







Защита растений Plant protection

DOI 10.22363/2312-797X-2021-16-4-326-336


УДК 581.2:633.18:632.938

Научная статья / Research article

Скрининг генов устойчивости к пирикулярриозу у селекционных образцов риса

Н.Н. Вожжова  , О.С. Жогалева , Н.Т. Купрейшвили ,
А.Ю. Дубина , П.И. Костылев 

Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация

 nvozhzh@gmail.com

Аннотация. Рис — одна из наиболее распространенных сельскохозяйственных культур в мире. Для решения проблемы продовольственной безопасности России необходимо увеличивать урожайность сельскохозяйственных культур или расширять их посевные площади. В связи с невозможностью в настоящее время расширения посевных площадей риса в Ростовской области и необходимостью поддержания и увеличения его урожайности, необходимо создавать новые, устойчивые к болезням сорта. Генотипы риса, имеющие несколько генов устойчивости к пирикулярриозу, избегают значительных потерь урожая. Так как пирамидирование и отбор генов устойчивости в одном генотипе традиционными методами селекции осложнен, актуальным является поиск гомозиготных образцов методами маркер-вспомогательной селекции. Цель исследования — идентификация генов устойчивости к пирикулярриозу Pi-1, Pi-2, Pi-33 и Pi-ta у селекционных образцов риса методами MAS. В исследовании использовались СТАВ-метод выделения ДНК, ПЦР, электрофорез на агарозных и полиакриламидных гелях. Полученные гели окрашивались в растворе этидиум бромид и фотографировались в ультрафиолете. В качестве контроля наличия генов устойчивости к пирикулярриозу использовали следующие родительские сорта: С104-LAC — для генов Pi-1 и Pi-33, С101-А-51 — для гена Pi-2, IR36 — для гена Pi-ta; Новатор и Боярин как контроли не функциональных аллелей всех изучаемых генов. Анализировалось 446 селекционных образцов седьмого поколения F7. Выявлено 127 образцов риса, сочетающих 2 или 3 различных гена устойчивости к пирикулярриозу. У 43 образцов (1128/1, 1149/3, 1171/2, 1177/3, 1177/4, 1186/4 и др.) идентифицировано соче-

© Вожжова Н.Н., Жогалева О.С., Купрейшвили Н.Т., Дубина А.Ю., Костылев П.И., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

тание генов Pi-2 и Pi-33. Наиболее интересны для отбора и дальнейшей селекционной работы образцы с 3 генами устойчивости. Рекомендуем использовать образцы риса с сочетаниями генов устойчивости Pi-1+Pi-2+Pi-33 (1197/1, 1226/2, 1271/1, 1272/2), Pi-1+Pi-2+Pi-ta (1197/4, 1304/2, 1304/3, 1482/3, 1482/4, 1486/1) и Pi-2+Pi-33+Pi-ta (1064/1, 1064/3, 1281/2, 1281/3, 1281/4, 1282/2, 1283/1, 1283/2, 1284/3) для создания новых устойчивых к пирикулярриозу сортов.

Ключевые слова: пирикулярриоз риса, Pi-1, Pi-2, Pi-33, Pi-ta, гены устойчивости, рис

Заявление о конфликте интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.







Финансирование. Благодарности. Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «АНЦ «Донской» № 0706-2019-0003.

Участие авторов: Вожжова Н.Н. — концепция и дизайн исследования, анализ полученных данных, написание текста; Жогалева О.С., Дубина А.Ю., Купрейшвили Н.Т. — проведение лабораторных анализов; Костылев П.И. — концепция и дизайн исследования, сбор материалов.


История статьи: поступила в редакцию 12 октября 2021 г., принята к публикации 23 ноября 2021 г.

Для цитирования: Вожжова Н.Н., Жогалева О.С., Купрейшвили Н.Т., Дубина А.Ю., Костылев П.И. Скрининг генов устойчивости к пирикулярриозу у селекционных образцов риса // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2021. Т. 16. № 4. С. 326—336. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-326-336

Screening of blast resistance genes in rice breeding samples

Nataliya N. Vozhzhova  , Olga S. Zhogaleva , Natia T. Kupreyshvili ,
Angelina Y. Dubina , Pavel I. Kostylev 

Agrarian Science Center 'Donskoy', Zernograd, Russian Federation

 nvozhzh@gmail.com

Abstract. Rice is one of the most widespread and cultivated crops in the world. It is necessary to increase the yield of crops or expand their sown areas to resolve a food security problem in Russia. Current impossibility of expanding rice cultivated areas in the Rostov region and the need to maintain and increase its yield require developing new disease-resistant varieties. Rice genotypes with multiple blast resistance genes avoid significant yield losses. Since pyramiding and selection of resistance genes in the same genotype through traditional selection methods are complicated, it is urgent to search for homozygous samples using marker-assisted selection methods. This study was aimed to identify Pi-1, Pi-2, Pi-33 and Pi-ta blast resistance genes in breeding rice samples by MAS-methods. The study used CTAB-method for DNA-isolation, PCR, electrophoresis on agarose and polyacrylamide gels. The resulting gels were stained in a solution of ethidium bromide and photographed in ultraviolet light. To control the presence of blast resistance genes the following parental cultivars were used: C104-LAC for the Pi-1 and Pi-33 genes, C101-A-51 for the Pi-2 gene, IR36 for the Pi-ta gene; Novator and Boyarin as controls of non-functional alleles of all studied genes. The 446 selection samples of the seventh generation were analyzed. As a result of the research, 127 rice samples that combine 2 or 3 different blast resistance genes were identified. The Pi-2 and Pi-33 genes combination was identified in 43 samples (1128/1, 1149/3, 1171/2, 1177/3, 1177/4, 1186/4, et al.). Samples with three resistance genes are the most interesting for selection and further breeding. For developing new blast-resistant varieties, we recommend using rice samples with the following combinations of resistance genes Pi-1+Pi-2+Pi-33 (1197/1, 1226/2, 1271/1, 1272/2), Pi-1+Pi-2+Pi-ta (1197/4,

1304/2, 1304/3, 1482/3, 1482/4, 1486/1) and Pi-2+Pi-33+Pi-ta (1064/1, 1064/3, 1281/2, 1281/3, 1281/4, 1282/2, 1283/1, 1283/2, 1284/3).

Key words: rice blast, Pi-1, Pi-2, Pi-33, Pi-ta, resistance genes, rice

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Acknowledgments. The research was carried out within the framework of the State Assignment of Agrarian Science Center ‘Donskoy’ No. 0706-2019-0003.

Author contributions. NNV, PIK conceived and designed the experiments; OSZ, AYD, NTK performed laboratory analyses; PIK collected the data; NNV analyzed the data and wrote the manuscript.

Article history:

Received: 12 October 2021. Accepted: 23 November 2021.

For citation:

Vozzhova NN, Zhogaleva OS, Kupreyshvili NT, Dubina AY, Kostylev PI. Screening of blast resistance genes in rice breeding samples. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021; 16(4):326—336. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-326-336

Введение

Рис относится к числу наиболее распространенных в мире сельскохозяйственных культур. Он повсеместно используется в пищу, а в странах Азии является одним из основных продуктов питания [1]. С ростом населения все чаще возникают проблемы недостатка еды и скрытого голода¹. Для решения проблемы продовольственной безопасности необходимо увеличивать урожайность сельскохозяйственных культур или расширять их посевные площади.

В России рис массово производится в регионах Южного федерального округа. Расширение площадей выращивания риса в Ростовской области в настоящее время не представляется возможным по причине недостатка воды в уже существующих оросительных системах².

Чтобы поддерживать и увеличивать урожайность зерновых культур, необходимо создавать новые, устойчивые к болезням, сорта. Наиболее вредоносной болезнью у риса является пирикулярриоз [2—4].

Исследователи в разных странах выявляют наличие генов устойчивости к пирикулярриозу в коллекционных образцах и выращиваемых сортах риса. Так в [5] идентифицировали 15 сортов риса, произрастающих в провинции Северная Суматра (Индонезия), которые обладают шестью генами устойчивости — Pi-d2, Pup1, Pi-ta2, Pi-37, Pi-z и Pi-b. В 2018 г. авторы [6] проводили скрининг на молекулярном и полевом уровнях доноров генов устойчивости к пирикулярриозу среди традиционных сортов риса в штате Керала (Индия) и идентифицировали наличие генов Pi 1, Pi 2 и Pi kh.

¹ Food and Agriculture Organization of the United Nations. Режим доступа: <http://www.fao.org/state-of-food-security-nutrition/ru/> (Дата обращения 22.09.2021) (Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available from: <http://www.fao.org/state-of-food-security-nutrition/ru/> [Accessed 22th September 2021])

² Министерство природных ресурсов и экологии Ростовской области. Водные ресурсы. Режим доступа: <https://xn--d1ahaoghbejbc5k.xn--p1ai/activity/356/?nav-news=page-2> (Дата обращения 06.10.2021) (Ministry of Natural Resources and Ecology of the Rostov Region. Water resources. Available from: <https://xn--d1ahaoghbejbc5k.xn--p1ai/activity/356/?nav-news=page-2> [Accessed 6th October 2021])

Ведется маркер-ориентированный отбор гомозиготных по нескольким генам образцов риса, полученных от скрещивания элитных возделываемых сортов с образцами-донорами генов устойчивости к пирикулярриозу в Индии [7] и Китае [8]. Сообщается, что в Колумбии сочетание генов устойчивости $Pi1+Pi2+Pi33$ доказало свою эффективность в течение более 10 лет [9]. В Тайланде проводилось QTL картирование устойчивости к пирикулярриозу на рекомбинантных инбредных линиях, полученных от скрещивания восприимчивого и устойчивого сортов, и была установлена локализация одного из найденных QTL в непосредственной близости к комплексу трех основных генов устойчивости $Pi 7(t)$, $Pi 1$ и $Pi 1m2$ [10].

Генотипы риса, у которых имеется несколько генов устойчивости к пирикулярриозу, менее подвержены эпифитотиям, а, следовательно, избегают значительных потерь в урожайности [11].

В процессе пирамидирования нескольких генов в одном генотипе при помощи традиционных методов селекции возникают затруднения, связанные с эффектами доминирования и эпистаза [11]. Поиск генотипа с желаемыми генами устойчивости осложняется влиянием искусственного отбора, так как селекционер в полевых условиях отбирает растения по ряду фенотипических признаков.

Таким образом, актуальным является поиск гомозиготных по нескольким генам устойчивости к пирикулярриозу образцов риса методами маркер-вспомогательной селекции (MAS).

Цель исследования — идентификация генов устойчивости к пирикулярриозу $Pi-1$, $Pi-2$, $Pi-33$ и $Pi-ta$ у селекционных образцов риса методами MAS.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования использовали 446 селекционных образцов риса F7. Их выращивали на чеках обособленного подразделения «Пролетарское» ФГБНУ «АНЦ «Донской» в 2019 г. на делянках длиной 2 м, с междурядьем 30 см (площадь делянки — 0,6 м²).

Лабораторные анализы проводили в 2019—2020 гг. в лаборатории маркерной селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». Образцы риса измельчали гомогенизатором Bertin Precellys 24 в пробирках 2,0 мл с керамическими шариками диаметром 28 мм. ДНК образцов выделяли по методу Мюррей [12] с использованием набора «ДНК-Экстран-3» (Синтол, Россия). Полимеразную цепную реакцию (ПЦР) проводили в амплификаторе Bio-Rad T-100.

Условия амплификации использовали согласно разработанным ранее протоколам, отдельно для каждого из исследуемых генов [13—15]. Полученные продукты амплификации разделяли на 2 % агарозных и 8 % полиакриламидных гелях в зависимости от определяемого гена устойчивости к пирикулярриозу. Все гели окрашивались в 0,1 % растворе этидиум бромид в 0,5-кратном TBE-буфере. Детекцию электрофореграмм проводили в ультрафиолетовом свете прибором Bio-Rad GelDoc XR+ и анализировали приложением ImageLab 6.0.1.

В качестве контроля наличия генов устойчивости к пирикулярриозу использовали следующие родительские сорта: С104-LAC — для генов Pi-1 и Pi-33, С101-A-51 — для гена Pi-2, IR36 — для гена Pi-ta; Новатор и Боярин — как контроли нефункциональных аллелей всех изучаемых генов.

Для оценки размера выявленных ампликонов использовали маркеры молекулярного веса Evrogen 50+ bp DNA Ladder (50—700 bp) на полиакриламидных гелях и Thermo Scientific GeneRuler 50 bp (50—1000 bp) на агарозных гелях.

Результаты исследования и обсуждения

В результате проведенного скрининга селекционных образцов риса F7 по определению генов устойчивости к пирикулярриозу Pi-1, Pi-2, Pi-33 и Pi-ta было получено множество электрофореграмм на агарозных и полиакриламидных гелях. Электрофореграмма по определению гена Pi-ta на агарозном геле приведена на рис. 1.



Рис. 1. Электрофореграмма скрининга образцов риса на наличие гена устойчивости к пирикулярриозу Pi-ta на агарозном геле: 1 — Маркер молекулярного веса Thermo Scientific GeneRuler 50 bp (50–1000 п. н.); 2 — H₂O деионизированная (отрицательный контроль опыта); 3 — **IR36** (положительный контроль); 4 — Д 7787/1; 5 — Д 7787/2; 6 — Д 7787/3; 7 — Д 7787/4; 8 — Д 7787/5; 9 — Д 7787/6; 10 — Д 7787/7; 11 — Д 7787/8; 12 — Д 7787/9; 13 — Д 7787/10; 14—**1064/1**; 15—**1064/2**; 16—**1064/3**; 17—**1064/4**; 18—1065/1

Fig. 1. Electropherogram of screening rice samples for the presence of the Pi-ta blast resistance gene on agarose gel: 1 — Thermo Scientific GeneRuler molecular weight marker 50 bp (50–1000 bp); 2 — deionized H₂O (negative control); 3 — **IR36** (positive control); 4 — D7787/1; 5 — D7787/2; 6 — D7787/3; 7 — D7787/4; 8 — D7787/5; 9 — D7787/6; 10 — D7787/7; 11 — D7787/8; 12 — D7787/9; 13 — D7787/10; 14—**1064/1**; 15—**1064/2**; 16—**1064/3**; 17—**1064/4**; 18—1065/1

Фрагменты ДНК, аналогичные ампликону положительного контроля (сорта-донора гена устойчивости IR36) наблюдались в образцах 1064/1, 1064/2, 1064/3 и 1064/4, следовательно, они несут в себе доминантный аллель гена Pi-ta.

У образца 1065/1 аллели гена устойчивости к пирикулярриозу Pi-ta не идентифицированы. У остальных образцов (см. рис. 1), наблюдаются ампликоны, ассоциированные с нефункциональным гомозиготным аллелем гена pi-ta.

Электрофореграмма по определению гена Pi-1 на полиакриламидном геле приведена на рис. 2.

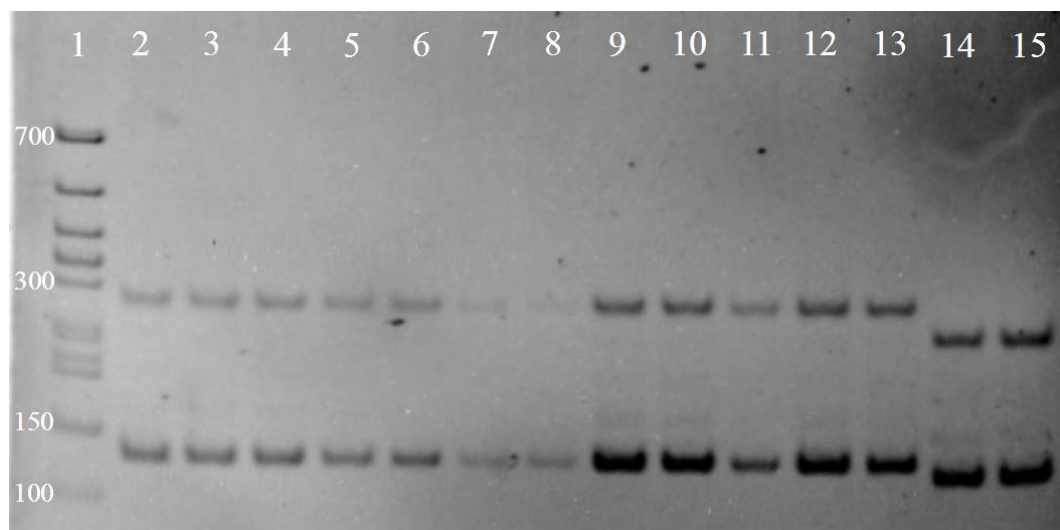


Рис. 2. Электрофореграмма скрининга образцов риса на наличие гена устойчивости к пирикулярриозу Pi-1 на полиакриламидном геле: 1 – Маркер длин ДНК 50+ bp DNA Ladder Евrogen (50–700 п. н.); 2 – **C104-LAC** (положительный контроль); 3 – Д 7787/1; 4 – Д 7787/2; 5 – Д 7787/3; 6 – Д 7787/4; 7 – Д 7787/5; 8 – Д 7787/6; 9 – Д 7787/7; 10 – Д 7787/8; 11 – Д 7787/9; 12 – Д 7787/10; 13–1141/1; 14–1141/2; 15–1141/3

Fig. 2. Electropherogram of screening rice samples for the presence of blast resistance gene Pi-1 on a polyacrylamide gel: 1 – DNA marker 50+ bp DNA Ladder Evrogen (50–700 bp); 2 – **C104-LAC** (positive control); 3 – D7787/1; 4 – D7787/2; 5 – D7787/3; 6 – D7787/4; 7 – D7787/5; 8 – D7787/6; 9 – D7787/7; 10 – D7787 / 8; 11 – D7787/9; 12 – D7787/10; 13–1141/1; 14–1141/2; 15–1141/3

Аmplифицированные фрагменты ДНК размером 137 пар нуклеотидов, аналогичным размеру ампликона сорта C104-LAC (положительный контроль), были идентифицированы в образцах Д 7787/1, Д 7787/2, Д 7787/3, Д 7787/4, Д 7787/5, Д 7787/6, Д 7787/7, Д 7787/8, Д 7787/9, Д 7787/10 и 1141/1, следовательно, у них имеется функциональный аллель гена устойчивости к пирикулярриозу Pi-1. У образцов 1141/2 и 1141/3 выявлен ампликон меньшего размера, что свидетельствует о наличии нефункционального (рецессивного) аллеля гена устойчивости к пирикулярриозу pi-1.

В результате проведенной оценки всех полученных электрофореграмм по генам устойчивости к пирикулярриозу Pi-1, Pi-2, Pi-33 и Pi-ta было выявлено распределение их аллелей у селекционных образцов риса (табл. 1).

Таблица 1

Распределение аллелей генов Pi-1, Pi-2, Pi-33 и Pi-ta у селекционных образцов риса

Аллели гена	Количество образцов, несущих аллели гена, шт.			
	Pi-1	Pi-2	Pi-33	Pi-ta
Функциональный гомозиготный (доминантный)	54	136	192	131
Гетерозиготный	1	5	16	6
Не функциональный гомозиготный (рецессивный)	204	285	121	285
Аллель не идентифицирован	247	80	177	24

Table 1

Distribution of alleles of Pi-1, Pi-2, Pi-33 and Pi-ta genes in breeding rice samples

Alleles of the gene	Number of samples carrying the alleles of the gene			
	Pi-1	Pi-2	Pi-33	Pi-ta
Functional homozygous (dominant)	54	136	192	131
Heterozygous	1	5	16	6
Non-functional homozygous (recessive)	204	285	121	285
Allele was not identified	247	80	177	24

Большое число образцов, у которых ни один из аллелей изучаемых генов не был идентифицирован, объясняется высокой вариативностью нуклеотидной последовательности в их геномах, из-за чего праймеры при проведении ПЦР не были комплементарны начальной матрице.

При объединении результатов по каждому из изученных генов было установлено распределение образцов риса по количеству сочетаемых генов устойчивости к пирикулярриозу (рис. 3).

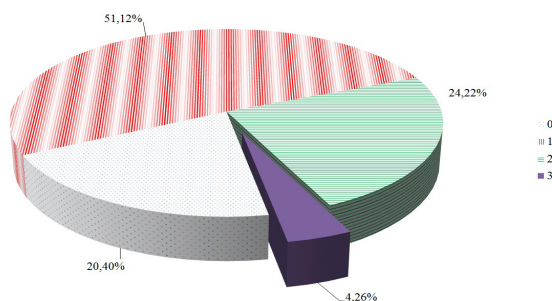


Рис. 3. Распределение образцов риса по количеству сочетаемых генов устойчивости к пирикулярриозу

Fig. 3. Distribution of rice samples by the number of combined blast resistance genes

Образцы, у которых не было идентифицировано ни одного изучаемого гена, составили 20, 4 % (91 шт.) Наличие одного гена устойчивости к пирикулярриозу наблюдалось у 51,12 % образцов (228 шт.), а сочетание двух генов устойчивости в различных комбинациях — у 24,22 % образцов (108 шт.).

Сочетание из 3 генов устойчивости к пирикулярриозу было идентифицировано у 4,26 % образцов риса (19 шт.).

Образцы риса, несущие сочетание двух и трех генов устойчивости к пирикулярриозу, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Выявленные образцы риса с несколькими генами устойчивости к пирикулярриозу

Сочетание генов устойчивости	Количество образцов	Наименование образцов
Pi1+2	5	1270/4, 1271/2, 1293/3, 1318/3, 1371/1
Pi1+33	12	1231/4, 1263/3, 1268/3, 1277/1, 1277/2, 1277/3, 1322/1, 1323/1, 1323/2, 1323/3, 1323/4, 1457/2
Pi1+ta	9	1141/1, 1304/4, 1468/1, 1468/2, 1476/1, 1476/2, 1486/2, 1486/3, 1486/4
Pi2+33	43	1128/1, 1149/3, 1171/2, 1177/3, 1177/4, 1186/4 и др.
Pi2+ta	22	1064/2, 1064/4, 1135/4, 1141/3, 1141/4, 1151/1 и др.
Pi33+ta	16	1065/2, 1242/2, 1242/3, 1242/4, 1281/1, 1281/3, 1281/4 и др.
Pi33+b	1	1127/2
Pi1+2+33	4	1197/1, 1226/2, 1271/1, 1272/2
Pi1+2+ta	6	1197/4, 1304/2, 1304/3, 1482/3, 1482/4, 1486/1
Pi2+Pi33+Pi-ta	9	1064/1, 1064/3, 1281/2, 1281/3, 1281/4, 1282/2, 1283/1, 1283/2, 1284/3

Table 2

Identified rice samples having multiple blast resistance genes

Combination of resistance genes	Number of samples	Name of samples
Pi1+2	5	1270/4, 1271/2, 1293/3, 1318/3, 1371/1
Pi1+33	12	1231/4, 1263/3, 1268/3, 1277/1, 1277/2, 1277/3, 1322/1, 1323/1, 1323/2, 1323/3, 1323/4, 1457/2
Pi1+ta	9	1141/1, 1304/4, 1468/1, 1468/2, 1476/1, 1476/2, 1486/2, 1486/3, 1486/4
Pi2+33	43	1128/1, 1149/3, 1171/2, 1177/3, 1177/4, 1186/4 et al.
Pi2+ta	22	1064/2, 1064/4, 1135/4, 1141/3, 1141/4, 1151/1 et al.
Pi33+ta	16	1065/2, 1242/2, 1242/3, 1242/4, 1281/1, 1281/3, 1281/4 et al.
Pi33+b	1	1127/2
Pi1+2+33	4	1197/1, 1226/2, 1271/1, 1272/2
Pi1+2+ta	6	1197/4, 1304/2, 1304/3, 1482/3, 1482/4, 1486/1
Pi2+Pi33+Pi-ta	9	1064/1, 1064/3, 1281/2, 1281/3, 1281/4, 1282/2, 1283/1, 1283/2, 1284/3

Всего идентифицировано 127 образцов риса, несущих сочетание 2 и 3 различных генов устойчивости к пирикулярриозу. У 43 образцов (наибольшее количество) было выявлено сочетание генов устойчивости Pi-2 и Pi-33.

Наиболее интересными для отбора являются образцы с тремя различными генами устойчивости к болезни.

Заключение

В результате проведенных методами MAS исследований были идентифицированы гены устойчивости к пирикулярриозу Pi-1, Pi-2, Pi-33 и Pi-ta у селекционных образцов риса.

Для дальнейшей селекционной работы по созданию устойчивых к пирикулярриозу сортов риса рекомендуем использовать выявленные образцы с тремя генами устойчивости: Pi-1+Pi-2+Pi-33 (1197/1, 1226/2, 1271/1, 1272/2), Pi-1+Pi-2+Pi-ta (1197/4, 1304/2, 1304/3, 1482/3, 1482/4, 1486/1) и Pi-2+Pi-33+Pi-ta (1064/1, 1064/3, 1281/2, 1281/3, 1281/4, 1282/2, 1283/1, 1283/2, 1284/3).

Библиографический список

1. Wang F., Wang F., Hu J., Xie L., Yao X. Rice yield estimation based on an NPP model with a changing harvest index // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2020. Vol. 13. Pp. 2953—2959. doi: 10.1109/JSTARS.2020.2993905
2. Asibi A.E., Chai Q., Coulter J.A. Rice Blast: a disease with implications for global food security // Agronomy. 2019. Vol. 9. № 8. P. 451. doi: 10.3390/agronomy9080451
3. Yulensri Y., Noveri, Arneti. Efektifitas formulasi cair konsorsium bakteri sebagai pengendali hama dan penyakit pada padi sawah organik // Jurnal Ilmiah Inovasi. 2020. Vol. 20. № 3. Pp. 35—40. doi: 10.25047/jii.v20i3.2366
4. El-Abbasi I.H., Khalil A.A., Awad H.M., Shoala T. Nano-diagnostic technique for detection of rice pathogenic fungus *Pyricularia oryzae* // Indian Phytopathology. 2020. Vol. 73. Pp. 673—682. doi: 10.1007/s42360-020-00254-7
5. Hannum S., Hasibuan U., Sinaga R., Wahyuningsih H. Identification of blast resistance genes in fifteen rice accessions (*Oryza sativa* L.) from North-Sumatera // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 305. P. 012076. doi: 10.1088/1755—1315/305/1/012076
6. Nickolas H., Jayalekshmy V.G., Yamini Varma C.K., Vighneswaran V. Molecular and field level screening for blast resistance gene donors among traditional rice varieties of Kerala // Journal of Tropical Agriculture. 2018. Vol. 56. № 2. Pp. 93—98. URL: <http://jtropag.kau.in/index.php/ojs2/article/view/652/463>
7. Pandian B.A., Joel J., Nachimuthu V.V., Swaminathan M., Govintharaj P., Tannidi S., Sabariappan R. Marker-aided selection and validation of various Pi gene combinations for rice blast resistance in elite rice variety ADT43 // Journal of Genetics. 2018. Vol. 97. Pp. 945—952. doi: 10/1007/s12041-018-0988-7
8. Guan H., Hou X., Jiang Y., Srivastava V., Mao D., Pan R., Chen M., Zhou Y., Wang Z., Chen Z. Feature of blast resistant near-isogenic lines using an elite maintainer line II-32B by marker-assisted selection // Journal of Plant Pathology. 2019. Vol. 101. Pp. 491—501. doi: 10.1007/s42161-018-00222-1
9. Correa-Victoria F.J., Tharreau D., Martinez C., Vales M., Escobar F., Prado G., Aricapa G. Gene combination for durable blast resistance in Colombia // Fitopatol. Colomb. 2002. Vol. 26. Pp. 47—54. URL: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/poster_riceblast.pdf
10. Noenplab A., Vanavichit A., Toojinda T., Sirithunya P., Tragoonrun S., Sriprakhon S., Vongsaprom C. QTL mapping for leaf and neck blast resistance in Khao Dawk Mali105 and Jao Horn Nin recombinant inbred lines // ScienceAsia. 2006. Vol. 32(2). Pp. 133—142. doi: 10.2306/scienceasia1513-1874.2006.32.133
11. Jamaloddin M., Durga Rani C.V., Swathi G., Anuradha C., Vanisri S., Rajan C.P.D., Krishnam Raju S., Bhuvaneshwari V., Jagadeeswar R., Laha G.S., Prasad M.S., Satyanarayana P.V., Cheralu C., Rajani G.,

Ramprasad E., Sravanthi P., Arun Prem Kumar N., Aruna Kumari K., Yamini K.N., Mahesh D., Sanjeev Rao D., Sundaram R.M., Sheshu Madhav M. Marker Assisted Gene Pyramiding (MAGP) for bacterial blight and blast resistance into mega rice variety «Tellahamsa» // *PLoS ONE*. 2020. Vol. 15(6): e0234088. doi: 10.1371/journal.pone.0234088

12. Murray M.G., Thompson W.F. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA // *Nucleic Acids Res.* 1980. Vol. 8. Pp. 4321–4325. doi: 10.1093/nar/8.19.4321

13. Ware D., Jaiswal P., Ni J., Pan X., Chang K., Clark K., Teytelman L., Schmidt S., Zhao W., Cartinhour S., McCouch S., Stein L. Gramene: A resource for comparative grass genomics // *Nucleic Acids Res.* 2002. Vol. 30. P. 103–105. doi: 10.1093/nar/30.1.103

14. Sharma R.C., Shrestha S.M., Pandey M.P. Inheritance of blast resistance and associated microsatellite markers in rice cultivar «Laxmi» // *Journal of Phytopatology*. 2007. Vol. 155. № 11–12. P. 749–753. doi: 10.1111/j.1439-0434.2007.01298.x

15. Мухина Ж.М., Мягких Ю.А., Богомаз Д., Матвеева Т.В., Токмаков С.В. Создание кодоминантного молекулярного ПЦР-маркера для идентификации гена расоспецифической устойчивости к пирикулярнозу риса Pi-ta // *Рисоводство*. 2008. № 7. С. 3–4.

References

1. Wang F, Wang F, Hu J, Xie L, Yao X. Rice yield estimation based on an NPP model with a changing harvest index. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 2020; 13:2953–2959. doi: 10.1109/JSTARS.2020.2993905

2. Asibi AE, Chai Q, Coulter JA. Rice Blast: a disease with implications for global food security. *Agronomy*. 2019; 9(8):451. doi: 10.3390/agronomy9080451

3. Yulensri Y. Efektifitas Formulasi Cair Konsorsium Bakteri sebagai Pengendali Hama dan Penyakit pada Padi Sawah Organik. *Jurnal Ilmiah Inovasi*. 2020; 20(3):35–40. doi: 10.25047/jii.v20i3.2366

4. El-Abbasi IH, Khalil AA, Awad HM, Shoala T. Nano-diagnostic technique for detection of rice pathogenic fungus *Pyricularia oryzae*. *Indian Phytopathology*. 2020; 73:673–682. doi: 10.1007/s42360-020-00254-7

5. Hannum S, Hasibuan U, Sinaga R, Wahyuningsih H. Identification of blast resistance genes in fifteen rice accessions (*Oryza sativa* L.) from North-Sumatera. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Volume 305. IOP Publishing; 2019. p.012076. doi: 10.1088/1755-1315/305/1/012076

6. Nickolas H, Jayalekshmy VG, Yamini Varma CK, Vighneswaran V. Molecular and field level screening for blast resistance gene donors among traditional rice varieties of Kerala. *Journal of Tropical Agriculture*. 2018; 56(2):93–98.

7. Pandian BA, Joel J, Nachimuthu VV, Swaminathan M, Govintharaj P, Tannidi S, Sabariappan R. Marker-aided selection and validation of various Pi gene combinations for rice blast resistance in elite rice variety ADT43. *Journal of Genetics*. 2018; 97(4):945–952. doi: 10.1007/s12041-018-0988-7

8. Guan H, Hou X, Jiang Y, Srivastava V, Mao D, Pan R, et al. Feature of blast resistant near-isogenic lines using an elite maintainer line II-32B by marker-assisted selection. *Journal of Plant Pathology*. 2019; 101(3):491–501. doi: 10.1007/s42161-018-00222-1

9. Correa-Victoria FJ, Tharreau D, Martinez C, Vales M, Escobar F, Prado G, et al. Gene combination for durable blast resistance in Colombia. *Fitopatol. Colomb.* 2002; 26: 47–54. Available from: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/poster_riceblast.pdf

10. Noenplab A, Vanavichit A, Toojinda T, Sirithunya P, Tragoonrun S, Sriprakhon S, et al. QTL mapping for leaf and neck blast resistance in Khao Dawk Mali105 and Jao Horn Nin recombinant inbred lines. *ScienceAsia*. 2006; 32(2):133–142. doi: 10.2306/scienceasia1513-1874.2006.32.133

11. Jamaloddin M, Durga Rani CV, Swathi G, Anuradha C, Vanisri S, Rajan CPD, et al. Marker Assisted Gene Pyramiding (MAGP) for bacterial blight and blast resistance into mega rice variety «Tellahamsa». *PLoS ONE*. 2020; 15(6): e0234088. doi: 10.1371/journal.pone.0234088

12. Murray MG, Thompson WF. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. *Nucleic Acids Res.* 1980; 8(19):4321–4325. doi: 10.1093/nar/8.19.4321

13. Ware D, Jaiswal P, Ni J, Pan X, Chang K, Clark K, et al. Gramene: A resource for comparative grass genomics. *Nucleic Acids Res.* 2002; 30(1):103–105. doi: 10.1093/nar/30.1.103

14. Sharma RC, Shrestha SM, Pandey MP. Inheritance of blast resistance and associated microsatellite markers in rice cultivar «Laxmi». *Journal of Phytopatology*. 2007; 155(11–12):749–753. doi: 10.1111/j.1439-0434.2007.01298.x.

15. Mukhina ZM, Myagkikh YA, Bogomaz D, Matveeva TV, Tokmakov SV. Creation of a codominant molecular PCR marker for identification of the gene of race-specific resistance to rice blast infection Pi-ta. *Rice growing*. 2008; (7):3–4.

Об авторах:

Вожжова Наталия Николаевна — кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории маркерной селекции федерального государственного бюджетного научного учреждения «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Российская Федерация, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, д. 3; e-mail: nvozhzh@gmail.com
ORCID 0000-0002-2046-4000, SPIN-код: 9601-8505

Жогалева Ольга Сергеевна — младший научный сотрудник лаборатории маркерной селекции федерального государственного бюджетного научного учреждения «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Российская Федерация, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, д. 3; e-mail: os.zogaleva@mail.ru
ORCID 0000-0003-1477-3285, SPIN-код: 1780-8070

Купрейшвили Натия Темуриевна — техник-исследователь лаборатории маркерной селекции федерального государственного бюджетного научного учреждения «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Российская Федерация, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, д. 3; e-mail: kupreyshvilin@mail.ru
ORCID 0000-0002-1726-4390, SPIN-код: 1322-6327

Дубина Ангелина Юрьевна — техник-исследователь лаборатории маркерной селекции федерального государственного бюджетного научного учреждения «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Российская Федерация, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, д. 3; e-mail: angel.myshastaja@yandex.ru
ORCID 0000-0002-1432-7616, SPIN-код: 5281-7163

Костылев Павел Иванович — доктор сельскохозяйственных наук, руководитель центра фундаментальных научных исследований федерального государственного бюджетного научного учреждения «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Российская Федерация, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, д. 3; e-mail: p-kostylev@mail.ru
ORCID 0000-0002-4371-6848, SPIN-код: 7901-1531

About authors:

Vozhzhova Nataliya Nikolaevna — Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher, Laboratory of marker selection, Agrarian Science Center 'Donskoy', 3 Nauchny gorodok st., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russian Federation; e-mail: nvozhzh@gmail.com
ORCID 0000-0002-2046-4000, eLibrary SPIN: 9601-8505

Zhogaleva Olga Sergeevna — junior researcher, Laboratory of Marker Selection, Agrarian Science Center 'Donskoy', 3 Nauchny gorodok st., Zernograd, Rostov Re-gion, 347740, Russian Federation; e-mail: os.zogaleva@mail.ru
ORCID 0000-0003-1477-3285, eLibrary SPIN: 1780-8070

Kupreyshvili Natia Temurievna — research technician, Laboratory of Marker Selection, Agrarian Science Center 'Donskoy', 3 Nauchny gorodok st., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russian Federation; e-mail: kupreyshvilin@mail.ru
ORCID 0000-0002-1726-4390, eLibrary SPIN: 1322-6327

Dubina Angelina Yurievna — research technician, Laboratory of Marker Selection, Agrarian Science Center 'Donskoy', 3 Nauchny gorodok st., Zernograd, Rostov Re-gion, 347740, Russian Federation; e-mail: angel.myshastaja@yandex.ru
ORCID 0000-1432-7616, eLibrary SPIN: 5281-7163

Kostylev Pavel Ivanovich — Doctor of Agricultural Sciences, Head of Agrarian Science Center 'Donskoy', 3 Nauchny gorodok st., Zernograd, Rostov Re-gion, 347740, Russian Federation; e-mail: p-kostylev@mail.ru
ORCID 0000-0002-4371-6848, eLibrary SPIN: 7901-1531