

Технологические признаки качества зерна риса сортов и образцов BC₂ в ускоренной селекции*

Ж. М. МУХИНА, Н. Г. ТУМАНЬЯН, Э. Ю. ПАПУЛОВА, Л. В. ЕСАУЛОВА, Е. Ю. ГНЕННЫЙ

Федеральный научный центр риса, пос. Белозерный, 3, Краснодар, 350921, Российская Федерация

Резюме. Исследования проводили с целью фенотипирования сортов риса «Коллекции Федерального научного центра риса» как источников ценных признаков по качеству зерна и BC₂-поколений с выбором лучших для создания сортов с высокими питательными свойствами. Проанализировано 10 сортов, родительских форм риса из коллекции и 211 образцов BC₂ десяти комбинаций. Исследуемый материал в 2022 г. выращивали в сосудах (по 10 растений каждого генотипа в 2...4 сосудах), наполненных рисовой, лугово-черноземной почвой, в камерах искусственного климата. Температуру днем поддерживали на уровне 28...30 °C (12 ч), ночью – 24 °C (12 ч); освещенность – 30 тыс. лк; влажность воздуха – 70 %. Большинство сортов, за исключением длиннозерного сорта Светлана (l/b=3,7), отнесены к группе среднезерных (l/b=2,1...3,0). Лучшими по совокупности признаков были сорта ВНИИР 10163 и Khaw-srinin (крупность зерна соответственно 27,4 и 26,5 г, трещиноватость – 12 и 13 %, стекловидность – 92 и 93 %). Из 22 шт. лучших BC₂ по совокупности признаков выделено 9 образцов с высокой крупностью и низкой трещиноватостью зерна: в комбинации Red-Blastonik/Велес/Велес – 26,3...26,7 г и 10...12 % соответственно; Red-Blastonik/Альянс/Альянс – 23,0 г и 10 %; Диг. 2327/Альянс/Альянс – 25,1 г и 3 %; ВНИИР 10163/Велес/Велес – 28,5...28,8 г и 10...12 %; ВНИИР 10163/Альянс/Альянс – 30,0 г и 8 %; Khaw-srinsn/Светлана/Светлана – 27,3 г и 6 %; Khaw-srinsn/Кураж/Кураж – 27,8 г и 5 %. Обнаружен гетерозисный эффект для гибридов по признакам качества зерна.

Ключевые слова: рис (*Oryza*), сорт, беккроссы, селекция, качество, гетерозис, крупность зерна, стекловидность, трещиноватость.

Сведения об авторах: Ж. М. Мухина, доктор биологических наук, главный научный сотрудник (e-mail: agroplazma@gmail.com); Н. Г. Туманьян, доктор биологических наук, зав. лабораторией; Э. Ю. Папулова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник; Л. В. Есаулова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник; Е. Ю. Гненный, аспирант.

Для цитирования: Технологические признаки качества BC₂ в ускоренной селекции сортов риса / Ж. М. Мухина, Н. Г. Туманьян, Э. Ю. Папулова и др. // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. №8. С.31–36. doi: 10.53859/02352451_2023_37_8_31

*исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда и Кубанского научного фонда, грант № 22-26-20015, <https://rscf.ru/project/22-16-20015>.

Technological characteristics of grain quality of rice varieties and accessions BC₂ in accelerated breeding

Zh. M. Mukhina, N. G. Tuman'yan, E. Yu. Papulova, L. V. Esaulova, E. Yu. Gnennyi

Federal Scientific Center for Rice Breeding, pos. Belozernyi, 3, Krasnodar, 350921, Russian Federation

Abstract. The research was carried out with the aim of phenotyping rice varieties of "Federal Rice Research Centre Collections" as sources of valuable traits for grain quality and BC₂ generations with the selection of the best ones to create varieties with high nutritional properties. 10 varieties, parental forms of rice from the collection and 211 BC₂ samples of ten combinations were analysed. In 2022, the material under study was grown in vessels (10 plants of each genotype in 2-4 vessels) filled with rice, meadow-chernozem soil, in artificial climate chambers. The temperature during the day was maintained at the level of 28-30 °C (12 h), at night – 24 °C (12 h); illumination – 30 thousand lux; humidity – 70%. Most varieties, except for the long-grain variety Svetlana (l/b=3.7), are classified as medium-grain (l/b=2.1-3.0). VNIIR 10163 and Khaw-srinin varieties were the best in terms of totality of traits (grain size – 27.4 and 26.5 g, respectively, jointing – 12 and 13%, vitreousness – 92 and 93%). Of 22 pcs. 9 samples with high grain size and low cracking of the grain were identified as the best BC₂ in terms of the totality of features: in the Red-Blastonik/Veles/Veles combination – 26.3-26.7 g and 10-12%, respectively; Red-Blastonik/Alliance/Alliance – 23.0 g and 10%; Dig. 2327/Alliance/Alliance – 25.1 g and 3%; VNIIR 10163 / Veles / Veles – 28.5-28.8 g and 10-12%; VNIIR 10163/Alliance/Alliance – 30.0 g and 8%; Khaw-srinsn/Svetlana/Svetlana – 27.3 g and 6%; Khaw-srinsn / Courage / Courage – 27.8 g and 5%. A heterosis effect was found for hybrids based on grain quality.

Keywords: rice (*Oryza*); variety; backcrosses; breeding; quality; heterosis; grain size; vitreousness; fracturing.

Author Details: Zh. M. Mukhina, D. Sc. (Biol.), chief research fellow (e-mail: agroplazma@gmail.com); N. G. Tuman'yan, D. Sc. (Biol.), head of laboratory; E. Yu. Papulova, Cand. Sc. (Biol.), senior research fellow; L. V. Esaulova, Cand. Sc. (Biol.), leading research fellow; E. Yu. Gnennyi, post graduate student.

For citation: Mukhina ZhM, Tuman'yan NG, Papulova EYu, et al. [Technological characteristics of grain quality of rice varieties and accessions BC₂ in accelerated breeding]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023;37(8):31–6. Russian. doi: 10.53859/02352451_2023_37_8_31

Основное направление использования зерна риса – производство крупы. Ее пищевую ценность, как и любого другого пищевого продукта, необходимо изучать с точки зрения удовлетворения потребностей организма человека в основных питательных веществах: белках, углеводах, жирах, витаминах, макро- и микроэлементах. Для большинства азиатских стран рис – основной источник энергии, белка и микроэлементов [1]. Цветной рис богат антоцианами и фенольными соединениями, играющими ключевую роль в питании человека благодаря своим антиоксидантным свойствам [2, 3]. Кулинарные и вкусовые качества рисопродуктов в основном определяют содержание амилозы и темпера-

тура клейстеризации крахмальной дисперсии [4, 5].

Рисопродукты производят из зерна самых различных сортов, которые создавались как издавна, так и в современном селекционном процессе [6, 7]. Актуальность селекции новых сортов риса определяет востребованность зерна с высокими технологическими свойствами, соответствующего по своим параметрам требованиям к продуктам здорового питания, в том числе функционального направления [8, 9].

Селекция зерновых во всем мире направлена на повышение пищевой ценности продукции, в том числе создания источников, способствующих профилактике ряда серьезных заболеваний человека [10]. В России стоит задача выведения сортов с цветным

перикарпом зерновки и высоким содержанием антиоксидантов [11, 12].

Селекционный процесс культурных растений основан на вовлечении широчайшего набора генотипов, использовании традиционных методов фенотипирования и новейших методов селекции, с комплексным подходом, применением современных постгеномных и клеточных технологий. С 2002 г. известен геном риса, используется широкомасштабное генотипирование секвенированием (GBS) на рисе, продемонстрирована эффективность GBS для анализа высокогетерозиготной популяции и выявлено 8154 информативных SNP маркеров при анализе 1081 F2 растений. Селекция с использованием маркеров выявила редкие аллели в различных сортах, которые определяли превосходные свойства ECQ (eating and cooking quality) [13, 14]. Мировые достижения в генетических исследованиях ECQ и перспективы дальнейшего повышения ECQ в рисе связаны с инновациями в редактировании генов и генома. Некоторое число генов/QTL было идентифицировано для свойств ECQ, таких как содержание белка и ароматических свойств [15, 16].

Однако генетические исследования, позволяющие получать большие объемы данных, как правило, сопровождаются фенотипированием морфотипа культурного растения. В части качества зерна генотипы в селекционном процессе оценивают по технологическим признакам, пищевым, питательным и кулинарным достоинствам. Технологические признаки определяют в первую очередь рентабельность производства. К таковым относят признаки крупности зерна, его пленчатости, стекловидности, трещиноватости, выхода крупы. К пищевым и питательным достоинствам – содержание крахмала, белка, амилозы, микроэлементов, витаминов, антиоксидантов и др. К кулинарным – признаки, определяющие пригодность сорта для приготовления того или иного кулинарного изделия [17].

Цель исследования – фенотипирование родительских форм – сортов «Коллекции ФНЦ риса», и образцов BC₂ поколения с выбором лучших в качестве источников ценных признаков для вовлечения в дальнейшую селекционную работу.

Условия, материалы и методы. Материалом исследования служили сорта – родительские формы белозерных и краснозерных образцов риса (10 шт.), которые были получены из «Коллекции Федерального научного центра риса» как источники и доноры ценных признаков по качеству зерна (Рубин, Велес, Альянс, Светлана, Кураж, Red Blastonik, Дигапloid Heibar, Дигапloid к.2327, ВНИИР10163), а также BC₂ популяция в количестве 211 шт. Стандартом служил

сорт Рапан.

Фенотипирование родительских форм, перспективных образцов риса BC₂ по признакам качества зерна проводили на сертифицированном оборудовании в соответствии с ГОСТ и с инструкциями к научным приборам. Исследуемый материал был выращен в камерах искусственного климата в Федеральном научном центре риса (ФНЦ), г. Краснодар в 2022 г. Почву отбирали с опытно-производственного участка (ОПУ) ФНЦ риса. Почва – рисовая, лугово-черноземная, сформирована на деградированных лесовидных и аллювиальных породах, преимущественно тяжелого гранулометрического состава. Мощность гумусового горизонта от 100 до 130 см, может достигать до 80 см. Пахотный горизонт опытного участка ФНЦ риса характеризуется: кислотностью 7,5 ед. рН (потенциометрически), содержанием общего гумуса 4,2 % (по Тюрину), легко-гидролизуемого азота 7,3 мг/100 г, общего – 0,22 %; подвижного фосфора 2,9 мг/100 г (по Чирикову), общего – 0,25 %; калия (по Чирикову) 37,4 мг/100 г, общего – 1,2 % [18].

Определение массы 1000 абсолютно сухих зерен (масса 1000 а. с. зерен) проводили по ГОСТ 10842-89, с использованием анализатора влажности ЭЛВИЗ-2, установкой измерительной воздушно-тепловой АСЭШ-8-2, автоматического счетчика семян SLY-C, весов электронных лабораторных Cas CUW-420H. Пленчатость определяли по ГОСТ 10843-76 (на шелушильно-шлифовальной установке), стекловидность – ГОСТ 10987-76 «Зерно. Методы определения стекловидности», трещиноватость – в проходящем свете с использованием диафаноскопов ДСЗ-3 и ДСЗ-2М. Форму зерновки (l/b – отношение длины к ширине) и ее линейные размеры, определяли на сканере (система анализа изображений LA 2400, WinFOLIA с использованием компьютерной программы Seedling (Канада).

Данные по форме зерновки образцов BC₂ представляли по крупности зерна, трещиноватости и пленчатости, предварительно сгруппировав образцы на две группы, исходя из формы зерновки: Рубин/Альянс//Альянс – 2,7...2,9 и 3,0...3,2.

При группировании образцов BC₂ по признакам стекловидности и трещиноватости исходили из показателя и наличия разрывов в показаниях для одной комбинации: ВНИИР 10163/Велес//Велес – 80...85 % и 90...92 %; ВНИИР 10163/Альянс//Альянс – 72...76 % и 86...90 %. У других комбинаций значения составляли непрерывный ряд.

Для расчета индекса гетерозиса (ИГ) использовали формулу К.Б. Свечина (Кирпичников В. С. Общая теория гетерозиса // Генетика. 1967. № 10. С. 167–180):

Таблица 1. Технологические признаки качества зерна родительских форм риса

Сорт	Масса 1000 а. с. з., г	Пленчатость, %	Стекловидность, %	Трещиноватость, %	Общий выход крупы, %	l/b
Рапан 2, st	24,5	18,1	92	18	69,2	2,0
Рубин	25,0	18,1	82	11	68,2	2,2
Велес	26,8	17,8	91	21	69,3	2,5
Альянс	26,3	17,9	88	7	70,4	2,6
Светлана	23,0	18,7	92	17	67,9	3,7
Кураж	23,9	18,5	89	9	68,5	3,0
Red Blastonik	26,3	19,2	87	21	69,2	2,7
Дигапloid Heibar	23,8	19,1	89	18	65,0	2,8
Дигапloid к.2327	26,5	18,7	90	17	68,3	3,0
ВНИИР10163	27,4	17,9	92	12	68,8	2,6
Khaw-srinin	26,5	18,4	93	13	68,2	2,7
НСП ₀₅	0,2	0,2	1	1	0,3	

Таблица 2. Крупность, форма и пленчатость зерна образцов ВС₂

Образец, ВС ₂	Масса 1000 а. с. з. (пределы), г	Форма зерновки (пределы), l/b	Пленчатость (пределы), %	Число образцов, шт.
Рубин/Альянс//Альянс	22,3...23,7	2,7...2,9	18,6...18,8	6
	20,6...21,4	3,0...3,2	17,5...17,9	6
Red-Blastonik/Велес//Велес	26,2...26,3	2,2...2,5	19,0...19,7	7
	22,6...26,7	2,6...2,7	19,1...19,2	12
Red-Blastonik/Альянс//Альянс	20,8...24,0	2,4...2,6	18,2...18,5	4
	21,0...24,0	2,7...2,9	18,2...18,6	8
Диг. Heibar/Велес//Велес	21,9...25,3	2,4...2,6	17,5...17,9	9
	22,1...25,1	2,7...2,8	17,4...17,8	9
Диг. Heibar/Альянс//Альянс	19,2...22,3	2,5...2,8	18,1...18,3	24
	18,7...22,8	2,9...3,2	18,2...18,4	11
Диг. 2327/Альянс//Альянс	21,0...23,7	2,7...3,2	20,0...21,0	13
	21,9...25,1	3,3...3,5	19,7...19,9	12
ВНИИР 10163/Велес//Велес	26,2...28,8	2,5...2,7	16,8...17,0	13
	24,4...26,9	2,8...2,9	16,9...17,3	12
ВНИИР 10163/Альянс//Альянс	21,4...26,8	2,4...2,7	19,2...19,6	27
	22,3...25,3	2,8...3,2	19,4...19,7	13
Khaw-sri-nsn/Светлана//Светлана	26,3...29,4	2,7...3,0	19,5...19,7	3
	26,2...29,1	3,1...3,3	19,2...19,6	9
Khaw-sri-nsn/Кураж//Кураж	25,8...28,3	2,6...3,0	18,2...18,8	5
	26,1...28,4	3,1...3,2	18,3...19,0	8
Всего				211

$$ИГ = EP \times 100 / E_p,$$

где E_p – показатель признака у гибрида, E_p – показатель этого же признака у лучшей родительской формы.

Растения выращивали в камерах искусственного климата в условиях: температура – 28...30 °С днем (12 часов), 24 °С ночью (12 часов); освещенность – 30 тыс. лк, влажность воздуха 70 %. Объем сосудов 12 л, по 10 растений в каждом сосуде, по 2...4 сосуда для каждого генотипа.

Математическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа.

Результаты и обсуждение. В качестве родительских форм были отобраны сорта с высокими признаками качества зерна. Родительские формы так же различались по технологическим признакам качества. По форме зерновки все сорта отнесены к группе среднезерных сортов, за исключением длиннозерного сорта Светлана. Масса 1000 а. с. зерен находилась в пределах 23,0...27,4 г. Пленчатость у сортов находилась в пределах 17,8...19,2 %. У сортов Альянс, Кураж и ВНИИР10163 отмечена низкая трещиноватость (до 12 %). Высокую стекловидность (более 90 %) наблюдали у сортов Велес, Светлана, ВНИИР10163 и Khaw-srinin. Общий выход крупы изменялся в пределах от 65,0 % у сорта Дигапloid Heibar до 70,4 % у сорта Альянс (табл. 1).

Потребительские достоинства зерна характеризуют стекловидность и трещиноватость. Зерновки

со стекловидным эндоспермом обеспечивают высокий выход крупы хорошего качества. Несмотря на то, что стекловидность – сортовой признак, агротехника и погодные условия в период созревания влияют на степень стекловидности. Стекловидность и трещиноватость тесно связаны, однако если высокая трещиноватость однозначно свидетельствует о низком качестве зерна, то зерно, как с низкой, так и с высокой стекловидностью используют для разного вида кулинарных изделий, например, сорта риса с мучнистым пятном используют для приготовления ризотто и пазльи [17].

В популяциях ВС₂ выявлены длиннозерные образцы с массой 1000 а. с. зерен 20,6...21,4 г – Рубин/Альянс//Альянс, 21,9...25,1 г – Диг. 2327/Альянс//Альянс), 26,2...29,1 г – Khaw-srinin/Светлана//Светлана, 26,1...28,4 г – Khaw-srinin/Кураж//Кураж.

Пленчатость зерна у образцов комбинации Рубин/Альянс//Альянс составляла 17,5...17,9 % и 18,3...19,9 % (табл. 2) у остальных длиннозерных образцов. Среднезерные образцы в популяции ВС₂ обладали средней крупностью зерна (20,8...29,4 г).

Низкая трещиноватость (до 12 %) отмечена в популяциях Рубин/Альянс//Альянс, Red-Blastonik/Альянс//Альянс, Диг. 2327/Альянс//Альянс, Khaw-sri-nsn/Светлана//Светлана. Стекловидность у этих образцов находилась в пределах от 72 до 92 % (табл. 3).

Таблица 3. Стекловидность и трещиноватость зерна образцов ВС₂

Образец	Стекловидность (пределы), %	Трещиноватость (пределы), %	Количество образцов, шт.
Рубин/Альянс//Альянс	80...89	8...12	12
Red-Blastonik/Велес//Велес	62...71	25...32	19
Red-Blastonik/Альянс//Альянс	85...92	8...10	12
Диг. Heibar/Велес//Велес	85...89	30...35	18
Диг. Heibar/Альянс//Альянс	73...81	12...16	35
Диг. 2327/Альянс//Альянс	72...80	8...12	25
ВНИИР 10163/Велес//Велес	80...85	10...15	15
	90...92	11...16	10
ВНИИР 10163/Альянс//Альянс	72...76	15...19	23
	86...90	12...14	17
Khaw-sri-nsn/Светлана//Светлана	75...83	10...12	12
Khaw-sri-nsn/Кураж//Кураж	75...82	8...13	13
Всего			211

Таблица 4. Технологические признаки качества лучших образцов

BC ₂	Образец	Масса 1000 а. с. з., г	Пленча- тость, %	Стекловид- ность, %	Трещино- ватость, %	l/b
Рубин/Альянс//Альянс	2.1.2	21,4	17,8	82	6	3,2
	2.1.7	25,3	19,1	85	11	3,0
	2.2.3	24,0	17,6	85	12	2,7
Red-Blastonik/Велес//Велес	6.1.2	26,3	18,2	68	10	2,2
	6.1.5	26,7	18,3	69	12	2,6
	6.1.6	26,2	17,8	70	13	2,2
Red-Blastonik/Альянс//Альянс	7.2.2	23,0	18,5	82	10	2,7
	7.4.6	22,4	18,7	81	11	2,8
	8.2.3	25,1	17,5	85	13	2,6
Диг. Heibar/Велес//Велес	9.2.8	21,7	18,5	75	12	2,7
Диг. Heibar/Альянс//Альянс	11.3.3	25,1	18,1	92	3	3,3
ВНИИР 10163/Велес//Велес	12.3.9	28,8	17,1	89	10	2,7
	12.1.1	26,9	17,2	88	12	2,8
	12.1.3	28,5	17,0	88	12	2,6
ВНИИР 10163/Альянс//Альянс	12.1.4	24,7	16,8	88	14	2,6
	13.1.6	30,0	18,2	90	8	2,7
	13.1.8	25,6	18,2	90	10	2,6
	13.2.9	25,3	18,4	89	11	2,6
	13.8.5	23,7	18,4	88	14	2,6
	13.9.4	25,1	18,6	86	15	2,6
Khaw-sri-nsn/Светлана//Светлана	14.1.5	27,3	17,9	90	6	2,8
Khaw-sri-nsn/Кураж//Кураж	15.1.4	27,8	18,3	91	5	3,1
НСР ₀₅		0,16	0,13	1,3	1,4	0,20

В целях ускорения селекционного процесса с использованием маркер-опосредованного беккроссирования для дальнейшего молекулярного маркирования в сегрегирующей популяции были выделены лучшие образцы по технологическим признакам зерна. Приоритетным показателем для отбора образцов был признак трещиноватости зерна. Образец BC₂ Диг. 2327/Альянс//Альянс характеризовался очень низкой трещиноватостью (табл. 4). Величина этого показателя у образца 11.3.3 – 3 %. Перспективной массой 1000 а. с. з. характеризовались образцы: Red-Blastonik/Велес//Велес 6.1.5 – 26,7 г, ВНИИР 10163/Велес//Велес 12.3.9 – 28,8 г, ВНИИР 10163/Велес//Велес 12.1.3 – 28,5 г и 13.1.6 – 30,0 г. Стекловидность зерна у всех комбинаций находилась в пределах 53...91 %. Из 22 лучших образцов 18 шт. было отнесено к группе среднезерных, l/b у них составило от 2,2 (популяция Red-Blastonik/Велес//Велес образцы 6.1.2 и 6.1.6) до 3,0 (Рубин/Альянс//Альянс образцы 2.1.7). Три образца: популяции Рубин/Альянс//Альянс – образец 2.1.2 (3,2), Диг. 2327/Альянс//Альянс – образец 11.3.3 (3,3), Khaw-srinsn/Кураж//Кураж – образец 15.1.4 (3,1) имели наименьшие показатели трещиноватости – 3, 6 и 5 % соответственно.

Выделены лучшие образцы по совокупности признаков «масса 1000 а. с. зерен» и «трещиноватость»: образец 2.1.7 в популяции BC₂ Рубин/Альянс//Альянс, где значения признаков составляло 25,3 г и 11 % и были на 0,8 г выше и 7 % ниже, чем у сорта стандарта Рапана соответственно; 6.1.2 и 6.1.5 – Red-Blastonik/Велес//Велес, где крупность зерна была выше на 1,8 г и 2,2 г, а трещиноватость ниже на 8 и 6 % соответственно; 7.2.2 (Red-Blastonik/Альянс//Альянс) – крупность зерна и трещиноватость зерна были ниже на 1,5 г и 8 %; 8.2.3 (Диг. Heibar/Велес//Велес) – выше на 0,6 г и ниже на 5 %; 9.2.8 (Диг. Heibar/Альянс//Альянс) – крупность зерна ниже на 3,0 г, трещиноватость зерна – на 6 %, чем у сорта стандарта; 11.3.3 (Диг. 2327/Альянс//Альянс) – крупность зерна выше на 0,6 г, трещиноватость значительно ниже – на 15 %. Образец 12.3.9 (ВНИИР 10163/Велес//Велес) характеризовался высокой массой 1000 а. с. зерен

– на 4,4 г выше, чем у стандарта, и низкой трещиноватостью – 10 %, на 8 % ниже, чем у стандарта, так же, как и образец 13.1.6 (ВНИИР 10163/Альянс//Альянс) – на 5,5 г и 10 % соответственно. Образцы 14.1.5 и 15.1.4 (Khaw-srinsn/Светлана//Светлана и Khaw-srinsn/Кураж//Кураж) характеризовались высокой крупностью зерна – на 2,8 и 3,3 г выше стандарта, и низкими значениями трещиноватости – на 12 и 13 % соответственно, чем у сорта стандарта.

Выделено 2 комбинации (BC₂) у которых отмечен гетерозисный эффект по крупности зерновки, по сравнению со средним родителем. Масса 1000 а. с. зерен у большинства образцов была ниже, чем у родительских форм (отрицательный гетерозис). Гетерозис по признаку «масса 1000 а. с. зерен» отмечен в популяциях BC₂ ВНИИР 10163/Велес//Велес (образец 12.3.9, ИГ=105,1), ВНИИР 10163/Альянс//Альянс (образец 13.1.6, ИГ=109,5) (рис. 1).

По признаку трещиноватость выделено 6 образцов BC₂ популяций с отрицательным гетерозисным эффектом. По признаку «трещиноватость» эффект гетерозиса отмечен в популяциях BC₂ Red-Blastonik/Велес//Велес (образцы 6.1.2 и 6.1.5, ИГ=2,31), Диг. Heibar/Велес//Велес (8.2.3, ИГ=61,9), Диг. 2327/Альянс//Альянс (11.3.3, ИГ=42,8), ВНИИР 10163/Ве-

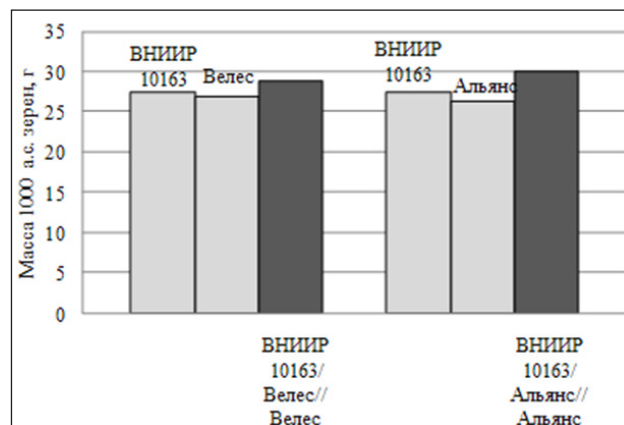


Рис. 1. Крупность зерновки родительских форм и BC₂ с гетерозисным эффектом.

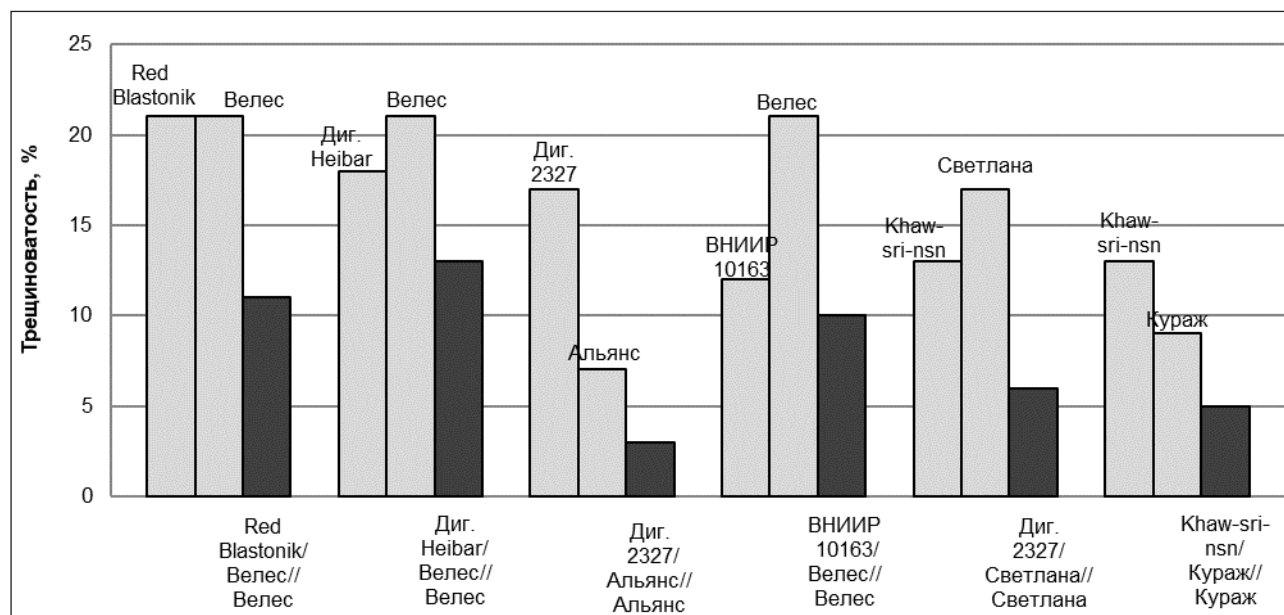


Рис. 2. Трещиноватость родительских форм и BC₂ с гетерозисным эффектом.

лес//Велес (образец 12.3.9, ИГ=83,3), Khaw-srinsn/Светлана//Светлана (14.1.5, ИГ=46,2), Khaw-srinsn/Кураж//Кураж (15.1.4, ИГ=55,6) (рис. 2).

Дальнейшая селекционная работа будет проводиться с целью сохранить лучшие показатели признаков качества зерна в новых сортах.

Выводы. Большинство сортов (родительских форм) из коллекции Федерального научного центра риса, изученных с целью поиска источников ценных признаков по качеству зерна (Рубин, Велес, Альянс, Светлана, Кураж, Red Blastonik, Дигаллоид Небар, Дигаллоид к.2327, ВНИИР 10163, Khaw-srinin) отнесены к группе среднезерных ($l/b=2,1...3,0$), длиннозерным ($l/b=3,7$) был только сорт Светлана. Масса 1000 абсолютно сухих зерен у этих генотипов составляла 23,0...27,4 г, пленчатость – 17,8...19,2 %. У сортов Альянс, Кураж и ВНИИР 10163 отмечена низкая трещиноватость (до 12 %), Велес, Светлана, ВНИИР 10163 и Khaw-srinin – высокая стекловидность (более 90 %). Общий выход крупы варьировал в пределах от 65,0 % у сорта Дигаллоид Небар до 70,4 % у сорта Альянс.

В популяции BC₂ выделено 4 образца с более высокой, чем у родительских форм, массой 1000

абсолютно сухих зерен: 12.1.3 – 28,5 г, 12.3.9 – 28,8 г, 14.1.5 – 27,3 г, 15.1.4 – 27,8 г. Выделено 9 образцов с высокой крупностью и более низкой трещиноватостью и зерна: в комбинации Red-Blastonik/Велес//Велес – 6.1.2 (26,7 г и 12 % соответственно), 6.1.5 (26,3 г и 10 %); Red-Blastonik/Альянс//Альянс – 7.2.2 (23,0 г и 10 %); Диг. 2327/Альянс//Альянс – 11.3.3 (25,1 г и 3 %); ВНИИР 10163/Велес//Велес – 12.3.9 (28,8 г и 10 %), 12.1.3 (28,5 г и 12 %); ВНИИР 10163/Альянс//Альянс – 13.1.6 (30,0 г и 8 %); Khaw-srinsn/Светлана//Светлана – 14.1.5 (27,3 г и 6 %); популяции Khaw-srinsn/Кураж//Кураж – 15.1.4 (27,8 г и 5 %).

У ряда гибридов обнаружен гетерозисный эффект по таким важнейшим признакам качества зерна риса, как масса 1000 абсолютно сухих зерен (комбинации BC₂ ВНИИР 10163/Велес//Велес – образец 12.3.9, ИГ=105,1; ВНИИР 10163/Альянс//Альянс – образец 13.1.6, ИГ=109,5) и трещиноватость (Red-Blastonik/Велес//Велес – образцы 6.1.2 и 6.1.5, ИГ=2,31; Диг. Небар/Велес//Велес – 8.2.3, ИГ=61,9; Диг. 2327/Альянс//Альянс – 11.3.3, ИГ=42,8; ВНИИР 10163/Велес//Велес – 12.3.9, ИГ=83,3; Khaw-srinsn/Светлана//Светлана – 14.1.5, ИГ=46,2; Khaw-srinsn/Кураж//Кураж – 15.1.4, ИГ=55,6).

Литература.

1. Grain quality changes and responses to nitrogen fertilizer of japonica rice cultivars released in the Yangtze River Basin from the 1950s to 2000s. / G. Junfei, Ch. Jing, Ch. Lu, et al. // *The Crop Journal*. 2015. Vol. 3. No. 4. P. 285–297. doi: 10.1016/j.cj.2015.03.007.
2. Polyphenols and human health: Prevention of disease and mechanisms of action. / D. Vauzour, A. Rodriguez-Mateos, G. Corona, et al. // *Nutrients*. 2010. Vol. 2. No. 11. P. 1106–1131. doi: 10.3390/nu2111106.
3. Variation in grain quality of upland rice from Luang Prabang province, Lao PDR / V. Xiongziyeeab, B. Rerkasemc, J. Veeradittakitb, et al. // *Rice Science*. 2018. Vol. 25. No. 2. P. 94–102. doi: 10.1016/j.rsci.2018.02.002.
4. Bao J. S., Sun M., Corke H. Analysis of the genetic behavior of some starch properties in indica rice (*Oryza sativa* L.): Thermal properties, gel texture, swelling volume // *Theor. Appl. Genet*. 2002. Vol. 104. No. 2–3. P. 408–413. doi: 10.1007/s001220100688.
5. Diversity of global rice markets and the science required for consumer-targeted rice breeding / M. Calingacion, A. Laborte, A. Nelson, et al. // *PLoS ONE*. 2014. Vol. 9. No. 1. Article e85106. URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0085106> (дата обращения: 01.04.2023). doi: 10.1371/journal.pone.0085106.
6. Grain quality variation and relationships with morphophysiological traits in rice (*Oryza sativa* L.) genetic resources in Europe / S. D. Koutroubas, F. Mazzini, B. Pons, et al. // *Field Crops Research*. 2004. Vol. 86. P. 115–130. doi: 10.1016/S0378-4290(03)00117-5.
7. Assessing Ghana's initiative of increasing domestic rice production through the development of rice value chain / M. Addison, P. Sarfo-Mensah, S. E. Edusah, et al. // *Global Science Research Journals*. 2015. Vol. 3. No. 4. P. 230–237.
8. Genes coding for starch branching enzymes are major contributors to starch viscosity characteristics in waxy rice (*Oryza sativa* L.) / Y. Han, M. Xu, X. Liu, et al. // *Plant Science*. 2004. Vol. 166. P. 357–364. doi: 10.1016/j.plantsci.2003.09.023.
9. Impact of production inputs and timing on crackness of rice in northern Ghana / D. A. Odoom, J. X. Kugbe, I. K.

Dzomeku, et al. // *International Journal of Agronomy*. 2021. Vol. 2021. Article 9982911. URL: <https://www.hindawi.com/journals/ija/2021/9982911/> (дата обращения: 31.05.2023). doi: 10.1155/2021/9982911.

10. Полонский В. И., Лоскутов И. Г., Сумина А. В. Селекция на содержание антиоксидантов в зерне как перспективное направление для получения продуктов здорового питания // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018. Т. 22. № 3. С. 343–352. doi: 10.18699/VJ18.370.

11. Классификация цветных сортов риса (с красным и черным перикарпом зерновки), как объектов генетической коллекции на основе анализ количественных признаков качества. / Н. Г. Туманьян, Э. Ю. Папулова, Т. Б. Кумейко и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30. № 3. С. 57–61. doi: 10.3389/fpls.2022.937767.

12. Фенотипирование сортов «Коллекции генетических ресурсов риса, овощных и бахчевых культур» по технологическим признакам зерна в связи с разработкой селекционной технологии создания сортов риса с высоким пищевым качеством зерна / С. В. Гаркуша, Н. Г. Туманьян, Ж. М. Мухина и др. // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2022. Т. 98. С. 59–63. doi: 10.21515/1999-1703-98-59-63.

13. Improved 93-11 genome and time-course transcriptome expand resources for rice genomics / S. Wang, S. Gao, J. Nie, et al. // *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 12. Article 769700. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.769700/full> (дата обращения: 11.05.2023). doi: 10.3389/fpls.2021.769700.

14. Post-genomics revolution in the design of premium quality rice in a high-yielding background to meet consumer demands in the 21st century. / N. Sreenivasulu, C. Zhang, R. N. Jr. Tiozon, et al. // *Plant Communications*. 2022. Vol. 3. No. 3. Article 100271. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590346221001851?via%3Dihub> (дата обращения: 12.05.2023). doi: 10.1016/j.xplc.2021.100271.

15. Adapting genotyping-by-sequencing for rice F_2 populations / F. Tomoyuki, A. Motoyuki, K. J. Kshirod, et al. // *G3 Genes|Genomes|Genetics*. 2010. Vol. 7. No. 3. P. 881–893. doi: 10.1534/g3.116.038190.

16. Rice phenotyping through grain quality traits for the development of new generation cultivars / Zh. M. Mukhina, N. G. Tumanyan, E. Yu. Papulova, et al. // *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*. 2022. Vol. 54. No. 4. P. 700–709. doi: 10.54910/sabrao2022.54.4.2.

17. Туманьян Н. Г., Кумейко Т. Б. Методологические основы оценки качества зерна риса в селекционном процессе // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2020. Т. 86. С. 126–130. doi: 10.21515/1999-1703-86-126-130.

18. Шеуджен А. Х., Бондарева Т. Н. Методика агрохимических исследований и статистическая оценка их результатов. 2-е изд. перераб. и доп. Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2015. 661 с.

References

1. Junfei G, Jing Ch, Lu Ch, et al. Grain quality changes and responses to nitrogen fertilizer of japonica rice cultivars released in the Yangtze River Basin from the 1950s to 2000s. *The Crop Journal*. 2015;3(4):285-97. doi: 10.1016/j.cj.2015.03.007.
2. Vauzour D, Rodriguez-Mateos A, Corona G, et al. Polyphenols and human health: Prevention of disease and mechanisms of action. *Nutrients*. 2010;2(11):1106-31. doi: 10.3390/nu2111106.
3. Xongsyeeab V, Rerkasem B, Veeradittakit J, et al. Variation in grain quality of upland rice from Luang Prabang province, Lao PDR. *Rice Science*. 2018;25(2):94-102. doi: 10.1016/j.rsci.2018.02.002.
4. Bao JS, Sun M, Corke H. Analysis of the genetic behavior of some starch properties in indica rice (*Oryza sativa* L.): Thermal properties, gel texture, swelling volume. *Theor. Appl. Genet.* 2002;104(2-3):408-13. doi: 10.1007/s001220100688.
5. Calingacion M, Laborte A, Nelson A, et al. Diversity of global rice markets and the science required for consumer-targeted rice breeding. *PLoS ONE* [Internet]. 2014 [cited 2023 Apr 1];9(1): Article e85106. Available from: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0085106>. doi: 10.1371/journal.pone.0085106.
6. Koutroubas SD, Mazzini F, Pons B, et al. Grain quality variation and relationships with morphophysiological traits in rice (*Oryza sativa* L.) genetic resources in Europe. *Field Crops Research*. 2004;86:115-30. doi: 10.1016/S0378-4290(03)00117-5.
7. Addison M, Sarfo-Mensah P, Edusah SE, et al. Assessing Ghana's initiative of increasing domestic rice production through the development of rice value chain. *Global Science Research Journals*. 2015;3(4):230-7.
8. Han Y, Xu M, Liu X, et al. Genes coding for starch branching enzymes are major contributors to starch viscosity characteristics in waxy rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Science*. 2004;166:357-64. doi: 10.1016/j.plantsci.2003.09.023.
9. Odoom DA, Kugbe JX, Dzomeku IK, et al. Impact of production inputs and timing on crackness of rice in northern Ghana. *International Journal of Agronomy* [Internet]. 2021 [cited 2023 May 31];2021: Article 9982911. Available from: <https://www.hindawi.com/journals/ija/2021/9982911/>. doi: 10.1155/2021/9982911.
10. Polonskiy VI, Loskutov IG, Sumina AV. [Breeding for antioxidant content in grain as a promising trend in obtaining healthy food products]. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii*. 2018;22(3):343-52. Russian. doi: 10.18699/VJ18.370.
11. Tumanyan NG, Papulova EYu, Kumeyko TB, et al. [Classification of colored rice varieties (with red and black grain pericarp) as objects of the genetic collection based on the analysis of quantitative quality traits]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2016;30(3):57-61. Russian. doi: 10.3389/fpls.2022.937767.
12. Garkusha SV, Tumanyan NG, Mukhina ZhM, et al. [Phenotyping of varieties from "Collection of genetic resources of rice, vegetable and melon crops" by technological characteristics of grain in connection with the development of breeding technology for developing rice varieties with high nutritional grain quality]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022;98:59-63. Russian. doi: 10.21515/1999-1703-98-59-63.
13. Wang S, Gao S, Nie J, et al. Improved 93-11 genome and time-course transcriptome expand resources for rice genomics. *Frontiers in Plant Science* [Internet]. 2022 [cited 2023 May 11];12: Article 769700. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.769700/full>. doi: 10.3389/fpls.2021.769700.
14. Sreenivasulu N, Zhang C, Tiozon RN Jr, et al. Post-genomics revolution in the design of premium quality rice in a high-yielding background to meet consumer demands in the 21st century. *Plant Communications* [Internet]. 2022 [cited 2023 May 12];3(3): Article 100271. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590346221001851?via%3Dihub>. doi: 10.1016/j.xplc.2021.100271.
15. Tomoyuki F, Motoyuki A, Kshirod KJ, et al. Adapting genotyping-by-sequencing for rice F_2 populations. *G3 Genes|Genomes|Genetics*. 2010;7(3):881-93. doi: 10.1534/g3.116.038190.
16. Mukhina ZhM, Tumanyan NG, Papulova EYu, et al. Rice phenotyping through grain quality traits for the development of new generation cultivars. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*. 2022;54(4):700-9. doi: 10.54910/sabrao2022.54.4.2.
17. Tumanyan NG, Kumeyko TB [Methodological bases of rice grain quality assessment in the breeding process]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020;86:126-30. Russian. doi: 10.21515/1999-1703-86-126-130.
18. Sheudzhen AKh, Bondareva TN. Metodika agrokhimicheskikh issledovaniy i statisticheskaya otsenka ikh rezul'tatov [Methods of agrochemical research and statistical evaluation of their results]. 2nd rev. ed. Maikop (Russia): Poligraf-YUG; 2015. 661 p. Russian.