

СЕМЕНОВОДСТВО И СЕЛЕКЦИЯ РАСТЕНИЙ

УДК 633.18:581

**ДОСТИЖЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ И
ЗАРУБЕЖНОЙ СЕЛЕКЦИИ РИСА НА АДАПТИВНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ
К ПОЛЕГАНИЮ****Юлия Константиновна Гончарова, Виктория Васильевна Симонова,
Сергей Владимирович Гончаров**ФГБНУ «Федеральный научный центр риса»,
350921, Россия, г. Краснодар, пос. Белозерный, 3
E-mail: yuliya_goncharova_20@mail.ru

Первая зеленая революция привела к увеличению урожайности многих культур за счет использования отзывчивых на высокие дозы азота полугарликовых форм. Потенциал урожайности современных инбредных и гибридных форм риса, достиг своего плато на уровне 10–12 т/га, что в значительной степени было достигнуто за счет увеличения индекса урожая с 0,3 традиционных сортов до 0,50–0,55 современных инбредных сортов и за счет изменения как биомассы, так и урожайности. Для преодоления плато урожайности риса были предложены новые типы растений (NPT), характеризующийся близкой к идеальной морфологии, крупной метелкой, повышенным фотосинтезом и устойчивостью к полеганию. В селекции на высокий потенциал урожайности устойчивость к полеганию (LR) всегда является ключевой целью, поскольку это фактор, ограничивающий урожайность в орошаемых системах с высоким расходом воды и химикатов. К признакам стебля, влияющим на полегание, относятся: длина и толщина междоузлий, высота растения, толщина стенки стебля, обертывание междоузлий влагалищами листа и толщина листа. Во многих работах отмечено, что высокие показатели по признакам, характеризующим развитие корня, во многом определяют, как засухоустойчивость, так и эффективность минерального питания. Выявлен широкий размах варьирования по признакам, характеризующим размеры корневой системы и характеристики стебля у отечественных сортов риса, а также источники по признакам для повышения эффективности селекции. Длина корня у изучаемых сортов была в среднем 15,96 см, у восьми выделенных источников превышала 20 см. Его масса превышала 4 грамма у семи образцов (среднее значение 2,33 г). Также в два раза было выше значение у источников по признаку, чем в среднем у изучаемых сортов по признаку «масса отрезка стебля», в полтора по признаку «ширина стебля у основания».

Ключевые слова: селекция; рис; урожайность; устойчивость к полеганию; адаптивность

Введение

Первая зеленая революция привела к увеличению урожайности многих культур за счет использования отзывчивых на высокие дозы азота полугарликовых форм. Потенциал урожайности современных инбредных и гибридных форм риса, достиг своего плато на уровне 10–12 т/га, что в значительной степени было достигнуто за счет увеличения индекса урожая с 0,3 традиционных сортов до 0,50–0,55 современных инбредных сортов и за счет изменения как биомассы, так и урожайности (Харитонов и др., 2008; Харитонов и др., 2014). Для преодоления плато урожайности риса были предложены новые типы растений (NPT), характеризующийся близкой к идеальной морфологии, крупной метелкой, повышенным фотосинтезом и устойчивостью к полеганию (Qing et al., 2022). В селекции на высокий потенциал урожайности устойчивость к полеганию (LR) всегда является ключевой целью, поскольку это фактор, ограничивающий урожайность в орошаемых системах с высоким расходом воды и химикатов. Полегание приводит к серьезным потерям урожая и ухудшению качества зерна в результате снижения фотосинтеза посева, усиления дыхания, снижения оттока питательных веществ и углеводов в созревающую зерновку и увеличения восприимчивости к вредителям (Khush, 2003). Величина ущерба от полегания зависит от

его вида стеблевое или корневое, степени и сроков его начала. Полегание стебля происходит в результате взаимодействия факторов окружающей среды (ветер, дождь) и прочности соломы. Генотипы риса сильно различаются по своей устойчивости, которая представляет собой сложную систему признаков, как морфологических (признаки стебля и корня), так биохимических. К признакам стебля, влияющим на полегание, относятся: длина и толщина междоузлий, высота растения, толщина стенки стебля, обертывание междоузлий влагалищами листа и толщина листа (Amano et al., 1993; Spielmeier et al., 2002; Kashiwagi, Ishimaru, 2004). Длина базальных междоузлий особенно важна в формировании признака (Kashiwagi et al., 2006; Yang, 2006). Ее определяет ген полукарликовости, *sd-1*, он ингибирует удлинение нижних междоузлий, больше, чем верхних, что способствует повышению устойчивости к полеганию, поскольку полегание чаще происходит в нижних междоузлиях (Xu et al., 2004). Сообщается, что новый локус *prl5* отвечает за увеличение устойчивости стебля риса за счет задержки старения листьев и увеличения вторичного накопления углеводов в нижней части стебля (ниже 40 см) после налива зерна (Mei et al., 2005; Zhong et al., 2001).

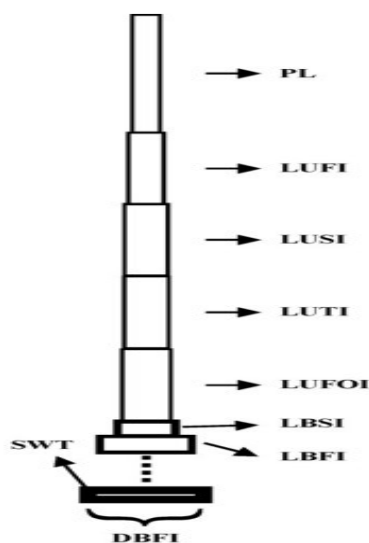


Рис. 1 SWT толщина клеточной стенки (базального) первого междоузлия, DBFI диаметр (базального) первого междоузлия, LBFI длина (базального) первого междоузлия, LBSI длина (базального) второго междоузлия, LUTI LBFI длина (базального) третьего междоузлия LUFI (Qing Liu et al, 2022)

Fig. 1 SWT cell wall thickness of (basal) first internode, DBFI diameter of (basal) first internode, LBFI length of (basal) first internode, LBSI length of (basal) second internode, LUTI LBFI length of (basal) third internode LUFI (Qing Liu et al, 2022)

Процент лигнина также является основным фактором, ответственным за сортовые различия по полеганию (Mu et al., 2004). Например, большинство современных высокоурожайных сортов подвида *indica* имеют толстые стебли и небольшую высоту растения, и высокую листовую оболочку междоузлий, тогда как высокоурожайные сорта японского подвида, как правило, также, имеют толстый стебель и клеточные стенки и более гибкие стебли, что связано с более высоким уровнем кремния, лигнина и других полисахаридов в стеблях (рис. 1). Полукарликовые сорта риса, меньше полегают из-за низкого центра тяжести. Как и большинство сложных признаков, устойчивость к полеганию остается плохо изученной, что ограничивает дальнейшее совершенствование его в селекционных целях. Выявлены 17 QTL связанных с длиной базальных междоузлий, девять из них, влияют на удлинение двух нижних. Увеличение устойчивости к полеганию в дальнейшем может быть достигнуто путем объединения

большого количества аллелей, влияющих на длину, плотностью и толщину стебля при гибридизации образцов подвида *indica/japonica* (рис. 2).

Размеры и прочность базальных междоузлий определяли ряд локусов с различными эффектами от 0,11 %. Наиболее эффективные локусы, определяющие толщину стенок стебля, были расположены на хромосомах 1,4,6, 8 они определяли более 22% фенотипического проявления признака. Локусы, определяющие DBFI диаметр (базального) первого междоузлия, были расположены на хромосомах 8 и 12 они определяли более 45,9% фенотипического проявления признака. Три локуса определяющих LBSI длину (базального) второго междоузлия расположены на хромосомах 1,2 и 6 они определяют более 18,9% фенотипического проявления признака.

Размеры других междоузлий также определялись множественными локусами, расположенными на различных хромосомах. Так длину первого междоузлия определяли 4 QTL на 3,7,8,9 хромосомах (20,3%), второго 7 локусов на 7 хромосоме с эффектом более 34%, третьего шесть локусов на 1,6,8,10,12 хромосомах с 29 процентами фенотипического проявления признака (Seja-Navarro et al., 2010; Gu et al., 2017). Длину метелки определяли 10 локусов, расположенных на 5 и всех других хромосомах кроме 2, 10, 11 они определяли более 54 % вариации признака. Маркеры, расположенные в хромосомных регионах, где локализованы признаки, определяющие адаптивность к полеганию приведены в таблице 1. Во многих работах отмечено, что высокие показатели по признакам, характеризующим развитие корня, определяют, как засухоустойчивость, так и эффективность минерального питания. Однако нет корреляции между длиной корня и стебля и количеством продуктивных стеблей (Cui et al., 2011; Pan et al., 2011; Xia et al., 2011; Wu, Shi, 2013).

Цель работы – изучить сорта отечественной селекции по признакам корня и стебля, определяющим адаптивность и устойчивость к полеганию.

Объекты и методы исследования

В работе использованы как коллекционные образцы, так и перспективные, и допущенные к использованию в производстве сорта риса. Растения выращивались в сосудах на оптимальном фоне минерального питания (N120P60K60), густота стояния 10 растений на 1 сосуд. Контролем служит сорт Флагман, с той же густотой стояния. При недостатке растений или их гибели подсаживается маркер с фиолетовыми листьями. Во время фенологических наблюдений в сосудах учитывали: высоту растения в фазу созревания, дату цветения, наступление восковой спелости. При биометрическом анализе учитывали: количество продуктивных стеблей, массу главной метелки, массу зерна главной метелки, массу главного стебля, массу стеблей с растения, массу боковых метелок, массу 1000 зерен, количество пустых колосков, длину и массу корня, ширину главного стебля у основания, массу отрезка стебля 10 см у основания.

Результаты и обсуждение

Проведенное исследование показало широкое варьирование по всем изучаемым признакам. Длина и масса корней косвенно характеризует эффективность минерального питания и адаптивность к засухе и засолению образца. Так длина корней в среднем составила 15,96 см, однако значение признака составило более 20 см у 8 сортов риса (табл. 1)

Масса корней также в среднем была более 2 грамм, но у отдельных образцов она превышала 4 и даже 5 грамм. У семи образцов она превышала 4 грамма, то есть была в два раза выше, чем в среднем у популяции, что говорит о возможности значительного увеличения признака. Также в два раза было выше значение у источников по признаку, чем в среднем у изучаемых сортов по признаку масса отрезка стебля. Ширина главного стебля у основания у источников по признаку была в полтора раза выше, чем в среднем

по популяции. Два последних признака во многом определяют устойчивость к полеганию. Высокая масса отрезка стебля может быть обусловлена низким оттоком пластических веществ из стебля в метелку, так и их вторичным накоплением. Ширина стебля у основания определяет его прочность, однако для более точного выделения источников по признаку используют еще измерение внутреннего диаметра стебля, а также длину его междоузлий.

Таблица 1

Варьирование признаков у отечественных сортов риса

Table 1

Variation of traits in domestic rice cultivars

Сорт / Cultivar	Длина корней, см / Root length, cm	Длина корней ош. ср., см / Root length irrigate system, cm	Масса корней, г / Root mass, g	Масса корней ош. ср., г / Root mass irrigate system, g	Ширина гл. стебля у основания, см / Width of main stem at the base, cm	Ширина гл. стеб. ош. ср., см / Width of main stem irr. sys., cm	Масса стебля 10 см, г / Weight of the stem of 10 cm, g	Масса стебля ош. ср., г / Weight of the stem of 10 cm irr. sys., g
Аврора	17,80	1,46	2,35	0,66	0,74	0,09	0,45	0,07
Аврора 1	14,00	0,89	2,26	0,48	0,48	0,02	0,25	0,04
Аврора 16	11,20	3,17	2,18	0,74	0,56	0,16	0,38	0,12
Аврора 2	9,80	1,20	1,97	0,60	0,52	0,02	0,31	0,08
Аврора 26	16,40	0,40	2,60	0,68	0,72	0,04	0,54	0,05
Аметист	21,30	0,77	4,49	0,91	0,66	0,07	0,49	0,03
Анаит	26,68	3,04	3,23	0,31	0,48	0,04	0,54	0,00
Ассоль	12,64	1,29	0,97	0,17	0,58	0,07	0,55	0,07
Ассоль 3	15,00	1,64	1,39	0,23	0,54	0,04	0,34	0,03
Белый монгол	11,80	1,39	1,65	0,42	0,70	0,07	0,41	0,08
Виктория	14,40	1,17	2,80	0,68	0,52	0,05	0,35	0,05
Вилана	21,70	2,40	5,94	0,96	0,38	0,05	0,48	0,05
Витязь	18,08	1,10	2,85	0,35	0,94	0,05	0,55	0,03
Гейзер	13,30	1,30	2,47	0,87	0,69	0,06	0,39	0,04
Грация	10,80	0,58	0,91	0,22	0,58	0,04	0,39	0,04
Диамант	15,40	0,51	2,24	0,64	0,66	0,05	0,37	0,06
Есаул 2	14,20	1,32	1,18	0,15	0,74	0,04	0,70	0,11
Жемчужина	19,00	0,71	5,43	1,27	0,88	0,06	0,45	0,04
Ивушка 3	15,00	1,55	1,61	0,33	0,88	0,10	0,93	0,15
Исток	19,80	1,02	4,25	1,04	0,78	0,07	0,41	0,08
Казачок-4 St	15,60	2,58	1,61	0,68	0,50	0,05	0,20	0,03
Кардинал	21,14	1,13	2,79	0,10	0,86	0,02	0,52	0,01
Константин	12,60	1,12	2,10	0,95	0,70	0,12	0,27	0,06
Константин 2	10,80	1,50	2,10	0,56	0,50		0,35	0,02
Крепыш	18,88	1,96	2,12	0,53	0,30	0,03	0,48	0,02
Кристалл	14,80	0,80	1,93	0,48	0,68	0,09	0,45	0,07

Окончание таблицы 1
Continuation of the Table 1

Кристалл 1	17,20	2,31	3,05	0,80	0,58	0,04	0,34	0,06
Кураж	18,80	0,20	3,17	0,36	0,72	0,04	0,41	0,04
Лидер	13,40	0,68	1,50	0,85	0,52	0,14	0,38	0,04
Маленькая Ивушка	12,54	1,49	1,28	0,26	0,56	0,05	0,54	0,05
Марс	20,40	0,68	3,81	0,56	0,48	0,02	0,39	0,04
Монгол большой	20,20	1,11	4,38	0,83	0,90	0,04	0,96	0,09
Мулатка	18,04	1,10	0,99	0,29	0,29	0,06	0,33	0,01
Наташа	21,20	0,92	1,99	0,55	0,48	0,06	0,29	0,02
Олимп	15,80	0,97	1,95	0,40	0,68	0,06	0,61	0,06
Патриот	14,80	1,16	1,01	0,28	0,68	0,06	0,49	0,04
Полевик	16,40	0,75	1,53	0,33	0,68	0,11	0,39	0,04
Пурпур	14,60	0,86	1,98	0,62	0,70	0,06	0,62	0,07
Пурпур 2	9,00	1,22	0,34	0,07	0,52	0,04	0,29	0,02
Рапан	8,54	1,26	0,10	0,01	0,58	0,06	0,36	0,03
Рубин	17,40	1,36	2,27	0,39	0,40		0,29	0,02
Северный	18,80	1,16	2,04	0,43	0,68	0,08	0,50	0,06
Снежинка	15,00	1,14	1,52	0,34	0,76	0,09	0,57	0,05
Танго	19,82	1,25	2,01	0,25	0,86	0,05	0,45	0,02
Титан	17,00	1,00	2,49	0,36	0,62	0,04	0,39	0,02
Фаворит	21,20	1,74	2,52	0,42	0,72	0,06	0,44	0,08
Хазар	13,40	0,68	2,69	0,34	0,58	0,11	0,23	0,02
Электро	16,60	0,87	5,04	0,95	0,74	0,04	0,55	0,03
Южная ночь	17,20	0,80	2,24	0,29	0,60	0,05	0,31	0,07
Среднее значение	15,96	0,29	2,33	0,11	0,63	0,01	0,45	0,01
Минимальное значение	8,54	0,20	0,10	0,01	0,29	0,01	0,20	0,00
Максимальное значение	26,68	3,17	5,94	1,27	0,94	0,16	0,96	0,15

Заключение

В селекции на высокий потенциал урожайности устойчивость к полеганию и стрессам является ключевыми целями, поскольку эти факторы ограничивают урожайность в орошаемых системах с высоким расходом воды и химикатов. К признакам стебля, влияющим на полегание, относятся: длина и толщина междоузлий, высота растения, толщина стенки стебля, обертывание междоузлий влагалищами листа и толщина листа. Во многих работах отмечено, что высокие показатели по признакам, характеризующим развитие корня, во многом определяют, как засухоустойчивость, так и эффективность минерального питания. Выявлен широкий размах изменчивости по всем изучаемым признакам, что позволяет вести эффективный отбор. Источниками по признаку «длина корня» являются сорта: Анаит, Большой мангол, Кардинал, Марс, Вилана, Аметист; по признаку «масса корня» Анаит, Большой мангол, Электро, Витязь; по признаку ширина стебля у основания Кардинал, Танго, Большой мангол, Жемчужина.

Литература / References

Харитонов Е.М., Гончарова Ю.К., Иванов А.Н. Совершенствование методов оценки селекционного материала риса // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2014. № 4. С. 8-10.

[*Kharitonov E.M., Goncharova Yu.K., Ivanov A.N.* Improving methods for evaluating rice breeding material // *Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2014. No. 4. P. 8-10.]

Харитонов Е.М., Гончарова Ю.К. Взаимосвязь между устойчивостью к высоким температурам и стабильностью урожая у риса // Аграрная Россия. 2008. № 3. С. 22-24.
[*Kharitonov E.M., Goncharova Yu.K.* Relationship between resistance to high temperatures and yield stability in rice // *Agrarnaya Rossiya*. 2008. No. 3. P. 22-24.]

Amano T., Zhu Q.S., Wang Y.L., Inoue N., Tanaka H. Case studies on high yields of paddy rice in Jiangsu Province // *China, Jpn. J. Crop Sci.* 1993. № 62. P. 275–281.

Ceja-Navarro J.A., Rivera-Orduña F.N., Patiño-Zúñiga L. Phylogenetic and multivariate analyses to determine the effects of different tillage and residue management practices on soil bacterial communities // *Appl. Environ. Microbiol.* 2010. №76. P. 3685-3691

Cui S.Y., Yin X.G., Chen F. Effects of tillage and straw returning on nitrogen leakage in double rice cropping field // *Trans. Chin. Soc. Agr. Eng.* 2011. №27. P. 174-179.

Gu D., Zhen F., Hannaway D.B., Zhu Y., Liu L., Cao W. Quantitative Classification of Rice (*Oryza sativa* L.) Root Length and Diameter Using Image Analysis // *PLoS ONE*. 2017. № 12. e0169968. DOI:10.1371/journal.pone.0169968

Kashiwagi T., Ishimaru K. Identification, functional analysis of a locus for improvement of lodging resistance in rice // *Plant Physiol.* 2004. № 134. P. 676–683.

Kashiwagi T., Madoka Y., Hirotsu N., Ishimaru K. Locus *prl5* improves lodging resistance of rice by delaying senescence and increasing carbohydrate reaccumulation // *Plant Physiol. Biochem.* 2006. №44. P. 152–157.

Khush G.S. Productivity improvements in rice // *Nutrition. Rev.* 2003. № 61. P. 114–116.

Mei H.W., Li Z.K., Shu Q.Y., Guo L.B., Wang Y.P., Yu X.Q., Ying C.S., Luo L.J. Gene actions of QTLs affecting several agronomic traits resolved in a recombination bred rice population and two backcross populations // *Theor. Appl. Genet.* 2005. № 110. P. 649–659.

Mu Z.C., Li C.P., Li H.L., Zhang X.K., Wang Q.T. QTL analysis for lodging resistance in rice using a DH population under lowland and upland ecosystems // *Acta Genet. Sin.* 2004. № 31. P. 717–723.

Pan S.G., Huang S.Q., Zhang F. Growth and development characteristics of super-high yielding midseason *indica* hybrid rice // *Acta Agron. Sin.* 2011. № 37. P. 537-544.

Spielmeier W., Ellis M.H., Chandler P.M., Spielmeier W. Semidwarf (*sd-1*), “green revolution” rice, contains a defective gibberellin 20-oxidase gene // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2002. №13. P. 9043–9048.

Qing L., Chongshan Y., Xi L., Chunqing H., Zhi D. Xuan Lodging resistance of rice plants studied from the perspective of culm mechanical properties, carbon framework, free volume, and chemical composition // *Scientific Reports*. 2022. №12. P. 20026 <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24714-4>

Shi H.X., Wu Y.Z. Photosynthesis and root characteristics of rice (*Oryza sativa* L.) in floating culture // *Photosynthetica*. 2013. 51 (2). P. 231-237

Xia X.J., Hu Q.Y., Zhu L.Q. Study on dynamic changes of nitrogen and phosphorus in surface water of paddy field and runoff loss in Taihu region // *Soil Water Conserv.* 2011. № 25. P. 21-25.

Xu J.L., Yu S.B., Luo L.J., Zhong D.B., Sanchez A., Mei H.W., Khush G.S., Li Z.K. Molecular dissection of the primary sink size in rice (*Oryza sativa* L.) // Plant Breed. 2004. № 123. P. 43–50.

Yang G., Xing Y., Li S., Ding J., Yue B., Deng K., Li Y., Zhu Y. Molecular dissection of developmental behavior of tiller number and plant height and their relationship in rice (*Oryza sativa* L.) // Hereditas. 2006. № 143. P. 236–245.

Zhong D.B., Luo L.J., Mei H.W., Guo L.B., Wang Y.P., Yu X.Q., Ying C.S., Li Z.K., Chin J. Mapping QTLs for total leaf number of the main stem and its related traits in rice // Rice Sci. 2001. №15 (1). P. 7–12.

Статья поступила в редакцию 15.06.2024 г.

Goncharova Yu. K., Goncharov S.V., Simonova V.V. Achievements and main directions of domestic and foreign rice breeding // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2024. №. 3(172) P. 53-59

The first green revolution resulted in increased yields for many crops through the introduction of semi-dwarf forms responsive to high nitrogen inputs. The yield potential of modern inbred and hybrid rice forms reached a plateau at 10–12 t/ha, largely due to an increase in the yield index from 0.3 of traditional cultivars to 0.50–0.55 of modern inbred cultivars and to changes in both biomass and yield. To overcome the rice yield plateau, new plant types (NPTs) characterized by near-perfect morphology, large panicles, increased photosynthesis and lodging resistance were introduced. In breeding for high yield potential, lodging resistance (LR) is always a key target, as it is a yield-limiting factor in irrigated systems with high water and chemical inputs. The stem traits that affect lodging include: length and thickness of internodes, plant height, stem wall thickness, wrapping of internodes by leaf sheaths and leaf thickness. Many studies have noted that high rates of traits characterizing root development largely determine both drought resistance and the effectiveness of mineral nutrition. A wide range of variations in traits characterizing the size of the root system and stem characteristics in domestic rice cultivars was revealed, as well as sources for traits to improve the efficiency of selection. The root length in the studied cultivars was on average 15.96 cm, in eight selected sources it exceeded 20 cm. Its weight exceeded 4 grams in seven samples (average value 2.33 g). Also, the value was twice as high in sources for the trait than on average in the studied cultivars for the trait weight of a stem segment, one and a half times for the trait width of the stem at the base.

Key words: *breeding; rice; yield; lodging resistance; adaptability*