

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГИБРИДНОЙ ПОПУЛЯЦИИ РИСА МАВР × КОНТАКТ

П.И. Костылев¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства риса, ORCID ID: 0000-0002-4371-6848;

Е.В. Краснова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства риса, ORCID ID: 0000-0002-3392-4774;

Г.А. Сирапионов², агроном, ORCID ID: 0000-0001-8976-2703

¹ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок 3; e-mail: vniizk30@mail.ru;

²Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Ленина, 21

У риса могут формироваться зерновки не только белого, но и красного, коричневого и черного цвета. У чернозерного риса в перикарпе зерновки содержится антоциан, который имеет антиоксидантную активность и поэтому положительно влияет на здоровье людей. Цель исследований – выведение образцов риса с черным перикарпом. В статье представлены результаты изучения гибридной популяции второго поколения комбинации Мавр × Контакт. Сорт Мавр имеет черный околоплодник, Контакт – белый. В процессе гибридологического анализа установлены закономерности наследования основных количественных признаков, влияющих на продуктивность, выделены лучшие особи, у которых сформировались компактные прямостоячие метелки и черные зерновки, отобран исходный материал для селекционной работы. Исследования проводили в 2020 году на чеках ОП «Пролетарское» в Ростовской области. Установлено, что окраска перикарпа наследовалась по типу комплементарного взаимодействия двух генов. По высоте растений выявлено сверхдоминирование и взаимодействие двух пар генов разной силы. По длине метелки наблюдались частичное положительное доминирование, трансгрессии и дигенные различия исходных сортов. По признаку «количество колосков в метелке» выявлено сверхдоминирование больших величин и положительная трансгрессия. Выделены формы с хорошо озерненными метелками. Масса 1000 зерен характеризовалась отрицательным доминированием и дигибридным расщеплением 9:6:1. Отобраны лучшие по морфотипу формы F₂ с черным перикарпом, которые отличались оптимальной высотой растений, длинными метелками, повышенной их озерненностью и средней массой 1000 семян.

Ключевые слова: пигмент околоплодника, наследование, черный рис, белый рис.

Для цитирования: Костылев П.И., Краснова Е.В., Сирапионов Г.А. Генетический анализ гибридной популяции риса Мавр × Контакт // Зерновое хозяйство России. 2021. № 6(78). С. 39–44. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-39-44.



GENETIC ANALYSIS OF THE HYBRID RICE POPULATION 'MAVR × KONTAKT'

P.I. Kostylev¹, Doctor of Agricultural Sciences, professor, main researcher of the laboratory for rice breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-4371-6848;

E.V. Krasnova¹, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for rice breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-3392-4774;

G.A. Sirapionov², agronomist, ORCID ID: 0000-0001-8976-2703

¹Agricultural Research Center "Donskoy", 347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru;

²Azov-Blacksea Engineering Institute, branch of the Donskoy State Agricultural University, 347740, Rostov region, Zernograd, Lenin Str., 21

Rice can form not only white-color kernels, but also of red, brown and black colors. In black-color rice kernels, the pericarp contains anthocyanin, which has antioxidant activity and therefore has a positive effect on human health. The purpose of the current study was to develop rice samples with black pericarp. The paper has presented the study results of the hybrid population 'Mavr × Kontakt' of the second generation. The variety 'Mavr' has a black pericarp, the variety 'Kontakt' has a white one. In the process of hybridological analysis there have been identified the patterns of inheritance of the main quantitative traits affecting productivity; there have been identified the best samples, in which formed compact erect panicles and black kernels; there has been selected the initial material for breeding work. The study was carried out in 2020 on the plots of the ES "Proletarskoye" in the Rostov region. There was established that the color of pericarp was inherited according to the type of complementary interaction of two genes. There was found an overdominance and interaction of two pairs of genes of different strengths according to 'plant height'. There was also seen partial positive dominance, transgressions, and digenic differences of the initial varieties according to 'panicle length'. According to the traits 'number of spikelets per panicle', there was identified overdominance of large values and positive transgression. There were found the forms with well-kerneled panicles. The trait '1000 kernel weight' was characterized by negative dominance and dihybrid cleavage of 9:6:1. There have been selected the best morphotype F₂ forms with black pericarp, which possessed optimal plant height, long panicles, larger kernel size, and an average 1000 kernel weight.

Keywords: pericarp pigment, inheritance, black rice, white rice.

Введение. Большая часть потребляемого риса – это белый рис, хотя существует множество сортов, содержащих цветные пигменты, такие как красный, коричневый, фиолетовый и черный, в околоплодном слое, семенной оболочке или алейроновом слое (Chaudhary and Than, 2003). Черный рис имеет высокое содержание антоцианов в околоплодном слое (Takashi et al., 2001). Антоцианы действуют как антиоксиданты, которые убирают холестерин в крови, предотвращают анемию, потенциально повышая сопротивляемость организма болезням, улучшают функции почек, печени, предотвращают заболевания сердечных сосудов, раковые опухоли, замедляют старение. Черный рис содержит больше белка, витаминов и минералов, чем белый, а также элементов железа, цинка, марганца и фосфора (Suzuki et al., 2004).

Пигментированный рис, кроме антиоксидантов, является хорошим источником γ -оризанола, α -токоферолов, фенольных соединений, витамина Е и каротиноидов (биологически активные вещества). Последние исследования продемонстрировали, что такой рис обладает широким спектром биологической активности, имеет антиоксидантное, антиканцерогенное, антиатеросклерозное и противоаллергическое действие (Deng et al., 2013).

Черный цвет перикарпа зерновки формируется при одновременном присутствии в геноме риса трех доминантных аллелей в локусах Kala-1, Kala-3 и Kala-4, которые локализованы в 1-й, 3-й и 4-й хромосомах. У генотипов с другими сочетаниями этих аллелей образуются коричневые или белые зерновки (Maeda et al., 2014).

Сорта риса с черным перикарпом должны иметь оптимальный морфотип белозерных местных сортов и формировать высокую урожайность.

Высота растений должна быть подходящей для обеспечения устойчивости к полеганию и хорошего индекса урожая. Этот признак широко варьирует в пределах вида и находится под контролем нескольких локусов, уменьшающих или увеличивающих длину стебля. Десять генов признака «высота растения» были определены в первой, пятой, шестой, седьмой и одиннадцатой хромосомах (Lei et al., 2018).

От длины метелки риса в значительной степени зависят её структура и плотность, влияющие на урожайность зерна. Величина этого признака контролируется четырьмя QTL, локализованными в четвертой, шестой и девятой хромосомах (Liu et al., 2016).

На урожайность зерна риса в значительной степени влияют также масса зерновок и количество колосков на метелке. Количество зерен на метелке определяют 6 генов, а массу зерновки – 11 (Yuan et al., 2019).

В ФНЦ риса уже созданы сорта с антоциановым перикарпом (Гончарова и др., 2015).

Актуальным является создание сортов и для условий Ростовской области, поэтому нужна информация о наследовании признаков у гибридного потомства от скрещивания сортов с белым и черным зерном.

Цель исследований – выведение образцов риса с черным перикарпом. Задачами являлись скрещивание сортов с белым и антоциановым перикарпом, анализ наследования некоторых важных количественных признаков с последующим отбором элитных продуктивных растений для дальнейшей селекционной работы.

Материалы и методы исследований. В качестве исходного материала для гибридологического анализа были использованы 455 растений второго поколения гибрида Мавр $\times$ Контакт. У сорта Мавр – полукарликовые растения с длинной поникающей метелкой, несущей длинные черные зерновки. Сорт Контакт отличается от Мавра более ранним цветением, высотой, короткой прямостоячей метелкой и белым зерном.

Скрещивание выполнено в 2018 году, во второй год (2019) репродуцировано F_1 . Растения риса F_2 выращивали в 2020 году на чеках ОП «Пролетарское» АНЦ «Донской» (Ростовская обл.). Почва темно-каштановая, малогумусная, тяжелосуглинистая, солонцеватая до 25%. Количество гумуса не превышает 3,00%, азота – 0,21%, фосфора – 0,15%, калия – 2,50%. Родительские сорта и гибрид высевали на делянках площадью 10 м². Полевые опыты закладывали по методике Доспехова Б.А. (2012). Для гибридологического анализа популяций применяли программу Полиген А (Мережко, 2005), для обработки числовых данных – программу Statistica 8, для построения графиков – MS Excel.

В процессе роста и развития растений риса метеорологические условия были вполне благоприятными, в результате чего растения хорошо развивались, а зерно полностью созрело. Погода характеризовалась пониженным количеством осадков – 66% от нормы, и высокой суммой биологически активных температур – 3277 °С. Среднемесячная температура в мае была 16,0 °С (на 0,7 °С ниже нормы), а в июне-сентябре – значительно выше нормы – на 2,3–4,3 °С. Май и июнь были дождливыми, в июле и августе осадков было меньше половины от нормы, а в сентябре они отсутствовали.

Результаты и их обсуждение. У гибридов от скрещивания Мавра с Контакт (черное $\times$ белое) в первом поколении доминировала черная окраска зерна (Костылев и др., 2019). Во втором поколении произошло расщепление на 2 цветковых класса в соотношении: 263 с черной окраской перикарпа, 185 – с белой, или сокращенно 9:7, что соответствует комбинаторному взаимодействию генов ($\chi^2 = 0,23$; $0,80 < P < 0,90$) (табл. 1).

1. Расщепление по окраске перикарпа у F_2 гибрида Мавр × Контакт (2020 г.)
1. Cleavage by pericarp color in the rice F_2 hybrid 'Mavr × Kontakt' (2020)

Окраска перикарпа	Генетическая формула	Частота растений		Соотношение генотипов
		фактическая	теоретическая	
Черная	$Pb_Pp_$	263	252	9
Белая	$Pb_pppp, pbbpPp_ \text{ и } pbbppppp$	185	196	7
Сумма	–	448	448	16

Скрещиваемые сорта отличались между собой аллелями локусов Pb и Pp , у сорта Контакт они были рецессивными, а у сорта Мавр – доминантными, определяющими антоциановую окраску перикарпа зерновок. Черная окраска перикарпа формируется у гибридных растений, если в генотипе присутствуют сразу два доминантных аллеля локусов Pb и Pp , серебристо-белая – если имеются рецессивные аллели.

Корреляционный анализ показал, что черная окраска перикарпа слабо отрицательно коррелировала с количеством колосков ($r = -0,24 \pm 0,05$) и выполненными зерен ($r = -0,19 \pm 0,05$), но слабо положительно – с длиной зерновки ($r = 0,16 \pm 0,05$). С остальными признаками корреляция отсутствовала. Средние величины признаков в группах с черным и белым перикарпом составили: по количеству колосков на метелке – 168,2 и 197,2 шт., по количе-

ству выполненных зерен – 83,2 и 99,8 шт., длине зерновки – 8,86 и 8,66 мм. Следовательно, гены окраски находятся в одних и тех же хромосомах, что и локусы, контролирующие число колосков.

Высота растений исходных сортов отличалась на 10,8 см. Высота Kontakta составила в среднем 74,9, Мавра – 64,1, гибрида – 81,1 см. При этом высота гибридных растений варьировала в очень широком диапазоне – от 50 до 120 см (рис. 1). Из рисунка видно, что кривая распределения частот (КРЧ) гибридных растений F_2 показала значительную положительную трансгрессию. Вершина КРЧ гибрида находилась в одном классе (75–80 см) с таковой сорта Контакт. Наблюдалось сверхдоминирование этого признака ($h_p = 2,13$) и появление множества растений с большой высотой.

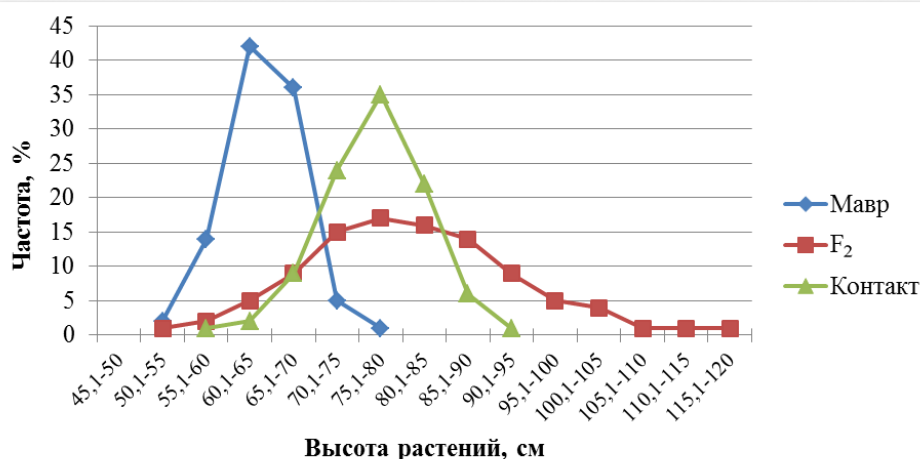


Рис. 1. Распределение частот признака «высота растений» у родительских сортов и гибрида риса F_2 Мавр × Контакт (2020 г.)

Fig. 1. Frequency distribution of the trait 'plant height' in parental varieties and rice F_2 hybrid 'Mavr × Kontakt' (2020)

Этот факт свидетельствует о различиях родительских сортов по состоянию двух пар аллелей ($AAbb$ и $aabb$). В результате рекомбинации генов, имеющих различную силу проявления, в потомстве появились растения, достигшие большей высоты, чем родительские формы. Расщепление произошло в соотношении 1:4:6:4:1.

Длина метелок у растений сорта Контакт составила в среднем 14,1 см, у Мавра – 18,4 см, у гибридов – 17,2 см. Длина метелки у растений F_2 варьировала очень широко, от 8 до 26 см, т.е. меньше и больше, чем у родительских сортов.

В потомстве появились более длинные и более короткие метелки, что объясняется влиянием трансгрессий. Наблюдалось частичное положительное доминирование этого признака ($h_p = 0,46$). КРЧ гибридной популяции была трёхвершинной в классах 14,1–15; 16,1–17 и 18,1–19 см (рис. 2). Одна из крайних вершин соответствовала сорту Контакт, другая – сорту Мавр, центральная, более высокая, располагалась посередине. В F_2 с помощью программы Полиген А были установлены дигенные различия сортов и расщепление в числовом отношении 1:4:6:4:1.

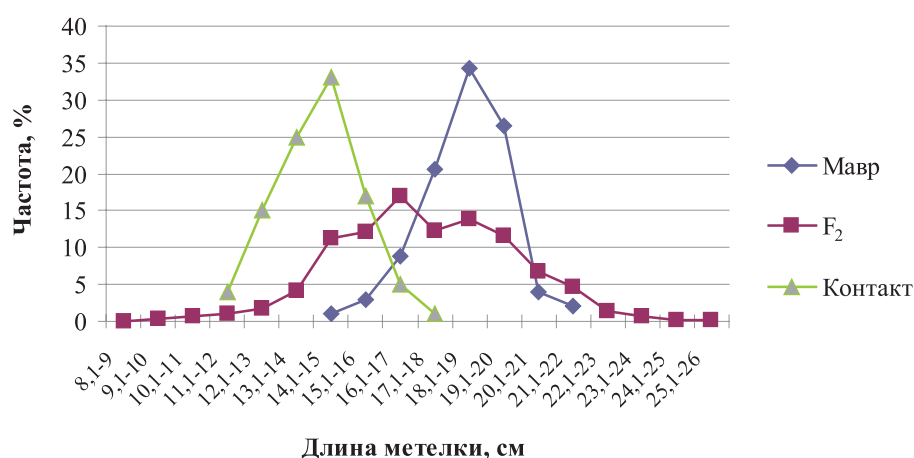


Рис. 2. Распределение частот признака «длина метелки» у родительских сортов и гибрида риса F₂ Мавр × Контакт (2020 г.)

Fig. 2. Frequency distribution of the trait 'panicle length' in parental varieties and rice F₂ hybrid 'Mavr × Kontakt' (2020 g.)

По количеству колосков в метелке родительские сорта существенно различались, средняя величина этого признака у Контакта составила 87,9, у Мавра – 118,4, а у гибрида – 178,9 шт., хотя они при этом сильно варьировали. КРЧ гибрида показала значительную положительную трансгрессию и гетерозис. Наблюдалось сверхдоминирование больших величин количества колосков, при этом степень доминирования во втором поколении достигла 4,97. Кривая была смещена вправо относительно распределений родительских сортов, выщепилось большое количество рас-

тений, метелки которых были хорошо озернены, до 380 колосков (рис. 3). Частота трансгрессивных растений, у которых количество колосков в метелке превышало 200 штук, составила во втором поколении 33,1%. Это происходило в результате взаимодействия рецессивных и доминантных аллелей трёх разных пар локусов, приведшего к появлению новых комбинаций генов, обусловивших гетерозис и появление хорошо озерненных форм, в том числе имеющих черное зерно. Расщепление произошло в соотношении 1:6:15:20:15:6:1.

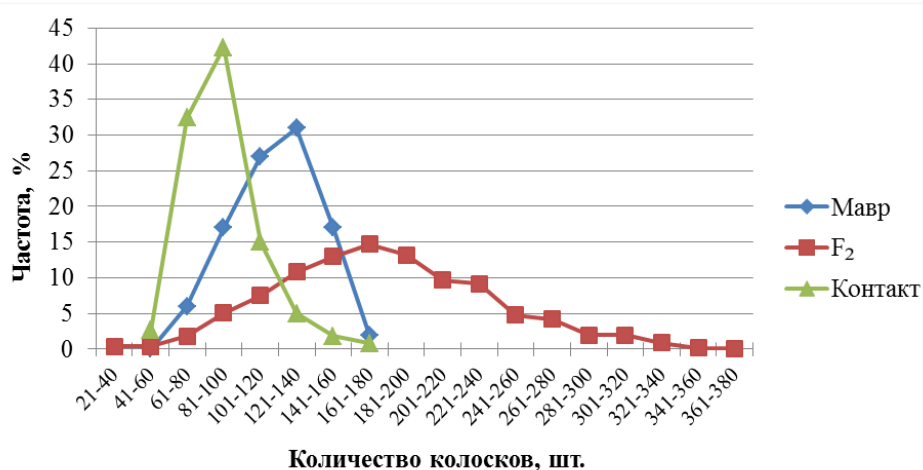


Рис. 3. Распределение частот признака «количество колосков» у родительских сортов и гибрида риса F₂ Мавр × Контакт (2020 г.)

Fig. 3. Frequency distribution of the trait 'number of spikelets' in parental varieties and rice F₂ hybrid 'Mavr × Kontakt' (2020 g.)

Масса 1000 зерен у родительских сортов различалась на 2,8 г, у сорта Мавр – 26,2 г, у сорта Контакт – 29,0 г, у гибрида она в среднем была меньше, чем у Мавра – 25,9 г. Установлена гибридная депрессия меньших значений признака ($h_p = -1,22$). Масса 1000 зерен в F₂ в основном колебалась в рамках полиморфизма родительских форм: от 21 до 34 г, однако 8%

потомков сформировали мелкое зерно от 14 до 21 г, поскольку были позднеспелыми и недостаточно вызрели. КРЧ потомков F₂ имела 3 вершины, из которых большая располагалась в одном классомом интервале с вершиной Мавра, что свидетельствует об отрицательном доминировании (рис. 4). Наблюдалось дигибридное расщепление 9: 6:1.

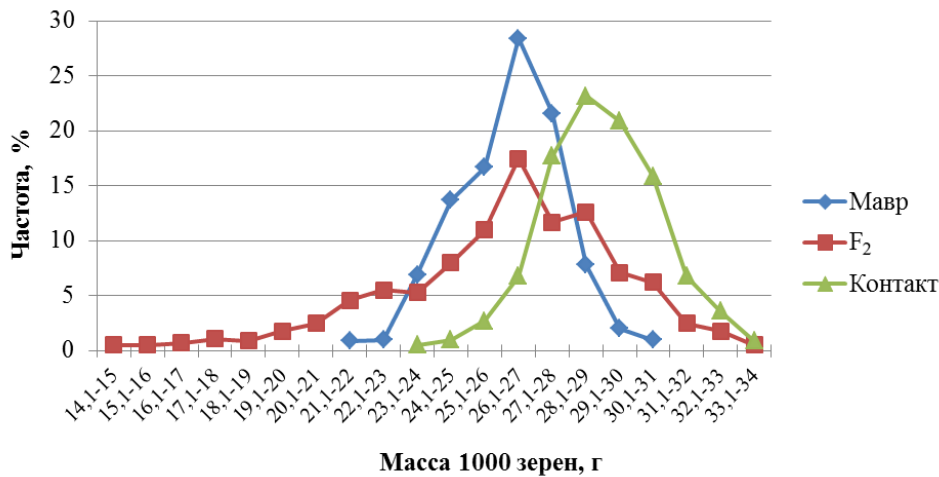


Рис. 4. Распределение частот признака «масса 1000 зёрен» у родительских сортов и гибрида риса F_2 Мавр × Контакт (2020 г.)

Fig. 4. Frequency distribution of the trait '1000-kernel weight' in parental varieties and rice F_2 hybrid 'Mavr × Kontakt' (2020)

В результате анализа были выделены линии второго поколения, зерно которых имело черную окраску перикарпа. Их характеристика представлена в таблице 2. Они отличались оп-

тимальной высотой растений (80–99 см), длинными метелками (18,2–23,0 см), повышенной их озерненностью (176–280 шт.) и средней массой 1000 семян (28–30 г).

2. Характеристика выделившихся линий F_2 из гибридной популяции Мавр × Контакт (2020 г.) 2. Characteristics of the F_2 lines in the hybrid population 'Mavr × Kontakt' (2020)

№ растений	Высота растений, см	Длина метёлок, см	Количество колосков, шт.	Масса 1000 семян, г
Контакт	75	14,1	87,9	29,0
Мавр	64	18,4	118,4	26,2
297	92	18,2	202	28
199	96	23,0	280	30
168	80	18,7	188	29
435	82	20,0	170	29
90	99	20,5	240	30
244	93	20,1	195	29
445	88	22,0	176	28
122	86	20,2	211	28
28	87	20,0	191	30
81	85	18,7	210	30
154	89	20,1	236	29
169	88	21,2	225	29
σ	11,7	2,2	23,8	1,2

Эти линии были посеяны на делянках гибридного питомника для получения третьего поколения, из которого отобраны лучшие по морфотипу формы для последующей селекционной работы по созданию скороспелых и среднеспелых продуктивных черnozерных сортов риса.

Выводы

1. По цвету перикарпа выявлено комбинаторное взаимодействие двух доминантных аллелей генов *Pb* и *Pp*. Сегрегация особей проходила в соотношении 9 черных : 7 белых.

2. У гибрида F_2 сверхдоминировали большие значения высоты растений ($h_r = 2,13$). Взаимодействие двух пар генов разной силы (*AA**bb* и *aa**BB*) способствовало тому, что в потомстве появились растения, достигшие большей высоты, чем родительские формы.

3. Длина метелки наследовалась по типу частичного доминирования. Кривые распределения частот признака гибридной популяции была трёхвершинной. В F_2 установлены дигенные различия родительских сортов и расщепление в числовом отношении 1:4:6:4:1.

4. Количество колосков на метелке показало сверхдоминирование признака ($h_r = 4,97$) и положительную трансгрессию. Выделены формы с хорошо озерненными метелками.

5. Масса 1000 зерен продемонстрировала отрицательное доминирование и дигибридное расщепление 9:6:1.

6. Отобраны лучшие по морфотипу формы F_2 с черным перикарпом, которые отличались оптимальной высотой растений, длинными метелками, повышенной их озерненностью и средней массой 1000 семян.

Библиографические ссылки

1. Гончарова Ю.К., Бушман Н.Ю., Верещагина С.А. Сорта риса с окрашенным перикарпом // Рисоводство. 2015. № 1-2(26-27). С. 9-11.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга, 2012. 352 с.
3. Костылев П.И., Краснова Е.В., Аксенов А.В. Балукова Э.С. Генетика ряда признаков у гибрида риса Контакт × Мавр // Зерновое хозяйство России. 2019. № 3(63). С. 30-35. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-63-3-30-35.
4. Мережко А.Ф. Использование менделеевских принципов в компьютерном анализе наследования варьирующих признаков // Экологическая генетика культурных растений: Материалы школы молодых ученых РАСХН, ВНИИ риса. Краснодар, 2005. С. 107-117.
5. Chaudhary R.C., Tan D.V. Speciality rices of the world: a prologue. Speciality Rices of the World: Breeding, Production and Marketing FAO, Science Pub, Enfield, NH, 2001. Pp. 3-12.
6. Deng G.F., Xiang R.X., Zhang Y., Hua B.L. Phenolic compounds and bioactivities of pigmented rice. Crit Rev Food Sci Nutr. 2013. 53(3). Pp. 296-306.
7. Lei L., Zheng H. L., Wang J. G., Liu H. L., Sun J., Zhao H. W., Yang L. M., Zou D. T. Genetic dissection of rice (*Oryza sativa* L.) tiller, plant height, and grain yield based on QTL mapping and metaanalysis // Euphytica. 2018. V. 214. № 109. Pp. 1-17.
8. Liu E., Liu Y., Wu G., Zeng S., Thu G., Thi T.G.T., Liang L., Liang Y., Dong Z., She D., Wang H., Zaid I.U., Hong D. Identification of a candidate gene for panicle length in rice (*Oryza sativa* L.) via association and linkage analysis // Front Plant Sci. 2016. 7: 596. Pp. 1-13. DOI: 10.3389/fpls.2016.00596.
9. Maeda H., Yamaguchi T., Omoteno M., Takarada T., Fujita K., Murata K., Iyama Y., Yoichiro Kojima, Morikawa M., Ozaki H., Mukaino N., Kidani Y., Ebitani T. Genetic dissection of black grain rice by the development of a near isogenic line // Breed Sci. 2014. 64(2). Pp. 134-141. DOI: 10.1270/jsbbs.64.134.
10. Suzuki M., Kimur T., Yamagishi K., Shinmoto H., Yamak K. Comparison of mineral contents in 8 cultivars of pigmented brown rice. Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi. 2004. 51(58). Pp. 424-427.
11. Takashi I., Bing Xu, Yoichi Y., Masaharu N., Tetsuya K. Antioxidant activity of anthocyanin extract from purple black rice. J Med Food. 2001. 4(4). Pp. 211-218.
12. Yuan H., Qin P., Hu L., Zhan S., Wang S., Gao P., Li J., Jin M., Xu Z., Gao Q., Du A., Tu B., Chen W., Ma B., Wang Y., Li S. OsSPL18 controls grain weight and grain number in rice // Journal of Genetics and Genomics. 2019. 46. Pp. 41-51. <https://doi.org/10.1016/j.jgg.2019.01.003>.

References

1. Goncharova YU.K., Bushman N.YU., Vereshchagina S.A. Sorta risa s okrashennym perikarpom [Varieties of rice with colored pericarp] // Risovodstvo. 2015. № 1-2(26-27). S. 9-11.
2. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. M.: Kniga, 2012. 352 s.
3. Kostylev P.I., Krasnova E.V., Aksenov A.V. Balyukova E.S. Genetika ryada priznakov u gibrida risa Kontakt × Mavr [Genetics of a number of traits in the rice hybrid 'Kontakt × Mavr'] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2019. № 3(63). S. 30-35. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-63-3-30-35
4. Merezko A.F. Ispol'zovanie mendeleevskikh principov v komp'yuternom analize nasledovaniya var'iruyushchih priznakov [The use of the Mendelian principles in computer analysis of the inheritance of varying traits] // Ekologicheskaya genetika kul'turnykh rastenij: Materialy shkoly molodykh uchenykh RASKHN, VNIi risa. Krasnodar, 2005. S. 107-117.
5. Chaudhary R.C., Tan D.V. Speciality rices of the world: a prologue. Speciality Rices of the World: Breeding, Production and Marketing FAO, Science Pub, Enfield, NH, 2001. Pp. 3-12.
6. Deng G.F., Xiang R.X., Zhang Y., Hua B.L. Phenolic compounds and bioactivities of pigmented rice. Crit Rev Food Sci Nutr. 2013. 53(3). Pp. 296-306.
7. Lei L., Zheng H. L., Wang J. G., Liu H. L., Sun J., Zhao H. W., Yang L. M., Zou D. T. Genetic dissection of rice (*Oryza sativa* L.) tiller, plant height, and grain yield based on QTL mapping and metaanalysis // Euphytica. 2018. V. 214. № 109. Pp. 1-17.
8. Liu E., Liu Y., Wu G., Zeng S., Thu G., Thi T.G.T., Liang L., Liang Y., Dong Z., She D., Wang H., Zaid I.U., Hong D. Identification of a candidate gene for panicle length in rice (*Oryza sativa* L.) via association and linkage analysis // Front Plant Sci. 2016. 7: 596. Pp. 1-13. DOI: 10.3389/fpls.2016.00596
9. Maeda H., Yamaguchi T., Omoteno M., Takarada T., Fujita K., Murata K., Iyama Y., Yoichiro Kojima, Morikawa M., Ozaki H., Mukaino N., Kidani Y., Ebitani T. Genetic dissection of black grain rice by the development of a near isogenic line // Breed Sci. 2014. 64(2). Pp. 134-141. DOI: 10.1270/jsbbs.64.134.
10. Suzuki M., Kimur T., Yamagishi K., Shinmoto H., Yamak K. Comparison of mineral contents in 8 cultivars of pigmented brown rice. Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi. 2004. 51(58). Pp. 424-427.
11. Takashi I., Bing Xu, Yoichi Y., Masaharu N., Tetsuya K. Antioxidant activity of anthocyanin extract from purple black rice. J Med Food. 2001. 4(4). Pp. 211-218.
12. Yuan H., Qin P., Hu L., Zhan S., Wang S., Gao P., Li J., Jin M., Xu Z., Gao Q., Du A., Tu B., Chen W., Ma B., Wang Y., Li S. OsSPL18 controls grain weight and grain number in rice // Journal of Genetics and Genomics. 2019. 46. Pp. 41-51. <https://doi.org/10.1016/j.jgg.2019.01.003>.

Поступила: 30.09.21; принята к публикации: 9.11.21.

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. – общее научное руководство, постановка цели и задач, анализ литературных данных, формирование методологии исследования и концепции статьи, анализ данных, написание текста статьи; Краснова Е.В. – комплектация питомников, посев сортов и образцов, руководство технологическими процессами по выращиванию растений риса; Сирапионов Г.А. – отбор растений для анализа, промеры и подсчеты, структурный анализ, заполнение таблиц.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.