условиях среды ($b_i > 1$, $S^2d_i = 0$).

Таким образом на основе полевого изучения сортов льна – долгунца и льна масличного выявлен адаптивный потенциал сортов по количественным показателям. В результате оценки выявлены источники полевой всхожести семян, биологической устойчивости растений и высоты растения для условий юга Тюменской области.

Список литературы

1. Методические указания по селекции льна-долгунца / Л.Н. Павлова [и др.]; Всерос. науч.- исслед. ин-т льна. – Торжок [б. и.], 2004. – 44 с.
2. Eberhart, S.A. Stability parameters for comparing varieties / S.A. Eberhart, W.W. Russell // Crop Science. – 1966. – Vol. 6, № 1. – P. 36–40.
3. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Колос, 1972. – 399 с.
4. Методы определения устойчивости растений: курс лекций / сост. Ю.П. Федулов – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 39 с.
5. Полонецкая, Л.М. Идентификация при отборе генотипов льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) в различных условиях выращивания / Л.М. Полонецкая, В.З. Богдан, И.А. Голуб // Вес. Нац. акад. Беларусі. Сер. біял. навук. – 2009. – № 2. – С. 22–27.
6. Королев, К.П. Экологический скрининг коллекционных образцов льна-долгунца в условиях северо-востока Беларуси/ К.П. Королев // «Молодежь в науке»: материалы Межд. молод.- конф., Минск, 18-19 ноября 2014 г. / Нац. акад. наук Беларуси; редкол.: В.В. Казбанов [и др.]. – Минск, 2014. – С. 24.

DOI 10.18699/GPB2020-40

Мировые генетические ресурсы риса и отечественные достижения в селекции на качество зерна

Коротенко Т.Л.^{1*}, к.с.-х.н., руководитель группы УНУ, с.н.с.; Садовская Л.Л.², зав. справочно-библиографическим отделом, м.н.с.

¹ФГБНУ ФНЦ риса, г. Краснодар, Россия;

²ГПНТБ СО РАН, г. Новосибирск, Россия.

*e-mail: korotenko.tatyan@mail.ru

В статье обобщены данные по изучению в 2014–2019 гг. генетических ресурсов риса отечественной и зарубежной селекции из коллекции ФНЦ риса, которая насчитывает более 7 тыс. образцов из 42 стран мира. Приведены показатели качества зерна традиционных кубанских сортов и достижений ведущих рисосеющих стран, выращенных в Краснодарском крае. Ведется селекция эксклюзивных сортов на широкий потребительский спрос.

Ключевые слова: рис, семенная коллекция, сорт, селекция, качество зерна.

Global rice genetic resources and domestic achievements in breeding for grain quality

Korotenko T.L., FSBSI Federal Research Center for Rice, Krasnodar, Russia
Sadovskaya L.L., State Public Scientific Technological Library Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia.

The article summarizes the data on studying in 2014–2019 genetic resources of rice of domestic and foreign breeding from the collection of the Federal Scientific Rice Centre, which has more than 7 thousand samples from 42 countries of the world. Grain quality indicators of traditional Kuban varieties and achievements of the leading rice-growing countries grown in the Krasnodar region are presented. Exclusive varieties are selected for wide consumer demand.

Key words: rice, seed collection, variety, breeding, grain quality.

Теплолюбивая культура рис из тропических и субтропических регионов хорошо приспособляется к разнообразным эколого-географическим условиям выращивания, возделывается в 120 странах на 163 млн. га, в том числе и в самом северном ареале рисосеяния – России. Рис является основным источником энергии и белка для 4,5 миллиардов человек, эта зерновая продовольственная культура дает в год 650 млн тонн зерна (FAO, 2014) [1, 2].

В мире насчитывается около 1750 генетических банков растений, где собрано более 420 тыс. зародышевой плазмы риса – незаменимых источников специфических признаков в изменяющихся условиях окружающей среды. Богатое генетическое разнообразие сортов риса в мире обусловлено совокупным воздействием разнообразных агроэкосистем и культурных предпочтений человека [3, 4]. Японским Национальным институтом агробиологических наук собрана коллекция культуры – 44 тыс. образцов; Международный научно-исследовательский институт IRRI (Филиппины) сохраняет самую генетически разнообразную коллекцию риса в мире: 124 тыс. (*O. sativa*), 1651 (*O. glaberrima*) и 4508 (дикие родственники). Национальный Генный банк Китая насчитывает более 80 тыс.; национальная коллекция США при Министерстве сельского хозяйства (USDA) – более 19 тыс. из 110 стран; Национальный банк генов в Индии (NBPGR) – более 104 тыс. [5, 6]; в России Вавиловская коллекция риса (ВИР, г. Санкт-Петербург) – около 12 тыс. [7], а коллекция ФГБНУ ФНЦ риса (г. Краснодар) – более 7,1 тыс. образцов риса [8].

При этом ученые отмечают, что лишь небольшая часть всей сохраняемой генплазмы риса использована в селекционных программах, фундаментальных и прикладных исследованиях. Эффективность использования генетических ресурсов должна значительно возрасти в будущем производстве риса, так как новые высокоурожайные сорта должны удовлетворять потребностям рынка. *Oryza sativa* L. – одна из наиболее изучаемых в мире крупяных

культур с точки зрения качества зерна, этому свидетельствует проведенный в ГПНТБ СО РАН анализ публикационной активности в области «grain rice quality». По данным аналитической системы Scopus за 2009–2018 годы выявлено 2668 документов, значительная часть которых (92 %) – это журнальные статьи, в аспекте регионального вклада: наибольшее количество публикаций авторов, аффилированных с организациями в Китае (32 %), Индии (18 %), США (12 %). Учитывая рассчитываемые в Scopus показатели CiteScore, SJR, SNIP, выделен научный журнал «Field Crops Research» (Elsevier), при этом самые цитируемые научные работы в области качества риса написаны китайскими исследователями, а также учеными из Филиппин, Нидерландов, Германии, США, Италии и Индии.

Физико-химические свойства крахмала и кулинарные характеристики отличаются у разных генотипов и подвидов риса, а также условия выращивания и окружающая среда значительно влияют на их свойства, что усложняет производство зерна с требуемым качеством. В настоящее время качество зерна риса классифицируется стандартами разных стран на 4–5 типов по его физическим, кулинарным и сенсорным характеристикам. По форме зерна сорта риса делят на округлозерные (*japonica*) и длиннозерные (*indica*), внешний вид зерна определяет его цену на рынке, а кулинарные и сенсорные свойства – востребованность и предназначение в зависимости от предпочтений потребителей и национальных особенностей конкретной страны [9]. Широкое распространение любого нового сорта риса на других континентах не гарантировано без понимания потребительских предпочтений по качеству. Потребители риса в Малайзии, Индонезии, Бангладеш и Филиппин предпочитают длинные и тонкие зерна. В ряде стран северной Азии: Японии, Тайвани, Корее едят короткие и толстые рисовые зерна, в Европе больше популярны средние зерна, а в Китае популярен короткозерный рис белый и с пигментированной зерновкой. Хорошо известны в мире европейские элитные сорта Арборио, Бальдо, Карнароли (Италия); американские Bluebonnet, Texas Panta 49, Dawn, Coloro и Nato; среднеазиатские для плова Арпа-Шалы, Узрос 7, Ходжа-Ахмат, Кырмызы, Девзира, Чунгара, Аланга и Лазарь, Амбарбу белый, Дунган-шалы, Маржан, Ару, Тогускен; дальневосточные Кендзо, Дихроа 213, Сантахезский 52. В мире популярны и востребованы экзотические сорта: Жасмин, индийский ароматный Басмати, египетский Камолино, тибетский дикий черный рис с приятным ореховым вкусом, итальянский Nerone rice – эксклюзивный сорт черного риса с особенным ароматом сандалового дерева.

В коллекции УНУ «ФНЦ риса» (Краснодар) собрана генплазма *Oryza s. L* двух подвидов *indica* и *japonica* из 42 стран, 8 эколого-географических групп. По технологическим и биохимическим признакам качества изучено за пятилетний период более 600 образцов. Форма зерновки (l/b) образцов коллекции, варьирующая от 1,3 до 4,1 и крупность зерна (масса 1000 зерен

от 16,3 до 43 граммов) отражают фенотипическое разнообразие мирового культурного сортамента (табл. 1).

Таблица 1 – Диапазон варьирования признаков у генотипов коллекции «ФНЦ риса»

Наименование признака	Min–max	Наименование признака	Min–max
Высота растений	36–150 см	Длина зерновки	3,1–9,4 мм
Длина метелки	7,5–28,0 см	Форма зерновки (l/b)	1,5–4,1
Плотность метелки	1,4–21 шт./см	Пленчатость зерна	15,1–24,0 %
Число колоск. на метелке	23,3–326,3 шт.	Общий выход крупы	60,0–74,0 %
Масса зерна с метелки	0,5–8,1 г	Содержание амилозы	1,2–31,8 %
Масса 1000 зерен	16,3–43,1 г	Содержание белка в зерне	2,35–11,9 %

С использованием генетического разнообразия селекционерами «ВНИИ риса» создано более 100 сортов риса, районировано 68, в Госреестре охраняемых сортов РФ на 2019 г. включено 45 сортов, в том числе 8 эксклюзивных: глutiнозный Вита, краснозерные Марс, Рыжик, Рубин, чернозерные Южная ночь, Гагат, Мавр, ароматный Аромир и длиннозерные Ласточка, Злата, Шарм, Австрал. В нашей стране производство риса неуклонно растет – от 30–40 ц/га в 1996–2000 гг. до 60–65 ц/га в 2015–2018 гг. за счет создания поколения новых сортов с потенциалом урожайности до 8–10 т/га, что позволяет полностью обеспечить население страны всеми видами крупы риса отечественного производства [10]. В таблице 2 приведена сравнительная характеристика кубанских и сортов ведущих рисолюбивых стран.

Таблица 2 – Характеристика сортов риса российской и мировой селекции по качеству зерна из коллекции ФНЦ риса

Номер по каталогу	Наименование сорта	Страна	Масса 1000 зерен, г	Пленчатость, %	Стекло-видность, %	l/b	Выход крупы, %	
							общий	доля цел. ядра
1	2	3	4	5	6	7	8	9
04062	Рапан	Россия	26,4	17,8	91,0	2,0	70,4	92,1
04431	Виктория	Россия	27,8	18,5	93,0	1,9	70,1	90,2
04220	Сонет	Россия	24,1	17,6	89,0	2,1	73,5	90,9
04490	Олимп	Россия	23,4	16,4	92,0	2,1	70,7	92,1
04335	Флагман	Россия	28,7	17,7	95,0	2,1	74,0	98,1
04802	Партнер	Россия	27,1	19,7	97,0	2,4	71,2	91,2
04789	Титан	Россия	34,0	17,5	84,0	2,4	69,8	66,8
04668	Фаворит	Россия	29,6	18,4	91,0	2,2	69,3	93,1
04489	Австрал	Россия	23,5	19,4	94,0	3,4	68,6	83,7
04889	Яхонт	Россия	28,3	17,4	91,0	2,2	73,0	86,2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
04973	Юбилейный 85	Россия	28,2	20,8	95,0	1,9	72,0	93,0
04882	Злата	Россия	24,0	21,4	89,0	3,3	65,7	75,6
04468	Maratelli	Франция	29,2	19,3	61,0	1,9	70,8	91,0
04632	Османчик	Турция	30,9	17,2	83,0	2,1	72,3	91,0
86-07	NEGIS	Турция	34,3	17,3	88,0	2,3	71,8	62,7
04703	Roxani	Греция	35,9	22,6	77,0	2,4	65,0	89,7
04840	Cammeo	Италия	34,0	17,8	75,0	2,4	65,2	93,0
04495	Gisa 178	Египет	18,9	21,2	96,0	2,1	72,7	99,0
160-12	WAB 96-1-1	Африка	24,0	17,6	65,0	2,3	72,6	62,0
04479	Geumobyeo	Корея	25,2	19,2	98,0	1,8	73,4	95,0
04697	Fuku-Juki	Япония	24,1	18,9	87,0	1,7	71,3	97,7
151-09	WJ 17	Вьетнам	22,9	20,8	89,0	2,1	69,2	94,8
168-09	TreaonWAB 99-17	Вьетнам	31,6	20,2	90,0	2,8	69,4	91,0
157-12	SADRI	Иран	20,9	21,2	84,0	3,2	69,0	53,0
105-15	IRRI 142	Филиппины	21,9	17,6	88,0	1,8	72,0	97,5
255-08	ПВ-1 Kirkpinar	Филиппины	35,3	17,0	68,0	2,3	72,2	44,6
247-11	Ganzaoxian 49	Китай	21,8	20,3	94,0	3,2	68,9	89,3
234-09	Ji sheng 202	Китай	22,5	20,5	90,0	1,9	70,8	94,0
99-12	DULAR	Индия	21,3	23,0	83,0	2,6	68,4	85,7
03-82	Dedalo	США	23,7	19,2	98,0	3,2	71,0	92,1
03-25	Пак-5	Мадагаскар	32,4	20,7	74,0	2,2	66,3	67,8
97-12	CUIABANA	Бразилия	20,6	23,0	76,0	2,7	66,7	72,6
04395	Мадина	Казахстан	36,3	18,5	82,0	2,5	66,3	87,2
03325	Амбарбу белый	Азерб-ан	26,8	19,0	56,0	2,1	68,0	68,8
03324	Челяй	Азерб-ан	35,9	18,3	59,0	2,1	68,5	87,8
03782	Талмас 2	Узбекистан	24,4	18,8	82,0	2,2	71,9	94,2
НСП ₀₅			1,7	0,6	2,6		1,2	3,1

Возделываемые в Краснодарском крае высокоурожайные сорта риса не уступают по качеству зерна зарубежным, при этом современная селекция ведется на иммунитет, увеличение крупности зерна и создание эксклюзивных сортов на широкий потребительский спрос.

Список литературы

1. www.fao.org/publications, <http://www.un.org/russian/news/story.asp?NewsID=21022#.WCdtkC2LSM8>
2. Agrama, H.A. Genetic structure associated with diversity and geographic distribution in the USDA rice world collection / H.A. Agrama, W. Yan, M. Jia, R. Fjellstrom, A.M. McClung / Nat. Sci. – V. 2. – 2010. – Is. 4. – P. 247–291.
3. Жученко, А.А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы) / А.А. Жученко. – Т. 2 – 2009. – 1098 с.
4. Chang, T.T. The Conservation and use of Rice Genetic Resources / T.T. Chang, C.R. Adair, T.H. Johnston // Advances in Agronomy. – V. 35. – 1982. – P. 37–91.

5. Bhaskar, C. Genetic and Genomic Resources for Grain Cereals Improvement / Bhaskar C. Patra, Soham Ray, Umakanta Ngangkham, Trilochan Mohapatra. – 1: Rice, 2016. – P. 1–80.
6. Kehu, Li. Genotypic diversity and environmental stability of starch physicochemical properties in the USDA rice mini-core collection / Kehu Li, Jinsong Bao, Harold Corke, Mei Sun // Food Chemistry. – V. 221. – 2017. – P. 1186–1196.
7. С.М. Алексанян, Стратегия взаимодействия генбанков мира в условиях глобализации / Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – Т. 164. – СПб.: ВИР, 2007. – С. 11–33.
8. Коротенко, Т.Л. Взаимосвязь биологических, биохимических и технологических признаков качества генплазмы коллекции риса / Т.Л. Коротенко, СС. Чижикова, Р.А. Пустовалов Р.А. / Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада, 2019. – № 133. – С. 174–181.
9. Туманьян, Н.Г. Классификация сортов риса генетической коллекции на основе агрегированного интегрального показателя качества зерна / Н.Г. Туманьян, Т.Б. Кумейко, Г.Л. Зеленский и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – №114. – С. 1580–1591.
10. Харитонов Е.М. Экологические аспекты селекционно-генетических исследований по рису / Е.М. Харитонов, Ю.К. Гончарова / Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2017. – № 3 (66). – С. 47–55.

DOI 10.18699/GPB2020-41

Получение голозерных линий ячменя после направленной модификации гена *Nud* методом CRISPR/Cas

Короткова А.М.¹, Колосовская Е.В.¹, Герасимова С.В.¹, Кукоева Т.В.¹, Хлесткина Е.К.^{1,2}

¹ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия;

²ВИР, Санкт Петербург, Россия

*e-mail: korotkova@bionet.nsc.ru

Ген Nud ячменя кодирует транскрипционный фактор, ответственный за образование липидного слоя на поверхности зерна, который, при созревании, приводит к прилипанию цветковых чешуй к зерновке и формированию, таким образом, свойства пленчатости зерна. После проведения направленной модификации генома ячменя сорта Golden promise методом CRISPR/Cas по гену Nud был получен ряд мутантов поколения T0, семена которых были голозерными. В результате отбора в трех поколениях были выделены три голозерные линии растений с гомозиготными мутациями в гене Nud: две линии несут делеции (-1 п.н.) и (-3 п.н.), одна линия содержит однонуклеотидную инсерцию (+1 п.н.).

Ключевые слова: CRISPR/Cas, ячмень, Nud, геномное редактирование, пленчатость, голозерность.