

ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ ОБРАЗЦОВ РИСА В УСЛОВИЯХ ЖЕСТКОЙ ПОЛЕВОЙ ЗАСУХИ

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

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

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

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

Засуха является одним из наиболее важных факторов, препятствующих выращиванию риса, что приводит к большим потерям урожая и ограничивает рост урожайности. Цель исследований – определение засухоустойчивости сортов и образцов риса различного происхождения в условиях периодического полива с периодами длительного пересыхания почвы и высокой температуры воздуха, выделение устойчивых к засухе растений для селекции суходольных сортов. Изучено 68 сортов и образцов суходольного риса при выращивании на орошаемом и затопляемом участках (г. Пролетарск, Ростовская обл.). Установлено, что сорта и образцы в условиях засухи и достаточном водообеспечении формировали разную урожайность зерна, которая при нехватке воды составила в 2020–2021 гг. в среднем 63,7 % к норме, а в 2022 г. – 30,1 %. Установлено, что корреляция урожайности риса в засушливых условиях с таковой при полной влагообеспеченности была слабой отрицательной ($r = -0,22 \pm 0,12$), а с индексом засухоустойчивости (ИЗУ) – высокой положительной ($r = 0,95 \pm 0,04$). Величины количественных признаков в условиях засухи значительно изменяются по сравнению с контролем. Уменьшается высота растений (95,7 %), длина метелки (73,1 %), ее плотность (58,7 %), количество растений к уборке на 1 м² (87,3 %), масса растения (42,3 %), масса метелки (25,1 %), общее число колосков (54,5 %) и зерен на метелке (32,4 %), масса 1000 зерен (70,4 %); увеличивается количество продуктивных стеблей на 1 м² (115,2%), кустистость (126,1 %), количество пустых колосков на метелке (205,1 %) и процент пустозерности (339,1 %). Выявлены 9 сортов и образцов, имевших ИЗУ от 51,1 до 93,7 %: Контроль, Ан-Юн-Хо, Чан-Чунь-Ман, Хун-Мо, 8323, 8338, 8337, ЗУЛК 8, ЗУЛК 9, которые сформировали максимальную урожайность в засушливых условиях (3,95–5,51 т/га).

Ключевые слова: рис, сорт, образец, источник, суходол, засухоустойчивость, периодический полив, урожайность.

Для цитирования: Костылев П. И., Аксенов А. В., Краснова Е. В. Оценка продуктивности образцов риса в условиях жесткой полевой засухи // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 4. С. 35–42. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-87-4-35-42.



ESTIMATION OF THE PRODUCTIVITY OF RICE SAMPLES UNDER SEVERE FIELD DROUGHT

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

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

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

FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",

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

Drought is one of the most important factors hindering the cultivation of rice, resulting in large yield losses, and limiting productivity growth. The purpose of the current study was to determine the drought resistance of rice varieties and samples of various origins under conditions of periodic irrigation with periods of prolonged soil aridity and high air temperature, to identify drought-resistant plants for the selection of upland varieties. There have been studied 68 varieties and samples of upland rice when grown on irrigated and flooded areas (Proletarsk, Rostov region). There has been established that varieties and samples under drought conditions and sufficient water supply formed different grain productivity, which in 2020–2021 with a lack of water amounted to 63.7 % of the norm, and in 2022 to 30.1 %. There has been found that the correlation of rice productivity under dry conditions with that under full moisture supply was weak negative ($r = -0.22 \pm 0.12$), and with the drought resistance index (DRI) it was high positive ($r = 0.95 \pm 0.04$). The values of quantitative traits under drought conditions have changed significantly in comparison with the control. Such traits as plant height (95.7 %), panicle length (73.1%), panicle density (58.7 %), number of harvested plants per 1 m² (87.3 %), plant weight (42.3 %), panicle weight (25.1 %), total number of spikelets (54.5 %) and grains per panicle (32.4 %), 1000-grain weight (70.4 %) have decreased. Such traits as number of productive stems per 1 m² (115.2 %), tilling capacity (126.1 %), the number of empty spikelets per panicle (205.1 %) and the percentage of empty grains (339.1 %) have increased. There have been identified such 9 varieties and samples with DRI from 51.1 to 93.7 % as 'Kontrol', 'An-Yun-Ho', 'Chan-Chun-Man', 'Hong-Mo', '8323', '8338', '8337', 'ZULK 8', 'ZULK 9', which formed maximum productivity in dry conditions (3.95–5.51 t/ha).

Keywords: rice, variety, sample, source, dry land, drought resistance, periodic watering, productivity.

Введение. Рис – важный продукт питания народов мира, однако его производство потребляет большое количество ресурсов пресной воды. Поэтому засуха является одним из наиболее важных факторов, препятствующих выращиванию риса, что приводит к большим потерям урожая и ограничивает рост урожайности на более чем 65 % рисовых полей в мире, где обычные сорта риса снижают продуктивность в условиях засушливого стресса. Например, в Китае площадь, охваченная засухой, достигла 26,67 млн га, что привело к сокращению количества продовольствия на 70–80 млн тонн. Поэтому необходимы разработка и создание засухоустойчивых сортов риса для стабилизации и повышения уровня производства (Luo, 2010).

Существуют различные взгляды на засухоустойчивость. Физиологи растений считают, что засухоустойчивость растений – это способность выживать или расти в условиях нехватки воды, но агрономов больше интересует урожайность сельскохозяйственных культур в условиях засухи. Засухоустойчивость можно определить как выживаемость и продуктивность сельскохозяйственных культур в условиях засухи. Засухоустойчивость с.-х. культур носит комплексный характер и включает как минимум три важных физиологических направления. Во-первых, культурам в условиях засухи необходимо поддерживать высокий водный тургор растений; во-вторых, культурам в случае маловодья необходимо поддерживать свои физиологические функции; в-третьих, культура может восстанавливать водный статус и функционировать после засушливого стресса. В настоящее время более последовательной точкой зрения является та, что смысл засухоустойчивости состоит из трех аспектов (Bhandari et al., 2023).

1. Предотвращение обезвоживания (ПО) относится к способности растения поддерживать высокий уровень воды за счет поглощения воды или сокращения потерь воды в засушливых условиях. ПО достигается за счет развития большой и глубокой корневой системы для захвата воды из почвы, а также за счет закрытия устьиц или непроницаемой кутикулы листа для уменьшения транспирации. При селекции и фенотипировании основными критериями ПО являются морфологические признаки корней (такие как длина, диаметр и объем корня и т. д.) и физиологические признаки (такие как устьичная проводимость, водный потенциал листьев, относительное содержание воды в листьях, потеря воды, скорость фотосинтеза, температура листового покрова и т. д.).

2. Устойчивость к обезвоживанию (УО) определяется как относительная способность растений поддерживать физиологические функции при низком уровне воды в листьях. Это относится к активному накоплению осмотических веществ в растительных клетках, что увеличивает способность осмотической регуляции поддерживать высокий тургор. УО

также включает в себя повышение способности к удалению вредных веществ, накопленных в растениях, и антиоксидантную защиту и т.д. Мера этой способности включает несколько физиологических характеристик, таких как осмотическая адаптация, содержание абсцизовой кислоты, пролина, растворимых сахаров, хлорофилла, активность пероксидазы или супероксиддисмутазы и др.

3. Восстановление после засухи (ВЗ) относится к способности растения к восстановлению после периода сильной засухи, которая вызывает остановку роста, полную потерю тургора и высыхание листьев.

Хотя ПО, УО и ВЗ имеют различный смысл, они обычно вместе участвуют в функционировании растения. ПО является основным фактором устойчивости к засухе, но устойчивость к засухе (устойчивость к обезвоживанию – УО) рассматривается как вторая линия защиты.

Только в засушливой среде в полевых условиях засухоустойчивость риса проявляется в полной мере. Эта информация более важна, чем при выращивании в теплице, в сосудах, чашках Петри. Стабильность урожайности является основным критерием оценки устойчивости образца. Однако для более детального изучения необходимо разбить признак на составляющие (колосковая стерильность при стрессе, число колосков и др.), изучить их вариабельность, корреляционные связи с продуктивностью (Гончарова и др., 2020). Эффективная и успешная селекция на урожайность и связанные с ней агрономические компоненты как в условиях стресса, так и в условиях его отсутствия может быть достигнута за счет генетической рекомбинации признаков высокой урожайности и засухоустойчивости.

Индийские ученые показали, что генотипы, идентифицированные как проявляющие высокую урожайность в условиях засушливого стресса на вегетативной стадии, не обязательно демонстрировали наилучшие показатели в условиях засухи на репродуктивной стадии. На вегетативной стадии засуха снижает образование листьев и кустистость, что впоследствии снижает развитие метелок на растении и приводит к потере урожая, тогда как на репродуктивной стадии засуха вызывает уменьшение количества зерен в метелке, повышает стерильность зерна и снижает массу зерновки (Swain et al., 2017).

Увеличение случаев стресса от засухи в условиях изменения климата требует выведения сортов риса, которые сочетают в себе устойчивость к стрессу на вегетативной и репродуктивной стадиях развития, а также обладают высоким потенциалом урожайности при хорошем поливе. Различные сорта, подвиды и виды сельскохозяйственных культур демонстрируют генетические различия в ответ на дефицит воды в одних и тех же условиях окружающей среды, что подчеркивает важность разнообразия как основного фактора засухоустойчиво-

сти и его важность в исследованиях, связанных с засухой. Сорты, демонстрирующие высокую засухоустойчивость, часто становятся объектами исследований, связанных с засухой, и являются наиболее многообещающими источниками генов устойчивости к этому фактору для использования в создании современных сортов (Oladosu et al., 2019).

Для создания российских сортов риса, адаптированных к недостатку поливной воды, в ФНЦ риса был создан материал при гибридизации сортов зарубежной и отечественной селекции (Гончарова и др., 2017). Большой селекционный материал риса, устойчивый к засухе, создан в АНЦ «Донской».

Цель исследований – определение засухоустойчивости сортов и образцов риса различного происхождения в условиях периодического полива с периодами длительного пересыхания почвы и высокой температуры воздуха, выделение устойчивых к засухе растений для селекции суходольных сортов.

Материалы и методы исследований.

Испытания по скринингу стрессоустойчивости проводили в лаборатории селекции и семеноводства риса на землях ОП «Пролетарское» (юг Ростовской области) в течение трех лет – с 2020 по 2022 год. Почва опытного участка суглинистая. Содержание гумуса около 3 %, азота – 0,5 мг, фосфора – 1–2 мг, калия – 24–30 мг в 100 г почвы. Испытываемые генотипы риса представляли собой коллекционные образцы, полученные из ВИР им. Н. И. Вавилова, а также селекционные сорта и линии, созданные в АНЦ «Донской» путем скрещивания популярных высокоурожайных сортов риса с разнообразным набором доноров устойчивости к дефициту влаги, и кроме того, засухоустойчивые линии из ФНЦ риса (ЗУЛК). Всего было оценено 68 линий и сортов, использованных в качестве контрольных. Образцы изучали в двух вариантах: 1) контрольный участок, на котором поддерживали постоянный уровень воды 20 см; 2) отдельный участок с периодическим орошением из оросительного канала напуском воды слоем 10 см – в середине мая, июня, июля и августа при высыхании поверхности почвы до ее растрескивания. Воздействие стресса от засухи продолжалось до тех пор, пока у растений не начинали проявляться такие симптомы, как скручивание листьев в трубку и подсыхание их кончиков.

Во все годы для каждого варианта посева проводили в начале мая сеялкой Деметра с нормой высева 500 шт./м² на делянках площадью 10 м² в 3-кратной повторности. Индекс засухоустойчивости рассчитывали как отношение величины признака в опыте с периодическим орошением (условно названное засуха) к таковой на контроле (затопление, условно взятое за норму) (О/К*100%). Для математиче-

ской обработки числового материала использовали программы Excel и Statistica 8.

Погода в 2020 г. отличалась повышенным количеством осадков в мае – 67,2 мм (+15 мм к норме) и июне – 81,1 мм (+19 мм); пониженным – в июле – 27,1 мм (–35 мм), августе – 18,9 мм (–30 мм) и сентябре – 0,8 мм (–34 мм), то есть преобладали засушливые условия во время генеративной фазы развития риса. Температурный режим мая (16,0 °С) был ниже среднемноголетних значений на 0,7 °С, а в летние месяцы и в сентябре превысил ее на 2,3–4,3 °С. В июне средняя температура составила 23,4 °С, в июле – 23,4 °С, августе – 23,9 °С, в сентябре – 20,8 °С. В 2021 г. наблюдались обильные дожди в мае – 89,6 мм (+37,6 мм) и сентябре – 83,6 (+48,6 мм), низкая сумма осадков летом: в июне – 33,4 мм (–28,6 мм), июле – 43,2 мм (–18,8 мм), августе 45,7 мм (–3,3 мм). Отмечена высокая температура воздуха в период май–август. Средние значения температуры составили в мае 17,8 °С (+1,1 °С), июне – 22,4 °С (+2,3 °С), июле – 27,2 °С (+4,7 °С), августе – 26,2 °С (+4,6 °С). В 2022 г. погода характеризовалась пониженным количеством осадков с мая по сентябрь – 194 мм (74,6 % от нормы 260 мм). Май был холодным (14,7 °С), на 2 °С ниже нормы, а лето жарким. Средняя температура июня – 22,8 °С (+2,7 °С), июля – 23,9 °С (+1,4 °С), августа – 26,9 °С (+5,4 °С). В 2022 г. сложились условия самой жесткой засухи за весь период исследований, так как из-за жары поливная вода быстро испарялась.

Результаты и их обсуждение. Условия 2022 г. были очень жесткими, экстремальными по влагообеспеченности и значительно отличались от 2020–2021 годов. Поэтому в таблице 1 приводятся данные за 2020–2021 и 2022 гг. отдельно. В процессе исследований установили, что урожайность на контроле при затоплении незначительно различалась по годам: в среднем за 2020–2021 гг. 6,71 т/га, а в 2022 г. – 6,98 т/га. Однако при водном дефиците продуктивность растений в 2020–21 гг. составила 4,20 т/га, а в 2022 г. была существенно ниже – 1,99 т/га, то есть более, чем в 2 раза уступала прошлым годам. Поэтому и средний индекс засухоустойчивости в 2022 г. (30,1 %) был значительно ниже, чем в 2020–2021 годах (63,7 %).

В условиях постоянного затопления урожайность образцов в среднем за 2020–2021 гг. варьировала от 4,53 до 9,45 т/га (в среднем 6,71 т/га), а в 2022 г. – от 4,17 до 9,88 т/га. В условиях засухи их урожайность колебалась от 0,29 до 5,51 т/га (в среднем 1,99 т/га). Распределение сортообразцов риса по засухоустойчивости, выраженной соотношением урожайности при засухе к норме, варьировало в 2022 г. от 3,4 до 93,7 %, в среднем – 30,1 % (рис. 1).

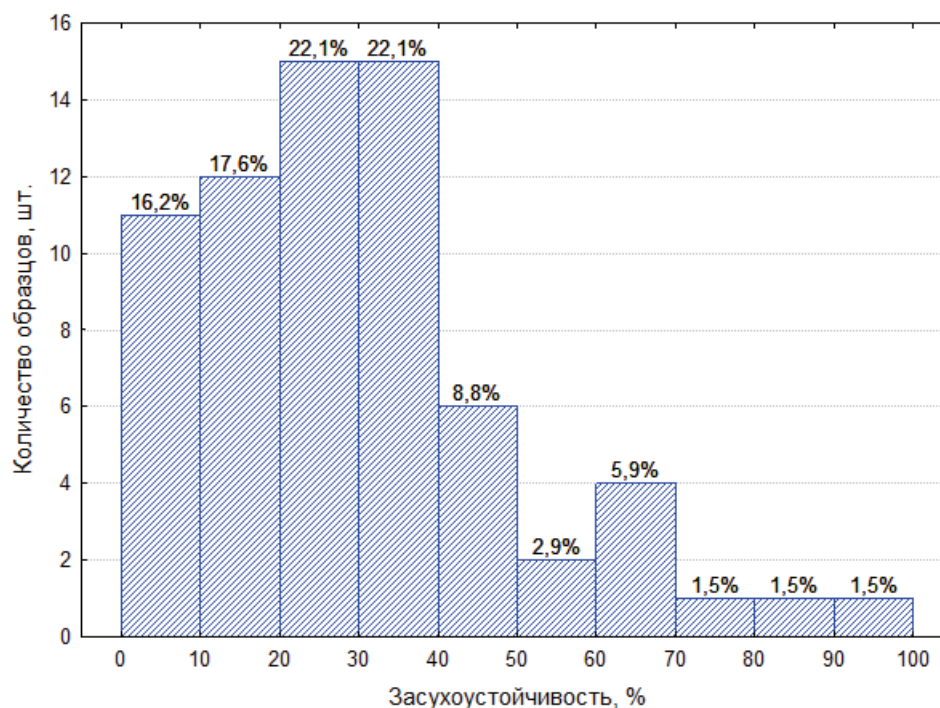


Рис. 1. Распределение образцов риса по засухоустойчивости на основе соотношения урожайности при засухе к таковой в норме (в среднем за 2020–2021 гг.)

Fig. 1. Distribution of rice samples according to drought resistance based on the ratio of productivity during drought to that in the normal conditions (mean in 2020–2021)

Преобладали образцы с индексом засухоустойчивости (ИЗУ) от 20 до 40 %, их было 44,2 % от общего числа. Выявлено 9 сортов и образцов, имевших ИЗУ более 50 %. К ним относятся китайские стародавние сорта Контро, Ан-Юн-Хо, Чан-Чунь-Ман, Хун-Мо, образцы гибридного происхождения 8323 (Скомс белый х Кубань 3, № 4), 8338 (Командор х Чан-Чунь-Ман, № 3),

8337 [(Чан-Чунь-Ман х Боярин) х Кубояр, № 3], ЗУЛК 8, ЗУЛК 9, у которых соотношение урожайности при засухе и норме составило от 51,1 до 93,7 % (табл. 1). Китайские сорта из Маньчжурии Контро и Чан-Чунь-Ман показали по годам близкие значения ИЗУ: у Контро – 78,8 и 77,4 %, а у Чан-Чунь-Ман – 89,7 и 86,0 %, соответственно.

Таблица 1. Урожайность риса при дефиците влаги и затоплении водой, индекс засухоустойчивости (ИЗУ) (2020–2022 гг.)
Table 1. Rice productivity under moisture deficit and flooding, drought tolerance index (DRI) (2020–2022)

№ п/п	№ образца	Название сорта, образца	2020–2021 гг.			2022 г.		
			Урожайность, т/га		ИЗУ, %	Урожайность, т/га		ИЗУ, %
			засуха	норма		засуха	норма	
1	8357	Акустик	4,42	7,76	56,9	3,89	8,91	43,7
2	8320	Аргамак	6,10	8,73	69,8	2,80	8,20	34,1
3	8355	Боярин	4,50	6,47	69,6	1,20	6,72	17,9
4	8353	Контакт	4,50	6,62	68,0	1,63	5,70	28,6
5	8351	Вирасан	4,41	6,28	70,3	1,99	7,86	25,3
6	8363	Волгоградский	4,15	6,23	66,6	1,82	4,58	39,7
7	8393	Волгоградский х Магнат	3,22	7,37	43,6	1,67	6,27	26,6
8	8367	Сталинградский	4,87	6,75	72,1	2,74	8,01	34,2
9	8361	Пируэт	4,57	9,45	48,3	2,19	7,82	28,0
10	8325	Ан-Юн-Хо, Китай	4,40	4,91	89,6	3,86	6,12	63,1
11	8328	Командор х Ан-Юн-Хо	4,18	7,82	53,5	0,76	9,16	8,3
12	8329	Дин-Сян, Китай	4,37	5,47	79,9	3,47	7,51	46,2
13	8395	Дин Сян х Боярин	4,30	6,92	62,1	1,81	7,39	24,5
14	8397	Дин Сян х Кубояр	4,00	5,93	67,4	1,93	5,81	33,2
15	8331	Золотые всходы	4,27	4,97	85,9	1,83	5,84	31,3
16	8330	Командор х Золотые всходы	4,05	6,09	66,5	0,61	7,17	8,5
17	8339	Маловодотребовательный	4,15	4,53	91,6	1,33	4,96	26,8
18	8326	Командор х Маловодотребовательный	4,85	6,90	70,3	2,77	7,56	36,6

Продолжение табл. 1

№ п/п	№ образца	Название сорта, образца	2020–2021 гг.			2022 г.		
			Урожайность, т/га		ИЗУ, %	Урожайность, т/га		ИЗУ, %
			засуха	норма		засуха	норма	
19	8401	ЗУЛК 1	3,53	5,63	62,6	3,50	7,66	45,7
20	8403	ЗУЛК 2	4,42	5,51	80,1	0,77	6,76	11,4
21	8405	ЗУЛК 3	4,64	6,92	67,0	2,36	6,81	34,7
22	8407	ЗУЛК 4	2,82	6,77	41,6	2,26	7,10	31,8
23	8399	ЗУЛК 5	3,83	5,44	70,4	1,24	6,98	17,8
24	8407	ЗУЛК 6	4,40	5,25	83,8	1,99	5,89	33,8
25	8409	ЗУЛК 7	3,52	6,92	50,9	2,54	8,26	30,8
26	8346	ЗУЛК 8	4,90	7,34	66,7	4,83	7,45	64,8
27	8350	ЗУЛК 9	4,30	6,51	66,0	5,51	5,88	93,7
28	8413	ЗУЛК 10	4,44	6,17	71,9	0,69	7,36	9,4
29	8411	ЗУЛК 11	3,42	7,13	47,9	2,13	6,58	32,4
30	8324	ЗУЛК 12	3,91	8,71	44,9	0,61	9,59	6,4
31	8415	ЗУЛК 13	2,95	6,76	43,6	0,40	6,63	6,0
32	8354	ЗУЛК 14	3,25	5,90	55,1	2,90	6,66	43,5
33	8322	ЗУЛК 15	3,90	5,31	73,4	2,21	6,82	32,4
34	8340	Контро х Боярин	4,05	7,04	57,6	2,04	7,63	26,7
35	8342	Контро х Кубояр	4,53	8,91	50,8	3,05	6,52	46,8
36	8335	Контро, Китай	4,36	5,54	78,8	3,63	4,69	77,4
37	8327	Скомс белый х Кубань 3, №1	3,51	6,10	57,6	0,44	5,86	7,5
38	8348	Скомс белый х Кубань 3, №2	2,65	6,35	41,7	1,91	8,73	21,9
39	8352	Скомс белый х Кубань 3, №3	3,31	6,40	51,8	1,38	6,44	21,4
40	8323	Скомс белый х Кубань 3, №4	4,44	6,44	68,9	2,77	5,22	53,1
41	8321	Суходол	4,89	7,52	65,0	2,55	6,91	36,9
42	8377	(Суходол х Боярин) х Боярин	4,49	7,02	64,0	1,34	6,81	19,7
43	8373	Суходол х Боярин	3,15	7,03	44,8	0,49	7,74	6,3
44	8381	Суходольный х Кубояр	4,15	7,05	58,9	1,57	6,28	25,0
45	8344	Раздольный х Суходольный	3,56	6,39	55,7	2,02	6,00	33,7
46	8343	Хун-Мо, Китай	3,43	5,09	67,3	2,13	4,17	51,1
47	8332	Командор х Хун-Мо	4,38	6,22	70,4	1,58	6,00	26,3
48	8347	Чан-Чунь-Ман, Китай	4,89	5,45	89,7	4,42	5,14	86,0
49	8334	Командор х Чан-Чунь-Ман, №1	4,17	5,93	70,3	1,50	7,79	19,3
50	8336	Командор х Чан-Чунь-Ман, №2	4,22	6,54	64,5	2,17	7,48	29,0
51	8338	Командор х Чан-Чунь-Ман, №3	5,24	7,14	73,4	4,29	7,13	60,2
52	8345	Чан-Чунь-Ман х Боярин, №1	3,73	8,10	46,0	0,91	8,99	10,1
53	8349	Чан-Чунь-Ман х Боярин, №2	4,36	7,42	58,8	2,05	6,47	31,7
54	8365	Чан-Чунь-Ман х Боярин, №3	4,20	8,17	51,4	0,61	9,49	6,4
55	8369	Чан-Чунь-Ман х Боярин, №4	4,35	7,04	61,8	1,48	6,39	23,2
56	8371	Чан-Чунь-Ман х Боярин, №5	4,72	7,54	62,6	1,56	8,64	18,1
57	8375	Чан-Чунь-Ман х Боярин, №6	3,90	7,71	50,6	2,79	6,79	41,1
58	8385	Чан-Чунь-Ман х Кубояр	4,16	7,47	55,7	0,80	6,13	13,1
59	8341	(Чан-Чунь-Ман х Боярин) х Кубояр, №1	4,52	7,05	64,1	0,41	8,04	5,1
60	8333	(Чан-Чунь-Ман х Боярин) х Кубояр, №2	4,79	7,21	66,3	1,35	9,28	14,5
61	8337	(Чан-Чунь-Ман х Боярин) х Кубояр, №3	3,96	7,45	53,2	3,95	6,20	63,7
62	8379	Чан-Чунь-Ман х Раздольный, №1	4,72	7,06	66,9	0,29	8,46	3,4
63	8387	Чан-Чунь-Ман х Раздольный, №2	5,57	6,91	80,5	1,35	9,88	13,7
64	8383	Чан-Чунь-Ман х Раздольный, №3	4,60	7,30	63,0	0,77	7,22	10,7
65	8389	Чан-Чунь-Ман х Южанин, №1	4,33	6,43	67,4	0,92	5,08	18,1
66	8391	Чан-Чунь-Ман х Южанин, №2	4,82	6,18	77,9	1,00	4,90	20,4
67	8359	Южанин	3,82	7,07	54,0	1,86	6,85	27,2
68	8356	(Ламро х Вираз) х Боярин	3,32	5,14	64,7	0,69	7,65	9,0
		Средние	4,20	6,71	63,7	1,99	6,98	30,1
		НСР ₀₅	0,62	0,99	12,1	0,51	1,08	13,5

Сорта, имевшие низкие величины ИЗУ в 2020–2021 гг., подтвердили свой уровень и в 2022 году. Однако были и такие образцы, которые ранее показали устойчивость к засухе, а при более жестком дефиците влаги потеря-

ли это свойство, например, ЗУЛК 2 снизил его с 80,1 до 11,4 %. Это указывает на различную степень устойчивости генотипов. Корреляция между ИЗУ 2020–21 и 2022 гг. оказалось средней положительной ($r = 0,31 \pm 0,08$).

Максимальную урожайность в засушливых условиях сформировали сорта Акустик – 3,89 т/га, 8337 (Чан-Чунь-Ман х Боярин) х Кубояр, № 3 – 3,95 т/га, 8338 Командор х Чан-Чунь-Ман, № 3 – 4,29 т/га, 8347 Чан-Чунь-Ман – 4,42 т/га, ЗУЛК 8 – 4,83 т/га, ЗУЛК 9 – 5,51 т/га. При этом сорт Акустик имел средние значения засухоустойчивости (43,6 %), однако обладал более высоким потенциалом урожайности, который на контроле составил 8,91 т/га.

Установлено, что корреляция урожайности риса в засушливых условиях с таковой при полной влагообеспеченности была слабой отрицательной ($r = -0,22 \pm 0,12$), а с ИЗУ – высокой положительной ($r = 0,95 \pm 0,04$).

В варианте с имитацией стресса от засухи урожайность и величина всех количественных признаков у изученных линий и образцов существенно различались. В таблице 2 показаны диапазоны, средние значения, коэффициенты вариации (CV) у тринадцати признаков в 2022 году. Высота растений показала низкую изменчивость (CV < 10 %) в обоих вариантах опыта. Масса 1000 зерен имела на контроле низкую изменчивость (CV = 5,5 %), а при засухе –

среднюю (CV = 16,5 %). Это было связано с недостаточным наливанием зерна у ряда образцов. Длина метелки имела низкие значения на контроле (8,9 %), но высокие при засухе (26,0 %). Большинство признаков на контрольном варианте показали среднюю изменчивость, кроме процента пустозерности и количества пустых колосков на метелке (CV = 29,6–37,6 %). Это было связано с тем, что из-за засухи и суровеев подсушивались рыльца, ухудшалось их опыление и уменьшалась фертильность колосков.

В условиях засухи изменчивость признаков возрастала, что было связано с различной степенью чувствительности образцов риса к ней. Средняя изменчивость была у массы 1000 зерен и количества растений к уборке, высокая – у признаков «количество продуктивных стеблей к уборке», «кустистость», «длина метелки», «масса растения», «масса зерна с метелки», «общее число колосков на метелке». Очень высокий коэффициент вариации (более 30 %) наблюдали у признаков «плотность метелки», «количество выполненных зерен и пустых колосков в метелке».

Таблица 2. Статистические параметры риса в условиях стресса от засухи и на контроле (2022 г.)
Table 2. Statistical rice parameters under drought stress and on control (2022)

Признак*	Засуха				Контроль				ИЗУ, %
	средние	min	max	CV, %	средние	min	max	CV, %	
1	96,9	88,3	105,6	4,0	101,3	83,9	113,3	6,0	95,7
2	107,7	80,0	177,3	15,7	123,4	70,7	189,3	16,2	87,3
3	309,4	126,9	483,2	25,0	268,6	197,3	377,3	13,3	115,2
4	2,9	1,3	4,6	26,7	2,3	1,8	3,2	13,5	126,1
5	10,6	3,8	16,2	26,0	14,5	12,3	18,2	8,9	73,1
6	4,4	1,4	8,1	32,3	7,5	4,2	11,4	19,9	58,7
7	1,60	0,47	2,78	27,9	3,78	2,83	4,61	10,7	42,3
8	0,61	0,20	0,99	28,2	2,43	1,66	3,01	12,3	25,1
9	19,5	13,4	26,1	16,5	27,7	23,7	30,9	5,5	70,4
10	30,6	10,0	63,3	39,9	94,3	57,5	127,8	15,6	32,4
11	28,3	6,2	57,2	35,8	13,8	5,3	30,5	37,6	205,1
12	58,9	22,7	101,2	28,9	108,0	66,0	155,0	17,0	54,5
13	43,4	10,1	71,7	31,8	12,8	6,1	21,6	29,6	339,1

Примечание. * – признак: 1 – высота растений, см; 2 – количество растений к уборке на 1 м², шт.; 3 – количество продуктивных стеблей к уборке на 1 м², шт.; 4 – кустистость, шт./растение; 5 – длина метелки, см; 6 – плотность метелки, шт./см; 7 – масса растения, г; 8 – масса зерна с метелки, г; 9 – масса 1000 зерен, г; 10 – количество выполненных зерен в метелке, шт.; 11 – количество пустых колосков, шт.; 12 – общее число колосков на метелке, шт.; 13 – пустозерность, %.

Величины количественных признаков, в том числе элементов структуры урожая, на обоих вариантах опыта, то есть в засушливых и нормальных условиях, значительно различались и среди сортов, и между вариантами. Самый низкий индекс засухоустойчивости наблюдался по массе зерна с метелки – 25,1 %. Этот признак является главным фактором, определяющим урожайность. Низкий ИЗУ был также у связанного с ним признака «количество выполненных зерен в метелке» – 32,4 %.

Количество растений к уборке на 1 м² при засухе (107,7 шт.) было немного меньше,

чем на контроле (123,4), поэтому ИЗУ составил 87,3 %. Однако количество продуктивных побегов на 1 м² в условиях периодических поливов даже повысилось по сравнению с затоплением на 40,8 и составило 309,4 шт. за счет повышенной кустистости на богаре – 2,9, шт./растение (2,3 – на контроле), то есть происходила определенная компенсация (ИЗУ = 115,2 %).

По высоте растений диапазон изменчивости образцов на контроле (83,9–113,3 см) был несколько шире по сравнению с засухой (88,3–105,6 см), однако средняя величина здесь (96,9 см) незначительно уступала таковой

на контроле (101,3 см), поэтому величина ИЗУ составила 95,7 %.

Длина метелки при засухе составила 10,6 см, на контроле 14,5 см, то есть существенно уменьшилась (ИЗУ = 73,1 %).

Масса растения при засухе (1,60 г) значительно уступала таковой на контроле (3,78 г), поэтому показатель ИЗУ составил 42,3 %, однако масса зерна с метелки снизилась еще больше, на засухе – 0,61 г (контроль 2,43 г), поэтому ИЗУ снизился до минимального значения 25,1 %.

Общее количество колосков в метелке сформировалось при засухе – 58,9 шт., а при затоплении водой – 108,0 шт., превышая почти в 2 раза, ИЗУ = 54,5 %. Это повлияло и на плотность метелки, которая уменьшилась с 7,5 до 4,4 шт./см (ИЗУ = 58,7 %).

Количество выполненных зерен в метелке при засухе (30,6 шт.) оказалось в 3 раза меньше, чем на контроле (94,3 шт.), поэтому ИЗУ составил всего 32,4%. Это произошло из-за значительного увеличения числа пустых колосков на метелке, которое выросло с 13,82 до 28,3 шт., а величина ИЗУ приобрела большее значение – 205,1 %. Соответственно, увеличился и процент пустозерности – с 12,8 до 43,4 % (ИЗУ = 339,1 %).

Масса 1000 зерен образцов риса в засушливых условиях колебалась от 13,4 до 26,1 г, в среднем 19,5 г, существенно уступая таковой на контроле – диапазон ее составлял от 23,7 до 30,9 г, в среднем 27,7 г. Поэтому показатель ИЗУ снизился до 70,4%. Это произошло из-за повышенной щуплости семян, которые не полностью налились в условиях жесткой засухи. Особенно пострадали позднеспелые образцы, в то время как ранние сорта незначительно уменьшили массу зерновки.

В процессе исследований из разнообразных сортов и образцов выделены засухоустойчивые формы, которые можно использовать

в скрещиваниях при селекции суходольных сортов риса для сельскохозяйственных предприятий, имеющих оборудование периодического орошения полей.

Выводы. В условиях засухи при дефиците влаги в почве урожайность растений в 2020–2021 гг. составила 4,20 т/га, а в 2022 г. была существенно ниже – 1,99 т/га, то есть более чем в 2 раза уступала прошлому периоду. Урожайность на контроле при затоплении незначительно различалась по годам: 6,71 и 6,98 т/га, соответственно. Поэтому средний индекс засухоустойчивости (ИЗУ) в 2022 г. (30,1 %) был значительно ниже, чем в 2020–2021 годах (63,7 %).

Выявлено 9 сортов и образцов, имевших ИЗУ более 50 %: китайские сорта Контро, Ан-Юн-Хо, Чан-Чунь-Ман, Хун-Мо, селекционные образцы 8323, 8338, 8337, ЗУЛК 8, ЗУЛК 9, у которых соотношение урожайности при засухе и норме составило от 51,1 до 93,7%. Они сформировали максимальную урожайность в засушливых условиях (3,95–5,51 т/га).

Величины количественных признаков в условиях засухи значительно изменяются по сравнению с контролем. Уменьшается высота растений (95,7 %), длина метелки (73,1 %), ее плотность (58,7 %), количество растений к уборке на 1 м² (87,3 %), масса растения (42,3 %), масса метелки (25,1 %), общее число колосков (54,5 %) и зерен на метелке (32,4 %), масса 1000 зерен (70,4 %); увеличивается количество продуктивных стеблей на 1 м² (115,2 %), кустистость (126,1 %), количество пустых колосков на метелке (205,1 %) и процент пустозерности (339,1 %).

Выделены устойчивые к засухе образцы для создания суходольных сортов риса, способных расти в условиях периодического орошения при малом объеме поливной воды.

Библиографические ссылки

1. Гончарова Ю. К., Малюченко Е. А., Очкас Н. А. Селекция сортов риса, адаптированных к недостатку поливной воды // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 66. С. 74–77.
2. Гончарова Ю. К., Очкас Н. А., Харитонов Е. М., Брагина О. А. Создание методики селекции риса на адаптивность к сокращенным нормам полива // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 84. С. 130–134.
3. Luo L. J. Breeding for water-saving and drought-resistance rice (WDR) in China // Journal of Experimental Botany. 2010. Vol. 61, Iss. 13. P. 3509–3517, <https://doi.org/10.1093/jxb/erq185>.
4. Oladosu Y., Rafii M. Y., Samuel C., Fatai A., Magaji U., Kareem I., Kamarudin Z. S., Muhammad I., Kolapo K. Drought Resistance in Rice from Conventional to Molecular Breeding: A Review // International Journal of Molecular Sciences. 2019. Vol. 20, Article number: 3519. DOI: 10.3390/ijms20143519.
5. Swain P., Raman A., Singh S. P., Kumar A. Breeding drought tolerant rice for shallow rainfed ecosystem of eastern India // Field Crops Res. 2017. Vol. 209, P. 168–178. DOI: 10.1016/j.fcr.2017.05.007.
6. Bhandari U., Aakriti G., Khadka B., Thapa I., Chand I., Bhatta D., Poudel A., Pandey M., Shrestha S., Shrestha J. Morpho-physiological and biochemical response of rice (*Oryza sativa* L.) to drought stress: A review // Heliyon. 2023. Vol. 9(9), DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e13744.

References

1. Goncharova Yu. K., Malyuchenko E. A., Ochkas N. A. Seleksiya sortov risa, adaptirovannykh k nedostatku polivnoi vody [Breeding of rice varieties adapted to the lack of irrigation water] // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. № 66. S. 74–77.
2. Goncharova Yu. K., Ochkas N. A., Kharitonov E. M., Bragina O. A. Sozdanie metodi-ki selektsii risa na adaptivnost' k sokrashchennym normam poliva [Development of a rice breeding methodology for

adaptability to reduced irrigation rates] // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. № 84. S. 130–134.

3. Luo L.J. Breeding for water-saving and drought-resistance rice (WDR) in China // Journal of Experimental Botany. 2010. Vol. 61, Iss. 13. P. 3509–3517, <https://doi.org/10.1093/jxb/erq185>.

4. Oladosu Y., Rafii M.Y., Samuel C., Fatai A., Magaji U., Kareem I., Kamarudin Z.S., Muhammad I., Kolapo K. Drought Resistance in Rice from Conventional to Molecular Breeding: A Review // International Journal of Molecular Sciences. 2019. Vol. 20, Article number: 3519. DOI: 10.3390/ijms20143519.

5. Swain P., Raman A., Singh S.P., Kumar A. Breeding drought tolerant rice for shallow rainfed ecosystem of eastern India // Field Crops Res. 2017. Vol. 209, P. 168–178. DOI: 10.1016/j.fcr.2017.05.007.

6. Bhandari U., Aakriti G., Khadka B., Thapa I., Chand I., Bhatta D., Poudel A., Pandey M., Shrestha S., Shrestha J. Morpho-physiological and biochemical response of rice (*Oryza sativa* L.) to drought stress: A review // Heliyon. 2023. Vol. 9(9), DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e13744.

Поступила: 06.06.23; доработана после рецензирования: 04.07.23; принята к публикации: 18.07.23.

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. – научное руководство, постановка цели и задач, анализ литературных данных, формирование методологии исследования, анализ данных, написание текста статьи; Аксенов А. В. – закладка опыта, посев сортов, отбор растений для анализа, сбор данных, промеры и подсчеты, заполнение таблиц; Краснова Е. В. – структурный анализ данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.