

СЕГРЕГАЦИЯ РЯДА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ У ГИБРИДА РИСА F₂ КХАО НЛАН ОН × КОНТАКТ

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

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

А. В. Аксенов, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства риса, ORCID ID: 0000-0002-6641-878X;

Э. С. Балукова, агроном лаборатории селекции и семеноводства риса, ORCID ID: 0000-0001-8976-2703

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»»,

347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

В статье представлены результаты изучения гибридной популяции второго поколения комбинации Khao Hlan On × Контакт. Сорт Khao Hlan On позднеспелый, мелкозерный, быстро растущий, высокорослый, неустойчивый к полеганию, Контакт – скороспелый, среднезерный, низкорослый, устойчивый к полеганию. Цель исследований – анализ наследования основных количественных признаков у гибрида риса F₂ Khao Hlan On × Контакт и отбор лучших форм для селекции. В ходе генетического анализа выявлены особенности наследования признаков, оказывающих влияние на урожайность, отобраны лучшие растения со средней высотой, вертикальными метелками и средними по массе зерновками. Исследования проводили в 2022 г. на полях ОП «Пролетарское» (Ростовская область). По всем изученным признакам установлены моногенные различия между родительскими сортами. По высоте растений частично доминировали меньшие значения признака (hp = –0,22). По длине метелки также наблюдалось частичное отрицательное доминирование этого признака (hp = –0,35). По признаку «количество колосков в метелке» выявлено частичное доминирование меньшей величины признака (hp = –0,19). По массе 1000 зерен установлено частичное отрицательное доминирование (hp = –0,26). Отобраны лучшие по морфотипу формы F₂, которые согласно проведенным нами ранее исследованиям отличались оптимальной высотой растений, длиной метелок, числом колосков на них и массой 1000 зерен.

Ключевые слова: рис, наследование, гены, количественные признаки, сегрегация.

Для цитирования: Костылев П. И., Краснова Е. В., Аксенов А. В., Балукова Э. С. Сегрегация количественных признаков у гибрида риса F₂ Khao Hlan On × Контакт // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 1. С. 29–34. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-29-34.



SEGREGATION OF A NUMBER OF QUANTITATIVE TRAITS IN THE RICE HYBRID F₂ 'KHAO HLAN ON × KONTAKT'

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

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

A. V. Aksenov, junior researcher of the laboratory for rice breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-6641-878X;

E. S. Balyukova, agronomist of the laboratory for rice breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0001-8976-2703

FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",

347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok street, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

The current paper has presented the study results of the hybrid population of the second generation 'Khao Hlan On × Kontakt'. The variety 'Khao Hlan On' is late-maturing, small-grained, fast-growing, of tall height, resistant to lodging, the variety 'Kontakt' is early-maturing, medium-grained, of low height, resistant to lodging. The purpose of the study was to analyze the inheritance of the main quantitative traits in the rice hybrid F₂ 'Khao Hlan On × Kontakt' and select the best forms for breeding. In the course of genetic analysis, there have been determined the features of traits' inheritance that affect productivity; there have been selected the best plants with an average height, with vertical panicles and mean grain weight. The study was carried out on the fields of the EP "Proletarskoe" (the Rostov Region) in 2022. For all the studied traits, there have been established the monogenic differences between the parental varieties. According to plant height, there was a partial domination of the lower values of the trait (hp = –0.22). According to panicle length, there was a partial negative dominance of the trait (hp = –0.35). According to the trait 'number of spikelets per panicle', there was a partial dominance of a smaller value of the trait (hp = –0.19). According to 1000-grain weight, there was a partial negative dominance (hp = –0.26). There have been selected the best morphotype F₂ forms, which according to our earlier study, differed in optimal plant height, panicle length, number of spikelets per panicle, and 1000-grain weight.

Keywords: rice, inheritance, genes, quantitative traits, segregation.

Введение. На продуктивность риса в значительной степени влияют абиотические факторы, такие как затопление водой, и биотические, такие как сорняки. Хотя затопление после

прямого посева риса помогает подавить сорняки (*Echinochloa spp.*), оно также может отрицательно повлиять на всхожесть и рост риса, что приводит к плохому формированию урожая. По данным Estioko et al. (2014), сорт Khao Hlan On отличался повышенной скоростью прорастания, роста проростков и углеводного обмена при затоплении. В проростках этого сорта риса при затоплении после посева выявлена повышенная активность алкогольдегидрогеназы и пируватдекарбоксилазы.

Затопление поля после прямого посева создает анаэробные условия, которые помогают бороться с сорняками на ранних стадиях роста культуры, но также снижает всхожесть риса, поскольку современные генотипы риса чувствительны к анаэробным условиям во время прорастания и раннего роста проростков. Таким образом, технология прямого посева семян в почву требует улучшения методов выращивания риса и борьбы с сорняками в орошаемых экосистемах. Генотипы риса, устойчивые к анаэробным условиям во время прорастания и раннего роста проростков, могли бы решить эти проблемы за счет улучшения способности быстрого роста на затопленных почвах и облегчения борьбы с сорняками при затоплении (Ismail et al., 2012; Angaji et al., 2010).

Азиатскими учеными после скрининга более 8000 образцов GenBank было выявлено несколько местных сортов с устойчивостью к анаэробным условиям прорастания, в том числе Khao Hlan On, Ma-Zhan Red (Septiningsih et al., 2018). Было идентифицировано несколько многообещающих QTL, контролирующих устойчивость, включая qAG-9-2 (AG1) и qAG7.1 (AG2), полученных от сортов Khao Hlan On и Ma-Zhan Red соответственно (Chamara et al., 2018).

В России выведение энергично растущих, неполегающих сортов риса также является актуальным, поэтому целесообразно использовать доноры в гибридизации с отечественными сортами и определить особенности наследования важных признаков для более успешного комбинирования лучших аллелей.

Урожайность зерна находится под влиянием высоты растений, длины метелок и зерновок, массы семян и их количества на метелках. Для селекции важно понимать особенности сегрегации признаков у гибридов и их комбинирования у растений риса. Ряд авторов показали, что очень значимые положительные корреляции урожайности зерна наблюдались на фенотипическом уровне по массе зерна на растении (0,796), зерен на метелке (0,702), метелок на растении (0,632), в то время как умеренные положительные корреляции выявлены по отношению количества дней до цветения (0,412) и созревания (0,544). Наоборот, количество пустых колосков на метелке (-0,225) и высота растений (-0,342) имели отрицательную значимую связь с урожайностью (Oladosu et al., 2018).

Высота растений оказывает большое влияние на устойчивость к полеганию и индекс уро-

жая. Этот признак определяется несколькими генами, изменяющими длину стебля. Ученые выявили 10 генов высоты растений, картированных в хромосомах 1, 5, 6, 7 и 11 (Lei et al., 2018).

Длина метелки влияет на количество семян на ней, что также важно для урожайности зерна. Известно, что длина метелки определяется 4 генами, расположенными в хромосомах 4, 6 и 9 (Liu et al. 2016).

Урожайность зерна риса также зависит от массы 1000 зерен, контролируемой 11 генами, и от количества колосков в метелке, определяемых 6 генами (Yuan et al., 2019).

Выявляемые сортовые различия связаны главным образом с неодинаковым аллельным состоянием генов. Аллельные различия скрещиваемых форм особенно важно знать для целей селекции, так как с этим критерием связано планирование объемов гибридизации и интенсивности отборов, проводимых в расщепляющихся популяциях.

В мире публикуется много статей с использованием сегрегационного анализа генетической системы количественных признаков растений (Gay, 2005; Qulmamatova et al., 2018; Zhang et al., 2021; Li et al., 2022).

Цель исследований – анализ наследования основных количественных признаков у гибрида риса F_2 Khao Hlan On \times Контакт и отбор лучших форм для селекции.

Материалы и методы исследований.

В качестве материала для генетического анализа использовали 528 растений F_2 гибрида Khao Hlan On \times Контакт и по 150 растений родительских сортов. Сорт Khao Hlan On получен из Агрогенетического института (Вьетнам). Он имеет очень высокую энергию первоначального роста. Сорт позднеспелый, высокорослый (110–120 см), после созревания часто полегает. Метелки развесистые поникающие, длиной 19–20 см, несут в среднем по 50–60 колосков. Зерновка мелкая округлая, масса 1000 зерен – 25–26 г. Урожайность в условиях Пролетарского района Ростовской области – от 3 до 4 т/га.

Сорт Контакт скороспелый, низкорослый (70–80 см), метелка прямостоячая короткая (12–13 см), несет 90–100 колосков, зерновка средняя овальная, масса 1000 зерен – 29–30 г. Урожайность сорта – от 6,2 до 8 т/га.

Гибридизацию провели в 2020 г., во второй год (2021) вырастили F_1 . Растения риса F_2 были выращены в 2022 г. на полях ОП «Пролетарское» АНЦ «Донской» (Ростовская обл.). Почва тяжелосуглинистая, темно-каштанового цвета. Содержание гумуса около 3,00 %, азота – 0,21 %, фосфора – 0,15 %, калия – 2,50 %. Площадь деланки под родительскими сортами и гибридом составляла 10 м². Гибридологический анализ проводили в программе Полиген А (Мережко, 2005), графики строили в программах Statistica 10 и MS Excel. Метеорологические условия в процессе роста и развития растений риса были благоприятными.

Результаты и их обсуждение. В гибридной популяции второго поколения Khao Hlan On \times

Контакт происходило широкое расщепление по всем изучаемым признакам. В предыдущей статье журнала «Зерновое хозяйство России» № 6, 2022 года был проанализирован другой гибрид, с участием сорта Бахус, который также имеет высокую энергию начального роста, однако его гены отличаются от Khao Hlan On. Поэтому картина расщепления была другой.

Высота растений родительских сортов различалась на 40,9 см. Средняя высота Kontakта составляла 74,8 см, Khao Hlan On – 115,7 см, гибрида – 90,9 см. Варьирование высоты растений гибридной популяции было в широких пределах – от 56 до 135 см (рис. 1). Величина коэффи-

циента вариации (V) составила 14,8 %. Кривая распределения частот (КРЧ) этого признака у гибрида имела положительную асимметрию ($As = 0,49$). Вершина кривой гибрида располагалась левее от центра поля графика, сместившись к вершине КРЧ Kontakта. Наследование высоты характеризовалось частичным отрицательным доминированием ($h_p = -0,22$) и преобладанием среднерослых растений. Около четверти крайних частот гибрида справа соответствовали таковым сорта Khao Hlan On, следовательно, большая высота является рецессивным признаком. Установлено моногибридное расщепление признака, соотношение классов 3:1, сила гена 40,9 см.

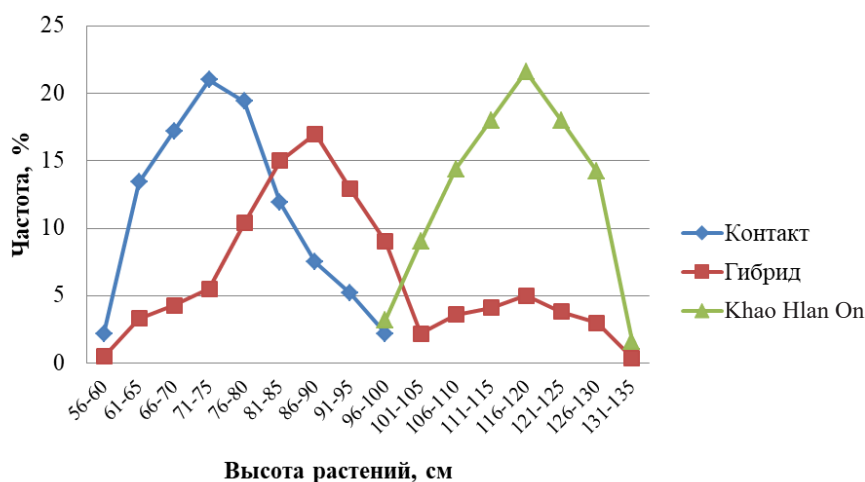


Рис. 1. Распределение частот признака «высота растений» у родительских сортов и гибрида риса F_2 Khao Hlan On \times Контакт (2022 г.)

Fig. 1. Distribution of frequency of the trait 'plant height' in the parental varieties and the rice hybrid F_2 'Khao Hlan On \times Kontakt' (2022)

Метелки у растений сорта Контакт имели среднюю длину 12,1 см, у Khao Hlan On – 19,5 см, у гибрида F_2 – 14,5 см.

Длина метелки у гибридных растений значительно различалась – от 8 до 24 см ($V = 25,9\%$), однако не выходила за пределы изменчивости двух родительских сортов. Наблюдалось частичное отрицательное доминирование дан-

ного признака ($h_p = -0,35$). Кривая распределения частот признака гибридной популяции была двухвершинной. КРЧ сорта Контакт располагалась слева, Khao Hlan On – справа. КРЧ гибридной популяции была правосторонне асимметричной и соответствовала моногенной сегрегации на две группы потомков 3:1 (рис. 2). Средняя сила гена составила 7,4 см.

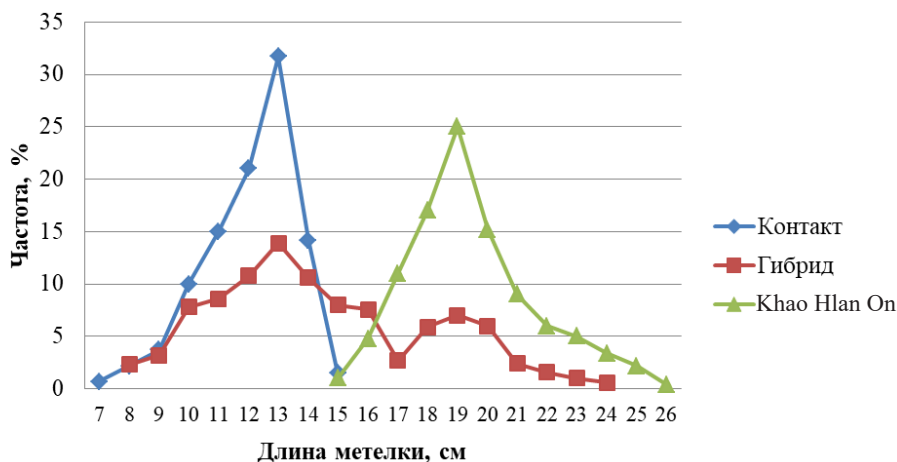


Рис. 2. Распределение частот признака «длина метелки» у родительских сортов и гибрида риса F_2 Khao Hlan On \times Контакт (2022 г.)

Fig. 2. Distribution of frequency of the trait 'panicle length' in the parental varieties and the rice hybrid F_2 'Khao Hlan On \times Kontakt' (2022)

Количество колосков в метелке у родительских сортов различалось на 47,1 шт., у сорта Контакт их было в среднем 98,4, у Khao Hlan On – 51,3 шт., у гибрида – 70,4 шт., при этом колебания составили от 14 до 158 шт. ($V = 38,9\%$). Установлено частичное отрицательное доминирова-

ние меньшего количества колосков ($h_p = -0,19$). Кривая распределения частот гибрида имела одну вершину, расположенную между вершинами сортов Контакт и Khao Hlan On (рис. 3). Наблюдалось моногенное расщепление по типу 1:2:1. Сила гена составила 47,1 шт.

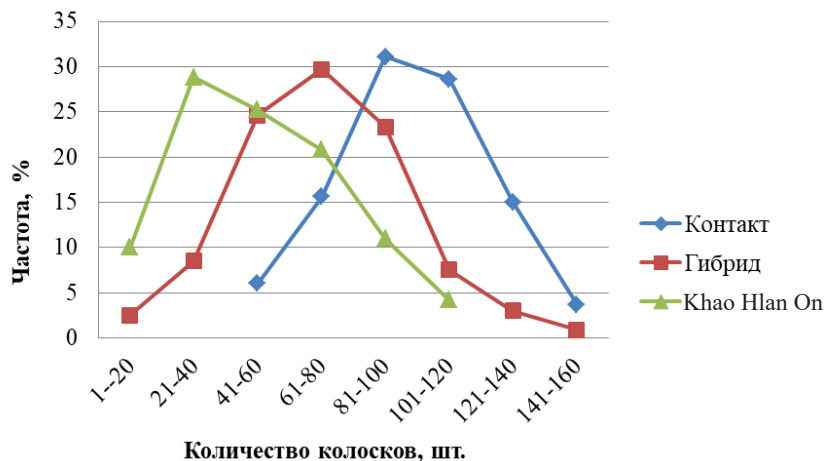


Рис. 3. Распределение частот признака «количество колосков» у родительских сортов и гибрида риса F_2 Khao Hlan On × Контакт (2022 г.)

Fig. 3. Distribution of frequency of the trait 'number of spikelets' in the parental varieties and the rice hybrid F_2 'Khao Hlan On × Kontakt' (2022)

Масса 1000 зерен у родителей различалась на 4,3 г, у сорта Khao Hlan On – 25,6 г, у сорта Контакт – 29,9 г. У гибридной популяции F_2 было среднее значение признака – 27,2 г. и варьировало в пределах изменчивости родительских сортов: от 24 до 33 г. Выявлено частичное отрицательное доминирование признака ($h_p = -0,26$).

КРЧ признака у растений F_2 имела две вершины, из которых большая располагалась слева, в области распределения сорта Khao Hlan On, а меньшая – справа, ближе к вершине Kontakта (рис. 4). Установлена сегрегация в соотношении 3:1, свидетельствующая о моногенных различиях. Величина силы гена была 4,3 г.

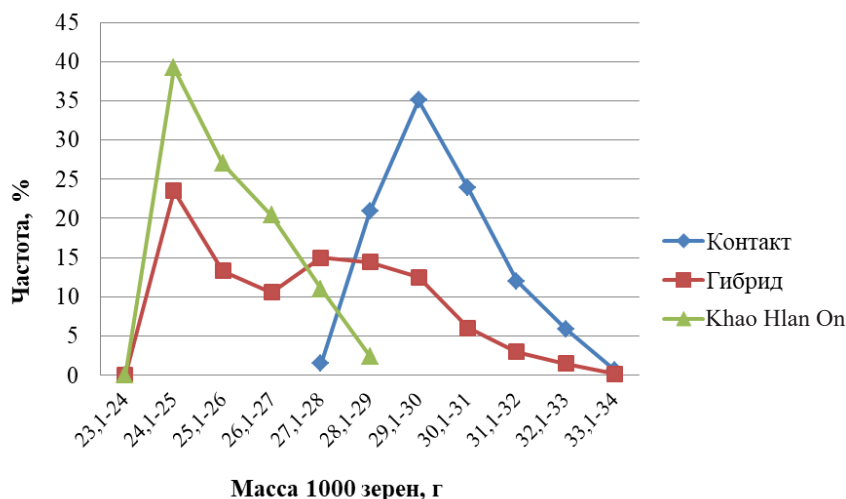


Рис. 4. Распределение частот признака «масса 1000 зерен» у родительских сортов и гибрида риса F_2 Khao Hlan On × Контакт (2022 г.)

Fig. 4. Distribution of frequency of the trait '1000-grain weight' in the parental varieties and the rice hybrid F_2 'Khao Hlan On × Kontakt' (2022)

Для селекционной работы были отобраны лучшие по морфотипу растения второго поколения (см. таблицу). Согласно проведенным нами ранее исследованиям они имели опти-

мальную длину стеблей растений (75–100 см) и метелок (18,1–21,5 см), с озерненностью от 99 до 114 шт. и средней массой 1000 семян 30–33 г.

**Характеристика выделившихся по морфотипу линий F₂
из гибридной популяции Khao Hlan On × Контакт (2022 г.) и родительских сортов
Characteristics of F₂ lines identified according to a morphotype
from the hybrid population 'Khao Hlan On × Kontakt' (2022) and parental varieties**

№ растений	Высота растений, см	Длина метелок, см	Количество колосков, шт.	Масса 1000 семян, г
Контакт	75	12	98	30
Khao Hlan On	116	20	51	26
37	90	12	99	30
43	84	13	102	31
105	85	16	107	30
119	80	12	103	31
143	94	14	106	31
217	90	18	107	30
230	90	21	99	33
277	95	17	102	30
404	75	12	100	30
430	88	20	105	30
509	100	20	109	30
528	85	22	114	30
σ	13,5	3,8	27,6	2,4

Линия 404 по морфологии была идентична с Контакт. Линии 430 и 509 имели такую же длинную метелку, как у Khao Hlan On (20 см), однако их высота была значительно меньше (88–100 см), поэтому они отличались устойчивостью к полеганию.

Линии, представленные в таблице, будут высеяны в 2023 г. в гибридном питомнике для отбора лучших форм для селекции интенсивно растущих урожайных сортов риса.

Выводы.

1. У гибрида F₂ установлены частичное доминирование меньших значений высоты растений ($h_p = -0,22$) и моногенная сегрегация признака в числовом соотношении 3:1, сила гена достигала 40,9 см.

2. По длине метелки наблюдалось частичное отрицательное доминирование этого признака ($h_p = -0,35$).

Кривая распределения частот этого признака у гибрида была двухвершинной. Во втором поколении выявлены моногенные различия предковых сортов и расщепление в соотношении 3:1. Сила гена составила 7,4 см.

3. По количеству колосков на метелке определены частичное доминирование меньшей величины признака ($h_p = -0,19$) и моногенная сегрегация 1:2:1. Сила гена составила 47,1 шт.

4. По массе 1000 зерен установлено частичное отрицательное доминирование ($h_p = -0,26$) и моногенное расщепление в соотношении 3:1. Сила действия гена – 4,3 г.

5. Отобраны для селекционной работы лучшие растения F₂, которые имели оптимальную высоту растений (75–100 см), длину метелок (18,1–21,5 см), озерненность от 99 до 114 шт. и среднюю массу 1000 семян 30–33 г.

Библиографические ссылки

- Мережко А. Ф. Использование менделевских принципов в компьютерном анализе наследования варьирующих признаков // Экологическая генетика культурных растений: Материалы школы молодых ученых РАСХН, ВНИИ риса. Краснодар, 2005. С. 107–117.
- Angaji S. A., Septiningsih E. M., Mackill D. J., Ismail A. M. QTLs associated with tolerance of flooding during germination in rice (*Oryza sativa* L.). *Euphytica*. 2010. Vol. 172. P. 159–168. DOI: 10.3389/fpls.2013.00269.
- Estioko L. P., Miro B., Baltazar A. M., Merca F. E., Ismail A. M., Johnson D. E. Differences in responses to flooding by germinating seeds of two contrasting rice cultivars and two species of economically important grass weeds. *AoB PLANTS*. 2014. Vol. 6, Article number plu064. DOI: 10.1093/aobpla/plu064.
- Chamara B. S., Marambe B., Kumar V., Ismail A. M., Septiningsih E. M., Chauhan B. S. Optimizing Sowing and Flooding Depth for Anaerobic Germination-Tolerant Genotypes to Enhance Crop Establishment, Early Growth, and Weed Management in Dry-Seeded Rice (*Oryza sativa* L.). *Front in Plant Science*. 2018. Vol. 9, Article number 1654. DOI: 10.3389/fpls.2018.01654.
- Gay J. Y. Segregation analysis of genetic system of quantitative traits in plants // *Hereditas* (Beijing). 2005. Vol. 27(1), P. 130–136.
- Ismail A. M., Johnson D. E., Ella E. S., Vergara G. V., Baltazar A. M. Adaptation to flooding during emergence and seedling growth in rice and weeds, and implications for crop establishment // *AoB Plants*. 2012. Vol. 2012, Article number Is019. DOI: 10.1093/aobpla/pls019.
- 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. Vol. 214(7), Article number 109. P. 1–17. DOI: 10.1007/s10681-018-2187-2.
- Li P., Li G., Zhang Y. W., Zuo J. F., Liu J. Y., Zhang Y. M. A combinatorial strategy to identify various types of QTLs for quantitative traits using extreme phenotype individuals in an F₂ population // *Plant Communications*. 2022. Vol. 3(3), Article number 100319. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2022.100319>.
- 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 in Plant Science*. 2016. Vol. 7, Article number 596. P. 1–13. DOI: 10.3389/fpls.2016.00596.

10. Oladosu Y., Rafii M.Y., Magaji U., Abdullah N., Miah G., Chukwu S.C., Hussin G., Ramli A., Kareem I. Genotypic and Phenotypic Relationship among Yield Components in Rice under Tropical Conditions // Hindawi. BioMed Research International. Vol. 2018, Article ID 8936767, 10 p. <https://doi.org/10.1155/2018/8936767>.
11. Qulmamatova D.E., Adilova S.S., Baboev S.K. Variation of quantitative traits in F₂ hybrids received in crosses of geographically distant wheat forms // European science review. 2018. P. 15–18.
12. Septiningsih E.M., Mackill D.J. Genetics and breeding of flooding tolerance in rice, in Rice Genomics, Genetics and Breeding, eds T. Sasaki and M. Ashikari. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2018. P. 275–295.
13. 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. Vol. 46. P. 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.jgg.2019.01.003>.
14. Zhang X., Lian J., Dai C., Wang X., Zhang M., Su X., Cheng Y., Yu C. Genetic segregation analysis of unsaturated fatty acids content in the filial generations of high-linolenic-acid rapeseed (*Brassica napus*) // Oil Crop Science. 2021. Vol. 6(4). P. 169–174.

References

1. Merezhko A.F. Ispol'zovanie mendelevskikh printsipov v komp'yuternom analize nasledovaniya var'iruyushchikh priznakov [The use of Mendelian principles in computer analysis of the inheritance of varying traits] // Ekologicheskaya genetika kul'turnykh rastenii: Materialy shkoly molodykh uchenykh RASKhN, VNII risa. Krasnodar, 2005. S. 107–117.
2. Angaji S.A., Septiningsih E.M., Mackill D.J., Ismail A.M. QTLs associated with tolerance of flooding during germination in rice (*Oryza sativa* L.). Euphytica. 2010. Vol. 172. P. 159–168. DOI: 10.3389/fpls.2013.00269.
3. Estioko L.P., Miro B., Baltazar A.M., Merca F.E., Ismail A.M., Johnson D.E. Differences in responses to flooding by germinating seeds of two contrasting rice cultivars and two species of economically important grass weeds. AoB PLANTS. 2014. Vol. 6, Article number plu064. DOI: 10.1093/aobpla/plu064.
4. Chamara B.S., Marambe B., Kumar V., Ismail A.M., Septiningsih E.M., Chauhan B.S. Optimizing Sowing and Flooding Depth for Anaerobic Germination-Tolerant Genotypes to Enhance Crop Establishment, Early Growth, and Weed Management in Dry-Seeded Rice (*Oryza sativa* L.). Front in Plant Science. 2018. Vol. 9, Article number 1654. DOI: 10.3389/fpls.2018.01654.
5. Gay J.Y. Segregation analysis of genetic system of quantitative traits in plants // Hereditas (Beijing). 2005. Vol. 27(1), P. 130–136.
6. Ismail A.M., Johnson D.E., Ella E.S., Vergara G.V., Baltazar A.M. Adaptation to flooding during emergence and seedling growth in rice and weeds, and implications for crop establishment // AoB Plants. 2012. Vol. 2012, Article number Is019. DOI: 10.1093/aobpla/pls019.
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. Vol. 214(7), Article number 109. P. 1–17. DOI: 10.1007/s10681-018-2187-2.
8. Li P., Li G., Zhang Y.W., Zuo J.F., Liu J.Y., Zhang Y.M. A combinatorial strategy to identify various types of QTLs for quantitative traits using extreme phenotype individuals in an F₂ population // Plant Communications. 2022. Vol. 3(3), Article number 100319. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2022.100319>.
9. 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 in Plant Science. 2016. Vol. 7, Article number 596. P. 1–13. DOI: 10.3389/fpls.2016.00596.
10. Oladosu Y., Rafii M.Y., Magaji U., Abdullah N., Miah G., Chukwu S.C., Hussin G., Ramli A., Kareem I. Genotypic and Phenotypic Relationship among Yield Components in Rice under Tropical Conditions // Hindawi. BioMed Research International. Vol. 2018, Article ID 8936767, 10 p. <https://doi.org/10.1155/2018/8936767>.
11. Qulmamatova D.E., Adilova S.S., Baboev S.K. Variation of quantitative traits in F₂ hybrids received in crosses of geographically distant wheat forms // European science review. 2018. P. 15–18.
12. Septiningsih E.M., Mackill D.J. Genetics and breeding of flooding tolerance in rice, in Rice Genomics, Genetics and Breeding, eds T. Sasaki and M. Ashikari. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2018. P. 275–295.
13. 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. Vol. 46. P. 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.jgg.2019.01.003>.
14. Zhang X., Lian J., Dai C., Wang X., Zhang M., Su X., Cheng Y., Yu C. Genetic segregation analysis of unsaturated fatty acids content in the filial generations of high-linolenic-acid rapeseed (*Brassica napus*) // Oil Crop Science. 2021. Vol. 6(4). P. 169–174.

Поступила: 11.01.23; доработана после рецензирования: 16.02.23; принята к публикации: 17.02.23.

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. – постановка цели и задач, анализ литературных данных, формирование методологии исследования и концепции статьи, анализ данных, написание текста статьи; Краснова Е.В. – структурный анализ. Аксенов А.В. – составление и анализ табличного материала; Балюкова Э.С. – отбор растений для анализа, промеры и подсчеты.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.