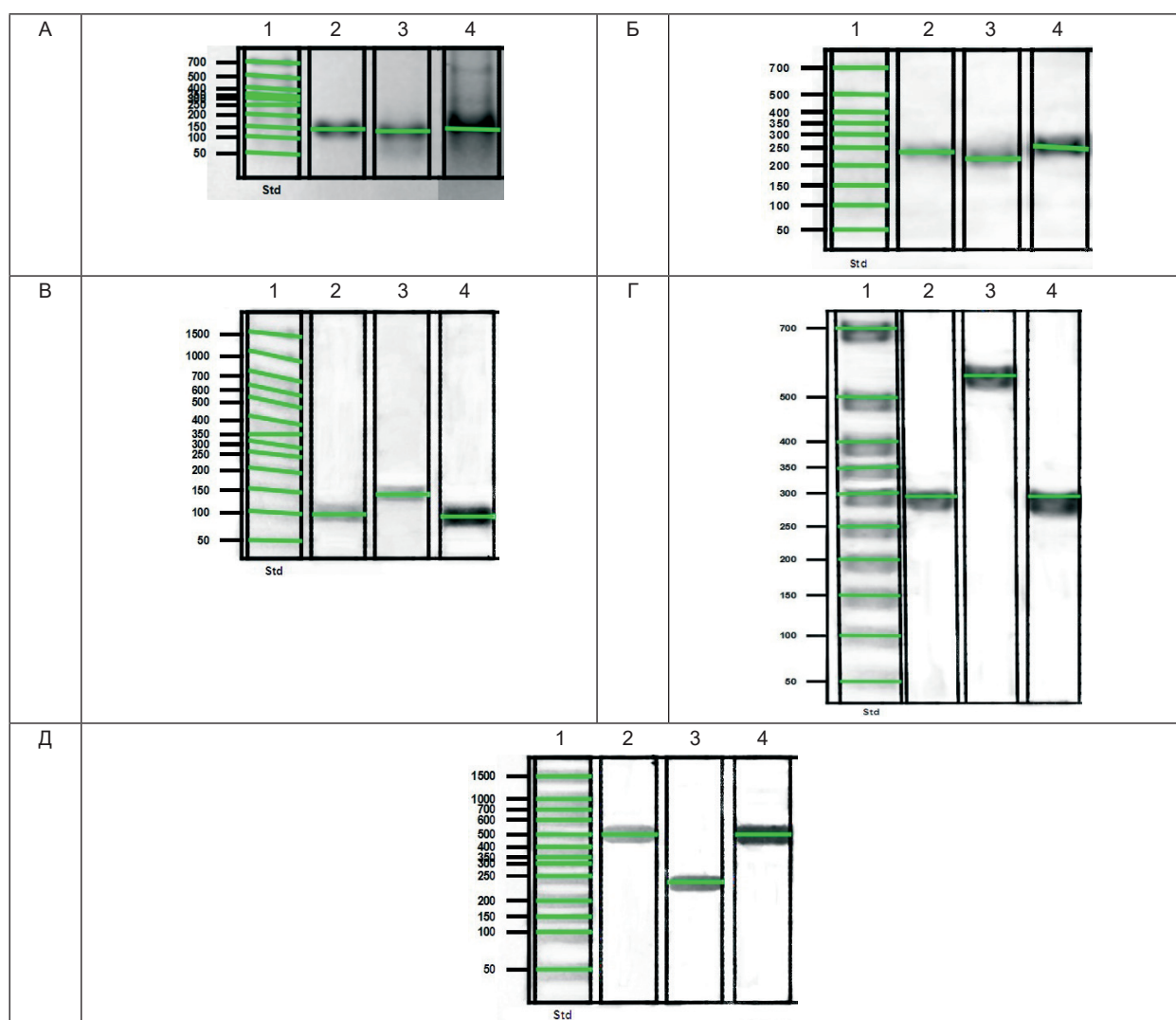
**Таблица 2. Аллельное состояние генов устойчивости к пирикулярриозу у образцов риса контрольного питомника**  
**Table 2. Allelic state of blast resistance genes in rice samples of the control nursery**

| № образца   | № растения | Pi-1     | Pi-2     | Pi-33    | Pi-b     | Pi-ta    |
|-------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 4580        | 1          | 0        | 2        | 1        | 0        | 1        |
| 4580        | 2          | 2        | 2        | 0        | 0        | 1        |
| 4580        | 3          | 0        | 0        | 0        | 0        | 1        |
| 4584        | 1          | 0        | 2        | 0        | 1        | 1        |
| 4584        | 2          | 0        | 2        | 0        | 2        | 1        |
| 4584        | 3          | 0        | 2        | 0        | 1        | 1        |
| 4585        | 1          | 2        | 2        | 2        | 0        | 1        |
| 4585        | 2          | 2        | 2        | 2        | 0        | 1        |
| 4585        | 3          | 2        | 2        | 2        | 0        | 1        |
| <b>4592</b> | <b>1</b>   | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>2</b> |
| 4592        | 2          | 2        | 2        | 2        | 0        | 0        |
| 4592        | 3          | 2        | 2        | 2        | 0        | 2        |
| 4592        | 4          | 2        | 0        | 2        | 0        | 2        |
| 4592        | 5          | 2        | 2        | 2        | 2        | 1        |
| 4592        | 6          | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        |



Продолжение табл. 2

| № образца | № растения | Pi-1 | Pi-2 | Pi-33 | Pi-b | Pi-ta |
|-----------|------------|------|------|-------|------|-------|
| 4592      | 7          | 2    | 0    | 2     | 1    | 1     |
| 4592      | 8          | 2    | 2    | 2     | 1    | 2     |
| 4623      | 1          | 2    | 0    | 1     | 0    | 1     |
| 4623      | 2          | 2    | 0    | 0     | 1    | 1     |
| 4623      | 3          | 2    | 0    | 0     | 0    | 1     |
| 5232      | 1          | 2    | 0    | 0     | 0    | 0     |
| 5232      | 2          | 2    | 0    | 2     | 0    | 0     |
| 5232      | 3          | 2    | 2    | 2     | 2    | 0     |
| 7664      | 1          | 2    | 2    | 2     | 0    | 1     |
| 7664      | 2          | 0    | 2    | 2     | 1    | 1     |
| 7664      | 3          | 2    | 2    | 0     | 1    | 1     |
| 7664      | 4          | 0    | 2    | 2     | 1    | 1     |
| 7664      | 5          | 2    | 2    | 2     | 0    | 0     |
| 7664      | 6          | 0    | 2    | 2     | 1    | 1     |
| 7664      | 7          | 2    | 2    | 2     | 1    | 1     |
| 7664      | 8          | 0    | 2    | 2     | 1    | 1     |

**Рис. 1.** Электрофореграммы образца 4592/1

по генам устойчивости к пирикулярриозу Pi-1 (А), Pi-2 (Б), Pi-33 (В), Pi-ta (Г), Pi-b (Д):

- 1 – маркер молекулярного веса: Евроген 50+bp (50–700 п.н.) / Biolabmix Step 50+ (50–1500 п.н.),  
 2 – контроль доминантного аллеля гена (C104Lac – Pi-1, Pi-33; C101LAC – Pi-2; YR-64 – Pi-ta; BL-1 – Pi-b),  
 3 – контроль рецессивного аллеля гена (Боярин), 4 – 4592/1

**Fig. 1.** Electropherograms of the sample '4592/1'

of the blast resistance genes Pi-1 (A), Pi-2 (B), Pi-33 (C), Pi-ta (D), Pi-b (E):

- 1 – molecular weight marker: Evrogen 50+ bp (50–700 bp) / Biolabmix Step 50+ (50–1500 bp),  
 2 – control of dominant allele of gene (C104Lac – Pi-1, Pi-33; C101LAC – Pi-2; YR-64 – Pi-ta; BL-1 – Pi-b),  
 3 – control of recessive allele of gene ('Boyarin'), 4 – 4592/1

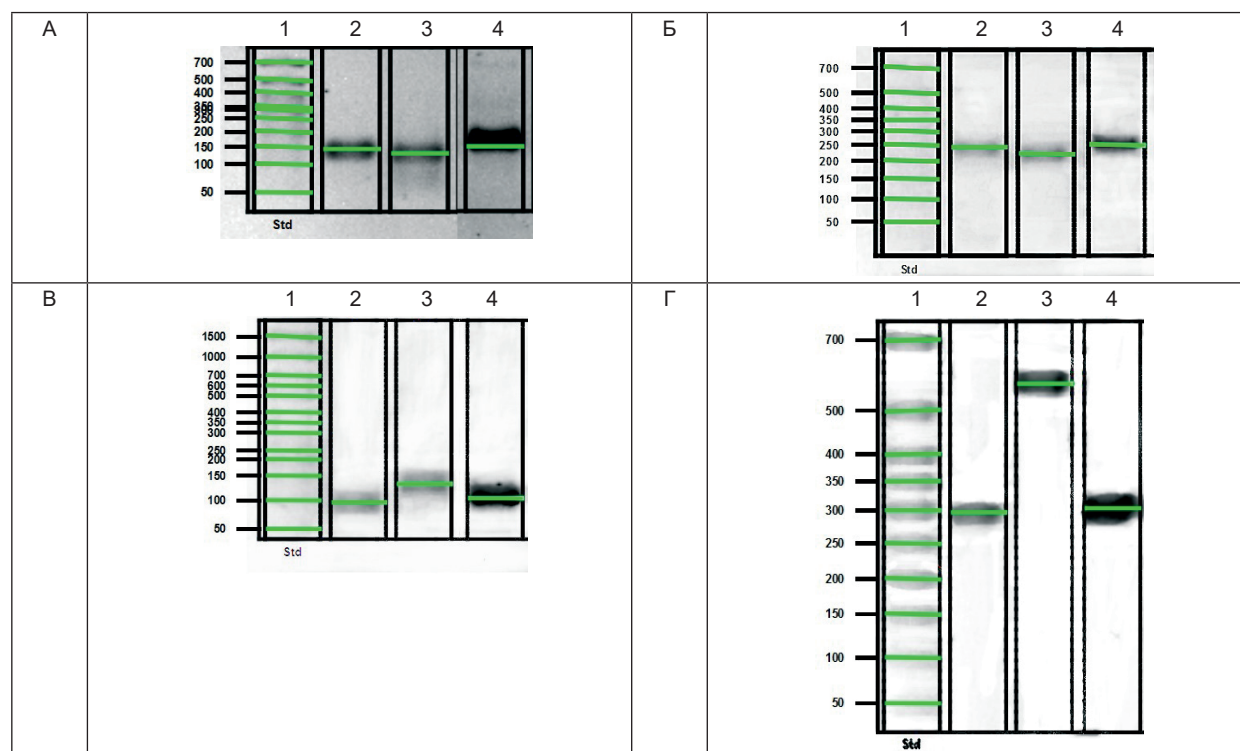
У растений № 5 и 8 было также по пять генов, но один из них в гетерозиготном состоянии, у № 6 – 2 гомозиготы, 3 – гетерозиготы.

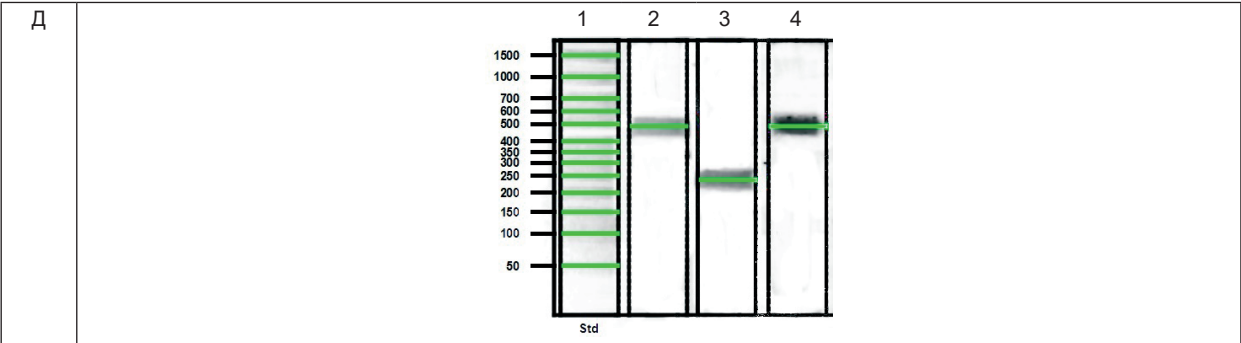
У образца 7664, представленного восемью растениями, присутствовали от 3 до 5 доминантных генов в гомо- и гетерозиготном состоянии. Образец 5232/3 имел 4 гена, кроме Pi-ta, а образец 4585 – 4 гена, кроме Pi-b. У остальных растений было от одного до трех генов.

В конкурсном сортоиспытании изучали пять образцов (22 растения) из комбинации Пентаген х Кубояр. У образца 5242 из восьми растений было обнаружено одно (№ 6), которое имело все пять генов в гомозиготном состоянии (табл. 3, рис. 2).

**Таблица 3. Аллельное состояние генов устойчивости к пирикулярриозу у образцов риса в конкурсном сортоиспытании**  
**Table 3. Allelic state of blast resistance genes in rice samples of the competitive variety testing**

| № образца   | № растения | Pi-1     | Pi-2     | Pi-33    | Pi-b     | Pi-ta    |
|-------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 5242        | 1          | 2        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| 5242        | 2          | 2        | 2        | 0        | 2        | 0        |
| 5242        | 3          | 2        | 0        | 2        | 2        | 2        |
| 5242        | 4          | 2        | 2        | 0        | 2        | 0        |
| 5242        | 5          | 2        | 0        | 1        | 0        | 0        |
| <b>5242</b> | <b>6</b>   | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>2</b> |
| 5242        | 7          | 2        | 1        | 2        | 0        | 0        |
| 5242        | 8          | 2        | 2        | 0        | 2        | 2        |
| 5244        | 1          | 2        | 0        | 2        | 0        | 0        |
| 5244        | 2          | 2        | 0        | 2        | 0        | 0        |
| 5244        | 3          | 2        | 0        | 1        | 2        | 0        |
| 7666        | 1          | 2        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| 7666        | 2          | 2        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| 7666        | 3          | 2        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| 7669        | 1          | 2        | 0        | 0        | 1        | 0        |
| 7669        | 2          | 2        | 0        | 2        | 0        | 0        |
| 7669        | 3          | 2        | 0        | 1        | 0        | 0        |
| 7686        | 1          | 2        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| 7686        | 2          | 2        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| 7686        | 3          | 2        | 0        | 2        | 2        | 2        |
| 7686        | 4          | 2        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| 7686        | 5          | 2        | 0        | 2        | 2        | 2        |





**Рис. 2.** Электрофореграммы образца 5242/6 по генам устойчивости к пирикулярриозу Pi-1 (А), Pi-2 (Б), Pi-33 (В), Pi-ta (Г), Pi-b (Д):  
1 – маркер молекулярного веса: Евроген 50+bp (50–700 п.н.) / Biolabmix Step 50+ (50–1500 п.н.),  
2 – контроль доминантного аллеля гена (C104Lac – Pi-1, Pi-33; C101LAC – Pi-2; YR-64 – Pi-ta; BL-1 – Pi-b),  
3 – контроль рецессивного аллеля гена (Боярин), 4 – 5242/6

**Fig. 2.** Electropherograms of the sample ‘5242/6’ of the blast resistance genes Pi-1 (A), Pi-2 (B), Pi-33 (C), Pi-ta (D), Pi-b (D):  
1 – molecular weight marker: Evrogen 50+ bp (50–700 bp) / Biolabmix Step 50+ (50–1500 bp),  
2 – control of dominant allele of gene (C104Lac – Pi-1, Pi-33; C101LAC – Pi-2; YR-64 – Pi-ta; BL-1 – Pi-b),  
3 – control of recessive allele of gene (‘Boyarin’), 4 – 5242/6

Остальные растения из этой делянки имели в своих генотипах от одного до четырех доминантных генов. Это свидетельствует о сегрегационном полиморфизме данного образца риса. Представляют интерес для селекции также образцы, несущие четыре гена Pi, такие как 5242 (3, 8), 7686 (3, 5).

Однако одной только оценки образцов на устойчивость к болезни недостаточно. Необходимо, чтобы эти устойчивые образцы имели еще и высокую продуктивность, поэтому

они были оценены на больших делянках после комбайновой уборки по урожайности. Было установлено, что в селекционном питомнике урожайность образцов варьировала от 6,53 до 8,90 т/га при урожайности стандартного сорта Южанин 7,2 т/га (табл. 4). Наибольшую урожайность сформировал образец 4066. Кроме того, оказалось, что он обладает четырьмя генами и очень выровнен по генетическому составу анализируемой выборки.

**Таблица 4. Хозяйственно-биологическая характеристика образцов риса селекционного, контрольного и конкурсного питомников, 2024 г.**  
**Table 4. Economic and biological characteristics of rice samples of the breeding, control and competitive nurseries, 2024**

| Образец, сорт     | Урожайность, т/га | ± к стандарту | Вегетационный период, дни | Высота растений, см |
|-------------------|-------------------|---------------|---------------------------|---------------------|
| СП                |                   |               |                           |                     |
| Южанин, st.       | 7,20              | 0,00          | 113                       | 105,5               |
| 4065              | 7,33              | 0,13          | 114                       | 94,8                |
| <b>4066</b>       | <b>8,90</b>       | <b>1,70</b>   | <b>110</b>                | <b>92,7</b>         |
| 4070              | 7,74              | 0,54          | 113                       | 89,6                |
| 4071              | 6,82              | -0,38         | 115                       | 97,5                |
| 4072              | 8,42              | 1,22          | 112                       | 93,3                |
| 4084              | 8,50              | 1,30          | 112                       | 94,6                |
| 4085              | 6,53              | -0,67         | 115                       | 98,8                |
| 4095              | 6,83              | -0,37         | 117                       | 95,8                |
| НСП <sub>05</sub> | 0,68              |               |                           |                     |
| КП                |                   |               |                           |                     |
| Южанин, st.       | 7,93              | 0,00          | 113                       | 109,8               |
| 4580              | 7,12              | -0,81         | 113                       | 95,8                |
| 4584              | 8,84              | 0,91          | 113                       | 88,3                |
| 4585              | 6,93              | -1,00         | 114                       | 76,7                |
| <b>4592</b>       | <b>10,65</b>      | <b>2,72</b>   | <b>106</b>                | <b>96,7</b>         |
| 4623              | 7,94              | 0,01          | 113                       | 85,8                |
| 5232              | 6,31              | -1,62         | 111                       | 103,3               |
| 7664              | 6,60              | -1,33         | 110                       | 94,2                |
| НСП <sub>05</sub> | 0,51              |               |                           |                     |

Продолжение табл. 4

| Образец, сорт     | Урожайность, т/га | ± к стандарту | Вегетационный период, дни | Высота растений, см |
|-------------------|-------------------|---------------|---------------------------|---------------------|
| КСИ               |                   |               |                           |                     |
| Южанин, st.       | 8,18              | 0,00          | 112                       | 101,3               |
| <b>5242</b>       | <b>8,80</b>       | <b>0,62</b>   | <b>108</b>                | <b>93,8</b>         |
| 5244              | 8,18              | 0,00          | 109                       | 97,1                |
| 7666              | 8,91              | 0,73          | 113                       | 99,5                |
| 7669              | 9,37              | 1,19          | 113                       | 98,3                |
| <b>7686</b>       | <b>10,33</b>      | <b>2,15</b>   | <b>113</b>                | <b>100,8</b>        |
| НСП <sub>05</sub> | 0,58              |               |                           |                     |

В контрольном питомнике урожайность колебалась от 6,31 до 10,65 т/га при урожайности стандарта 7,93 т/га. Максимальная урожайность сформировалась у образца 4592 и составила 10,65 т/га, что выше стандарта на 2,72 т/га. Среди восьми растений этого образца было выявлено одно, которое несло все пять генов устойчивости болезни в гомозиготном состоянии.

В конкурсном сортоиспытании урожайность изучаемых образцов находилась в пределах от 8,18 т/га, как у стандарта Южанин, до наибольшей величины 10,33 т/га, которую показал образец 7686. Однако отобранные из него растения имели не все необходимые гены устойчивости: или один, или четыре. Образец 7669 также сформировал неплохую урожайность, превышающую стандарт на 1,19 т/га, но у него имеется только два гена.

У образца 5242 она составила 8,80 т/га, всего на 0,62 т/га выше стандарта, однако у него также было обнаружено растение с пятью генами устойчивости к пирикулярриозу. Этот вы-

деленный материал представляет собой большую ценность для дальнейшей селекционной работы. Все образцы высеяны в селекционном питомнике для размножения и последующего испытания на продуктивность с целью создания высокоурожайного сорта риса, устойчивого к пирикулярриозу.

**Выводы.** В результате проведенных исследований среди образцов лаборатории селекции и семеноводства риса нами были выделены образцы, несущие в себе гены с функциональными аллелями генов устойчивости к пирикулярриозу. Идентифицировано сочетание всех пяти изученных генов устойчивости к пирикулярриозу у двух селекционных образцов риса – 4592/1 и 5242/6.

Они высеяны в селекционном питомнике для размножения и испытания на продуктивность с последующим созданием урожайного сорта, устойчивого к пирикулярриозу.

**Финансирование.** Работа выполнена по теме государственного задания № 0505-2025-0007 – ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской».

#### Библиографический список

1. Илюшко М.В., Ромашова М.В., Гученко С.С. Молекулярное маркирование генов устойчивости к пирикулярриозу в сортах риса дальневосточной селекции // Аграрная Россия. 2020. № 10. С. 30–33. DOI: 10.30906/1999-5636-2020-10-30-33
2. Дубина Е.В., Рубан М.Г., Лесняк С.А., Кутищева А.А. Создание с помощью ДНК-маркеров новых генотипов риса, устойчивых к пирикулярриозу // Генетический потенциал сельскохозяйственных растений и его реализация в селекции, семеноводстве и размножении. Всероссийская научно-практическая конференция Кубанского отд. ВОГиС. Краснодар, 2024. С. 63–66.
3. Нартымов Д.В., Дубина Е.В., Рубан М.Г., Анискина Ю.В., Гаркуша С.В., Шилов И.А., Велишаева Н.С., Колобова О.С., Истомин Н.К. Изучение генетического разнообразия возбудителя пирикулярриоза риса *Pyricularia oryzae* Cav. по комплексу молекулярных и морфологических признаков // Генетика. 2023. Т. 59, № 6. С. 640–647. DOI: 10.31857/S0016675823060127
4. Guo L., Zhao H., Wang J., Liu H., Zheng H., Sun J., Yang L., Sha H., Zou D. Dissection of QTL alleles for blast resistance based on linkage and linkage disequilibrium mapping in japonica rice seedlings // Australasian Plant Pathol. 2016. Vol. 45. P. 209–218. DOI: 10.1007/s13313-016-0405-8
5. Manoj C.S., Vipul P.P., Chirag P.C., Patel V.B., Denish S., Himani P.V., Kaushal M., Kedar N., Patel R.K. Molecular characterization and phenotypic selection for blast resistance and yield enhancement in rice (*Oryza sativa* L.) // Plant Sci. Today. 2025. Vol. 12 (3). P. 1–11. DOI: 10.14719/pst.7726
6. Scheuermann K.K., Raimondi J.V., Marschalek R., de Andrade I.A., Wickert E. Magnaporthe oryzae genetic diversity and its outcomes on the search for durable resistance. // The Molecular Basis of Plant Genetic Diversity, Prof. Mahmut Caliskan (Ed.), ISBN: 978-953-51-0157-4, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/the-molecular-basis-of-plant-genetic-diversity/magnaporthe-oryzae-genetic-diversity-and-its-outcomes-on-the-search-for-durable-resistance>. 2012. P. 331–356. DOI: 10.5772/33479
7. Wang Z.X., Yano M., Yamanouchi U., Iwamoto M., Monna L., Hayasaka H., Katayose Y., Sasaki T. The Pib gene for rice blast resistance belongs to the nucleotide binding and leucine rich repeat class of plant disease resistance genes // Plant Journal. 1999. Vol. 19(1). P. 55–64. DOI: 10.1046/j.1365-3113x.1999.00498.x
8. Wu Y., Xiao N., Chen Y., et al. Comprehensive evaluation of resistance effects of pyramiding lines with different broad-spectrum resistance genes against Magnaporthe oryzae in rice (*Oryza sativa* L.) // Rice. 2019. V. 12. article number 11. DOI: 10.1186/s12284-019-0264-3



## References

1. Ilyushko M.V., Romashova M.V., Guchenko S.S. Molekulyarnoe markirovanie genov ustoichivosti k pirikulyariozu v sortakh risa dal'nevostochnoi selektsii [Molecular marking of blast resistance genes in rice varieties of the Far Eastern breeding] // *Agrarnaya Rossiya*. 2020. № 10. P. 30–33. DOI: 10.30906/1999-5636-2020-10-30-33
2. Dubina E.V., Ruban M.G., Lesnyak S.A., Kutishcheva A.A. Sozdanie s pomoshch'yu DNK-markerov novykh genotipov risa, ustoichivyykh k pirikulyariozu [Development of new rice genotypes resistant to blast using DNA markers] // *Geneticheskii potentsial sel'skokhozyaistvennykh rastenii i ego realizatsiya v selektsii, semenovodstve i razmnozhenii. Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya Kubanskogo otd. VOGiS. Krasnodar, 2024*. P. 63–66.
3. Nartymov D.V., Dubina E.V., Ruban M.G., Aniskina Yu.V., Garkusha S.V., Shilov I.A., Velishaeva N.S., Kolobova O.S., Istomin N.K. Izucheniye geneticheskogo raznoobraziya vozbuditelya pirikulyarioza risa *Pyricularia oryzae* Sav. po kompleksu molekulyarnykh i morfologicheskikh priznakov [Study of the genetic diversity of the rice blast pathogen *Pyricularia oryzae* Cav. according to a complex of molecular and morphological characteristics] // *Genetika*. 2023. T. 59, № 6. S. 640–647. DOI: 10.31857/S0016675823060127
4. Guo L., Zhao H., Wang J., Liu H., Zheng H., Sun J., Yang L., Sha H., Zou D. Dissection of QTL alleles for blast resistance based on linkage and linkage disequilibrium mapping in japonica rice seedlings // *Australasian Plant Pathol.* 2016. Vol. 45. P. 209–218. DOI: 10.1007/s13313-016-0405-8
5. Manoj C.S., Vipul P.P., Chirag P.C., Patel V.B., Denish S., Himani P.V., Kaushal M., Kedar N., Patel R.K. Molecular characterization and phenotypic selection for blast resistance and yield enhancement in rice (*Oryza sativa* L.) // *Plant Sci. Today*. 2025. Vol. 12 (3). P. 1–11. DOI: 10.14719/pst.7726
6. Scheuermann K.K., Raimondi J.V., Marschalek R., de Andrade A., Wickert E. Magnaporthe oryzae genetic diversity and its outcomes on the search for durable resistance. // *The Molecular Basis of Plant Genetic Diversity*, Prof. Mahmut Caliskan (Ed.), ISBN: 978-953-51-0157-4, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/the-molecular-basis-of-plant-genetic-diversity/magnaporthe-oryzae-genetic-diversity-and-its-outcomes-on-the-search-for-durable-resistance>. 2012. P. 331–356. DOI: 10.5772/33479
7. Wang Z.X., Yano M., Yamanouchi U., Iwamoto M., Monna L., Hayasaka H., Katayose Y., Sasaki T. The Pib gene for rice blast resistance belongs to the nucleotide binding and leucine rich repeat class of plant disease resistance genes // *Plant Journal*. 1999. Vol. 19(1). P. 55–64. DOI: 10.1046/j.1365-3113x.1999.00498.
8. Wu Y., Xiao N., Chen Y., et al. Comprehensive evaluation of resistance effects of pyramiding lines with different broad-spectrum resistance genes against Magnaporthe oryzae in rice (*Oryza sativa* L.) // *Rice*. 2019. V. 12. article number 11. DOI: 10.1186/s12284-019-0264-3

Поступила: 22.09.25; доработана после рецензирования: 19.11.25; принята к публикации: 24.11.25.

**Критерии авторства.** Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Авторский вклад.** Костылев П.И. – научное руководство, постановка цели и задач, концептуализация исследования, написание текста статьи; Вождова Н.Н. – сбор и анализ данных, подготовка иллюстративного материала, редактирование текста статьи; Аксенов А.В. – структурный анализ образцов; Краснова Е.В. – предоставление образцов для исследования.

**Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**