

Изучение устойчивости риса к водному дефициту

П. И. Костылев¹✉, А. В. Аксенов¹, Е. В. Краснова¹

¹ Аграрный научный центр «Донской», Зерноград, Россия

✉E-mail: p-kostylev@mail.ru

Аннотация. Из различных абиотических стрессов при производстве риса наиболее важным во многих странах является засуха или водный дефицит. **Цель** исследования – изучить коллекционные, гибридные и селекционные сорта и образцы риса на толерантность к длительной почвенной и воздушной засухе, отобрать засухоустойчивые формы для выведения новых сортов. **Методы.** Объекты исследований – 68 сортов и образцов суходольного риса, которые возделывали на орошаемом и затопляемом участках (г. Пролетарск, Ростовская обл.) в трехкратной повторности. Площадь делянки – 10 м², норма высева – 500 семян/м². Полив проводили пуском воды из оросительного канала после посева 10 мая слоем 10 см и в период роста при полном высыхании поверхности почвы. Степень засухоустойчивости определяли по соотношению величины признака в опыте к таковой на контроле (О/К). **Научная новизна.** Определена различная степень засухоустойчивости образцов риса по соотношению продуктивности зерна в условиях водного дефицита и достаточного обеспечения водой, выявлены новые закономерности. **Результаты.** Установлено, что сорта и образцы при засухе и затоплении формировали различную урожайность зерна, которая при дефиците влаги составила в среднем 63,7 % от нормы. Корреляция урожайности при засухе с урожайностью при затоплении была слабой положительной ($r = 0,23 \pm 0,01$), с их соотношением О/К – средней положительной ($r = 0,59 \pm 0,01$), а связь урожайности при затоплении с засухоустойчивостью – средней отрицательной ($r = -0,64 \pm 0,01$). Выявлены 10 сортов и образцов со степенью засухоустойчивости более 75 %, такие как Ан-Юн-Хо, Чан-Чунь-Ман, Золотые всходы, Маловодотребовательный, ЗУЛК 2, ЗУЛК 6, у которых соотношение урожайности при засушливых и нормальных условиях, составляло от 77,9 до 91,6 %. Максимальную урожайность в условиях засухи сформировал новый сорт селекции АНЦ «Донской» Аргамак (6,10 т/га) и селекционные образцы 7970 (Командор × Чан-Чунь-Ман) – 5,24 т/га, ЗУЛК 8 – 4,90 т/га.

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

Для цитирования: Костылев П. И., Аксенов А. В., Краснова Е. В. Изучение устойчивости риса к водному дефициту // Аграрный вестник Урала. 2022. № 01 (216). С. 12–20. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-216-01-12-20.

Дата поступления статьи: 13.10.2021, **дата рецензирования:** 26.10.2021, **дата принятия:** 12.11.2021.

Постановка проблемы (Introduction)

Рисом питается большинство населения мира, поэтому необходимо повышение его продуктивности, так как земельные ресурсы ограничены. Это сложная задача, поскольку этому мешают разнообразные абиотические стресс-факторы и неблагоприятные погодные условия [1, с. 443]. Из этих стрессов наиболее важным лимитом производства риса во многих странах является засуха или водный дефицит, что приводит к огромным экономическим потерям. Это становится более серьезной проблемой в связи с глобальным изменением климата. В связи с текущим и прогнозируемым мировым спросом на продовольствие стало важным приоритетом повышение урожайности сельскохозяйственных культур на подверженных засухе богарных землях. Для достижения производственной цели на богарных землях необходимы сорта риса, устойчивые к засухе, и генетическое улучшение данного признака должно стать высокоприоритетной темой исследований в будущем [2, с. 119].

Засуха отрицательно влияет на любую стадию роста растений, но наиболее опасен этот стресс на стадии цветения и налива зерна, поскольку приводит к снижению урожайности на 25–85 %. Стресс из-за засухи на репродуктивной стадии является важным фактором снижения урожайности богарного риса [3].

Поэтому понимание механизмов устойчивости риса к засухе, нахождение устойчивых генотипов риса, выработка новой стратегии и методологии отбора дают много возможностей для увеличения засухоустойчивости. Более важна такая засухоустойчивость, когда сорта не только способны вырасти и развиваться при водном дефиците, но и минимально теряют урожайность. Поэтому ее можно определить, как способность растений не только выжить, но и сформировать достаточную продуктивность в засушливых условиях [4, с. 3509]. Это количественный признак, часто обозначаемый относительными величинами, т. е. значениями различных признаков в условиях засухи относительно таковых в норме.

Интенсивность засухи очень сложна и зависит от различных причин, таких как частота осадков, испарение и влажность почвы [5, с. 108; 6].

Засухоустойчивость риса контролируют четыре разных механизма: избегание, предотвращение, толерантность и восстановление [4, с. 3510; 7, с. 76; 8, с. 73].

Избегание от засухи является уходом от этого стресса растениями, имеющими короткий жизненный цикл. В сельском хозяйстве можно преодолеть сезонную или климатическую засуху за счет раннего срока сева или использования скороспелых сортов.

Предотвращение засухи определяется тем, что растения могут увеличить поглощение воды и снизить ее потери за счет более развитой, глубоко проникающей корневой системы или закрывающихся устьиц, свертывающихся в трубку листьев, более плотного эпидермиса, позволяющих уменьшить транспирацию.

Толерантность – это способность клеток растений выполнять свои функции при дефиците воды, регулируя экспрессию генов и метаболических путей для уменьшения вызванных стрессом повреждений. Растительные клетки накапливают молекулы пролина для осмотической регуляции тургора.

Восстановление – это способность растений восстанавливаться после стресса от засухи, вызвавшего снижение тургора и высушивание листьев.

Засухоустойчивость – это сложный признак, отраженный изменениями на морфологическом, физиологическом, биохимическом и молекулярном уровнях [9, с. 177; 10, с. 266]. Морфологические адаптации включают увеличение длины и толщины корня, листа, уменьшение массы и размеров листьев, более мелкие эпителиальные клетки с восковидным покровом, замедленное старение и увеличение площади зеленых листьев [11, с. 2]. Понимание физиологической адаптации растений к изменениям водообеспеченности может быть использовано в качестве критерия отбора для создания высокоурожайного сорта в условиях засухи [12, с. 2].

Для определения степени засухоустойчивости признаки, связанные с урожайностью, имеют большее предпочтение и эффективность в селекционной работе по созданию засухоустойчивых сортов [13, с. 670].

Скрининг тысяч коллекционных образцов ранее проводился на предмет засухоустойчивости в различных уголках мира, однако пока признаны лишь несколько засухоустойчивых сортов. В Индонезии в результате индуцированной мутации был получен мутант темно-зеленого риса, который является высокоурожайным и устойчивым к засухе при дефиците удобрений и воды [14, с. 3]. Основными причинами минимального успеха являются очень малое количество действительно засухоустойчивых генотипов и отсутствие подходящих методов скрининга [15, с. 278; 16, с. 2].

Цель наших исследований – изучение коллекционных, гибридных и селекционных образцов риса на

устойчивость к длительному пересыханию почвы и воздушной засухе, отбор засухоустойчивых форм для создания сортов нового типа.

Методология и методы исследования (Methods)

Были изучены 68 образцов и сортов риса различного происхождения, в частности, коллекционные образцы риса ВИГРР им. Н. И. Вавилова Золотые всходы (Россия), Маловодотребовательный (Узбекистан), Ан-Юн-Хо, Дин-Сян, Контро, Хун-Мо, Чан-Чунь-Ман (Китай); линии от их скрещивания в предыдущие годы с сортами Боярин, Командор, Кубояр, Раздольный (АНЦ «Донской»); засухоустойчивые линии из гибридной популяции (ЗУЛК) от скрещивания краснодарского сорта Флагман с азиатскими сортами Нагина 22 и Дулар (ФНЦ риса); а также для сравнения сорта Акустик, Аргамак, Боярин, Вирасан, Контакт, Пируэт, Южанин (АНЦ «Донской»), Волгоградский, Сталинградский, Суходол (АНЦ «Донской» и ВНИИОЗ) [17, с. 55; 18, с. 57].

Исследования проводили в 2020–2021 гг. в лаборатории селекции и семеноводства риса АНЦ «Донской» на базе ОП «Пролетарское» Ростовской области. Образцы выращивали на двух вариантах – орошаемом и затопляемом – в трехкратной повторности. Площадь делянки – 10 м², норма высева – 500 семян/м². Полив проводили пуском воды из оросительного канала после посева 10 мая слоем 10 см и в период роста при полном высыхании поверхности почвы: в 2020 г. – 12 июня (5 см), 28 июля (8 см) и 17 августа (10 см), в 2021 г. – 16 июля (7 см). Степень засухоустойчивости определяли по соотношению величины признака в опыте к таковой на контроле (О/К). Математическую обработку данных проводили с использованием программ Excel и Statistica 10.

Погодные условия 2020 г. характеризовались обильными дождями в мае и июне; пониженным количеством осадков в апреле, июле и августе и их отсутствием в сентябре, т. е. высокой степенью засушливости во второй половине вегетации риса. Температурный режим апреля и мая был ниже нормы, а летом и в сентябре превышал ее на 2,3–4,3 °С. В 2021 г. наблюдались сильные дожди в апреле, мае и сентябре, пониженное количество осадков летом и высокая среднемесячная температура летом – на 2,3–4,7 °С выше нормы.

Результаты (Results)

В результате исследований было установлено, что растения при нехватке воды и в норме формировались по-разному, при этом первые существенно уступали вторым по урожайности. Средняя урожайность риса в 2021 г. была выше, чем в 2020 г.: на суходоле – в 1,52, на контроле – в 1,70 раза, поскольку этот год был более благоприятным для роста и развития.

В обычных условиях с постоянным затоплением урожайность образцов в среднем за годы исследований колебалась от 4,53 до 9,45 т/га (в среднем 6,69 т/га). В условиях недостаточного увлажнения их урожайность варьировала от 2,65 до 6,10 т/га (в среднем 4,19 т/га). Распределение сортообразцов риса по

засухоустойчивости, выраженной соотношением урожайности при засухе к норме, варьировало от 41,6 до 91,6 %, в среднем – 63,7 % (рис. 1).

Установлено, что 10 сортов и образцов показали степень засухоустойчивости более 75 %. К ним относятся китайские стародавние сорта Контро, Дин-Сян, Ан-Юн-Хо, Чан-Чунь-Ман, российский образец Зо-

лотые всходы, узбекский Маловодотребовательный и образцы гибридного происхождения 7966 (Чан-Чунь-Ман × Южанин), 7979 (Чан-Чунь-Ман × Раздольный), ЗУЛК 2, ЗУЛК 6, у которых соотношение урожайности при засушливых и нормальных условиях составляло от 77,9 до 91,6 % (таблица 1).

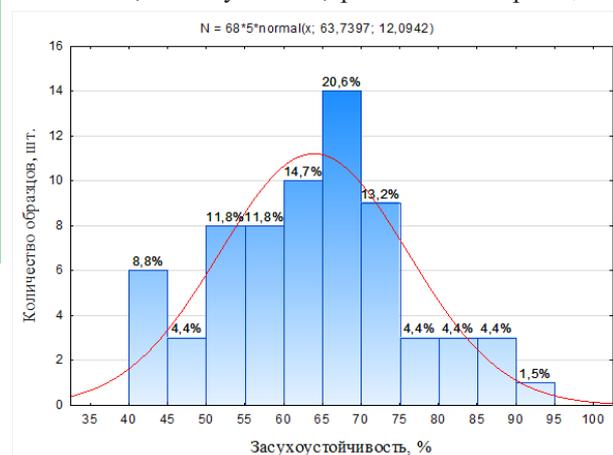


Рис. 1. Распределение образцов риса по соотношению урожайности в опыте к контролю, %

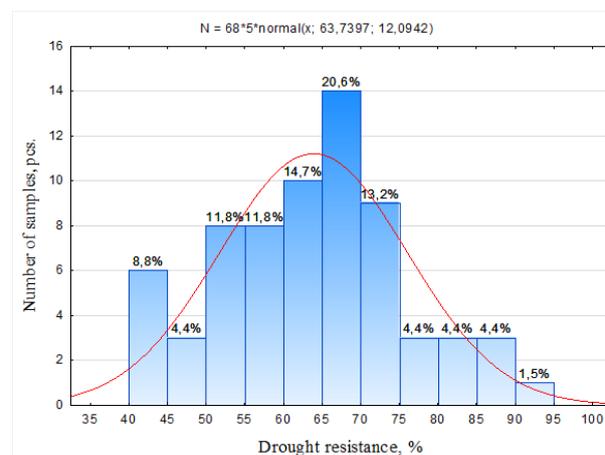


Fig. 1. Distribution of rice samples by the ratio of yield in the experiment to the control, %

Таблица 1
Урожайность риса при засушливых и нормальных условиях, г. Пролетарск, Ростовская область, 2020–2021 гг.

| № п/п | № образца | Название сорта, образца | Урожайность, т/га | | |
|-------|-----------|-------------------------------------|-------------------|--------------|--------------------|
| | | | Опыт (О) | Контроль (К) | Соотношение О/К, % |
| 1 | | Акустик | 4,42 | 7,76 | 56,9 |
| 2 | | Аргмак | 6,10 | 8,73 | 69,8 |
| 3 | | Боярин | 4,50 | 6,47 | 69,6 |
| 4 | | Вирасан | 4,41 | 6,28 | 70,3 |
| 5 | | Контакт | 4,50 | 6,62 | 68,0 |
| 6 | | Пируэт | 4,57 | 9,45 | 48,3 |
| 7 | | Южанин | 3,82 | 7,07 | 54,0 |
| 8 | 8062 | Суходол | 4,89 | 7,52 | 65,0 |
| 9 | 8208 | Сталинградский | 4,87 | 6,75 | 72,1 |
| 10 | 8154 | Волгоградский | 4,15 | 6,23 | 66,6 |
| 11 | 552 | Ан-Юн-Хо (Китай) | 4,40 | 4,91 | 89,6 |
| 12 | 548 | Дин-Сян (Китай) | 4,37 | 5,47 | 79,9 |
| 13 | 546 | Золотые всходы | 4,27 | 4,97 | 85,9 |
| 14 | 547 | Контро (Китай) | 4,36 | 5,54 | 78,8 |
| 15 | 553 | Маловодотребовательный (Узбекистан) | 4,15 | 4,53 | 91,6 |
| 16 | 550 | Хун-Мо (Китай) | 3,43 | 5,09 | 67,3 |
| 17 | 551 | Чан-Чунь-Ман (Китай) | 4,89 | 5,45 | 89,7 |
| 18 | 7978 | (Ламро × Вираз) × Боярин | 3,32 | 5,14 | 64,7 |
| 19 | 7981 | (Суходол × Боярин) × Боярин | 4,49 | 7,02 | 64,0 |
| 20 | 7926 | (Чан-Чунь-Ман × Боярин) × Кубояр | 4,52 | 7,05 | 64,1 |
| 21 | 7927 | (Чан-Чунь-Ман × Боярин) × Кубояр | 4,79 | 7,21 | 66,3 |
| 22 | 7928 | (Чан-Чунь-Ман × Боярин) × Кубояр | 3,96 | 7,45 | 53,2 |
| 23 | 8032 | Волгоградский × Магнат | 3,22 | 7,37 | 43,6 |
| 24 | 7949 | Дин Сян × Боярин | 4,30 | 6,92 | 62,1 |
| 25 | 7950 | Дин Сян × Кубояр | 4,00 | 5,93 | 67,4 |
| 26 | 7851 | ЗУЛК 1 (засуха, д. 1) | 3,53 | 5,63 | 62,6 |
| 27 | 7852 | ЗУЛК 2 (засуха, д. 2) | 4,42 | 5,51 | 80,1 |
| 28 | 7853 | ЗУЛК 3 (засуха, д. 3) | 4,64 | 6,92 | 67,0 |
| 29 | 7854 | ЗУЛК 4 (засуха) | 2,82 | 6,77 | 41,6 |
| 30 | 7857 | ЗУЛК 5 (засуха) | 3,83 | 5,44 | 70,4 |
| 31 | 7858 | ЗУЛК 6 (засуха, тип Боярин) | 4,40 | 5,25 | 83,8 |
| 32 | 6551 | ЗУЛК 7 (засуха, Краснодар) | 3,52 | 6,92 | 50,9 |
| 33 | 7774 | ЗУЛК 8 (засуха, Краснодар) | 4,90 | 7,34 | 66,7 |
| 34 | 7776 | ЗУЛК 9 (засуха, Краснодар) | 4,30 | 6,51 | 66,0 |

| | | | | | |
|----|------|-----------------------------------|------|------|------|
| 35 | 7856 | ЗУЛК 10 (засуха, Краснодар) | 4,44 | 6,17 | 71,9 |
| 36 | 7971 | ЗУЛК 11 (засуха, Краснодар) | 3,42 | 7,13 | 47,9 |
| 37 | 7826 | ЗУЛК 12 (остистый) | 3,91 | 8,71 | 44,9 |
| 38 | 7775 | ЗУЛК 13 (засуха, черное зерно) | 2,95 | 6,76 | 43,6 |
| 39 | 7855 | ЗУЛК 14 (засуха, черное зерно) | 3,25 | 5,90 | 55,1 |
| 40 | 8224 | ЗУЛК 15 (засуха, черное зерно) | 3,90 | 5,31 | 73,4 |
| 41 | 7953 | Командор × Ан-Юн-Хо | 4,18 | 7,82 | 53,5 |
| 42 | 7954 | Командор × Золотые всходы | 4,05 | 6,09 | 66,5 |
| 43 | 7952 | Командор × Маловодотребовательный | 4,85 | 6,90 | 70,3 |
| 44 | 7955 | Командор × Хун-Мо | 4,38 | 6,22 | 70,4 |
| 45 | 7968 | Командор × Чан-Чунь-Ман | 4,17 | 5,93 | 70,3 |
| 46 | 7969 | Командор × Чан-Чунь-Ман | 4,22 | 6,54 | 64,5 |
| 47 | 7970 | Командор × Чан-Чунь-Ман | 5,24 | 7,14 | 73,4 |
| 48 | 7958 | Контро × Боярин | 4,05 | 7,04 | 57,6 |
| 49 | 8646 | Контро × Кубояр | 4,53 | 8,91 | 50,8 |
| 50 | 7844 | Раздольный × Суходольный | 3,56 | 6,39 | 55,7 |
| 51 | 6284 | Скомс белый × Кубань 3 | 3,51 | 6,10 | 57,6 |
| 52 | 7791 | Скомс белый × Кубань 3 | 2,65 | 6,35 | 41,7 |
| 53 | 7793 | Скомс белый × Кубань 3 | 3,31 | 6,40 | 51,8 |
| 54 | 7967 | Скомс белый × Кубань 3 | 4,44 | 6,44 | 68,9 |
| 55 | 6465 | Суходол × Боярин | 3,15 | 7,03 | 44,8 |
| 56 | 7970 | Суходольный 554 × Кубояр | 4,15 | 7,05 | 58,9 |
| 57 | 7972 | Чан-Чунь-Ман × Боярин | 3,73 | 8,10 | 46,0 |
| 58 | 7973 | Чан-Чунь-Ман × Боярин | 4,36 | 7,42 | 58,8 |
| 59 | 7974 | Чан-Чунь-Ман × Боярин | 4,20 | 8,17 | 51,4 |
| 60 | 7975 | Чан-Чунь-Ман × Боярин | 4,35 | 7,04 | 61,8 |
| 61 | 7976 | Чан-Чунь-Ман × Боярин | 4,72 | 7,54 | 62,6 |
| 62 | 5703 | Чан-Чунь-Ман × Боярин | 3,90 | 7,71 | 50,6 |
| 63 | 7972 | Чан-Чунь-Ман × Кубояр | 4,16 | 7,47 | 55,7 |
| 64 | 6472 | Чан-Чунь-Ман × Раздольный | 4,60 | 7,30 | 63,0 |
| 65 | 7977 | Чан-Чунь-Ман × Раздольный | 4,72 | 7,06 | 66,9 |
| 66 | 7979 | Чан-Чунь-Ман × Раздольный | 5,57 | 6,91 | 80,5 |
| 67 | 7965 | Чан-Чунь-Ман × Южанин | 4,33 | 6,43 | 67,4 |
| 68 | 7966 | Чан-Чунь-Ман × Южанин | 4,82 | 6,18 | 77,9 |
| | | Средние | 4,19 | 6,69 | 62,6 |
| | | НСР ₀₅ | 0,62 | 1,00 | |

Table 1
Rice yield in drought and under normal conditions, Proletarsk, Rostov region, 2020–2021

| No. | Number of sample | Name of variety, sample | Yield, t/ha | | |
|-----|------------------|--------------------------------------|-------------|-------------|--------------|
| | | | Test (T) | Control (C) | Ratio T/C, % |
| 1 | | Akustik | 4.42 | 7.76 | 56.9 |
| 2 | | Argamak | 6.10 | 8.73 | 69.8 |
| 3 | | Boyarin | 4.50 | 6.47 | 69.6 |
| 4 | | Virasan | 4.41 | 6.28 | 70.3 |
| 5 | | Kontakt | 4.50 | 6.62 | 68.0 |
| 6 | | Piruet | 4.57 | 9.45 | 48.3 |
| 7 | | Yuzhanin | 3.82 | 7.07 | 54.0 |
| 8 | 8062 | Sukhodol | 4.89 | 7.52 | 65.0 |
| 9 | 8208 | Stalingradskiy | 4.87 | 6.75 | 72.1 |
| 10 | 8154 | Volgogradskiy | 4.15 | 6.23 | 66.6 |
| 11 | 552 | An-Yun-Kho (China) | 4.40 | 4.91 | 89.6 |
| 12 | 548 | Din-Syan (China) | 4.37 | 5.47 | 79.9 |
| 13 | 546 | Zolotye vskhody | 4.27 | 4.97 | 85.9 |
| 14 | 547 | Kontro (China) | 4.36 | 5.54 | 78.8 |
| 15 | 553 | Malovodotrebvatel'nyy (Uzbekistan) | 4.15 | 4.53 | 91.6 |
| 16 | 550 | Khun-Mo (China) | 3.43 | 5.09 | 67.3 |
| 17 | 551 | Chan-Chun'-Man (China) | 4.89 | 5.45 | 89.7 |
| 18 | 7978 | (Lampo × Virazh) × Boyarin | 3.32 | 5.14 | 64.7 |
| 19 | 7981 | (Sukhodol × Boyarin) × Boyarin | 4.49 | 7.02 | 64.0 |
| 20 | 7926 | (Chan-Chun'-Man × Boyarin) × Kuboyar | 4.52 | 7.05 | 64.1 |
| 21 | 7927 | (Chan-Chun'-Man × Boyarin) × Kuboyar | 4.79 | 7.21 | 66.3 |
| 22 | 7928 | (Chan-Chun'-Man × Boyarin) × Kuboyar | 3.96 | 7.45 | 53.2 |

| | | | | | |
|----|------|--|------|------|------|
| 23 | 8032 | <i>Volgogradskiy × Magnat</i> | 3.22 | 7.37 | 43.6 |
| 24 | 7949 | <i>Din Syan × Boyarin</i> | 4.30 | 6.92 | 62.1 |
| 25 | 7950 | <i>Din Syan × Kuboyar</i> | 4.00 | 5.93 | 67.4 |
| 26 | 7851 | <i>ZULK 1 (drought, 1)</i> | 3.53 | 5.63 | 62.6 |
| 27 | 7852 | <i>ZULK 2 (drought, 2)</i> | 4.42 | 5.51 | 80.1 |
| 28 | 7853 | <i>ZULK 3 (drought, 3)</i> | 4.64 | 6.92 | 67.0 |
| 29 | 7854 | <i>ZULK 4 (drought)</i> | 2.82 | 6.77 | 41.6 |
| 30 | 7857 | <i>ZULK 5 (drought)</i> | 3.83 | 5.44 | 70.4 |
| 31 | 7858 | <i>ZULK 6 (drought, type Boyarin)</i> | 4.40 | 5.25 | 83.8 |
| 32 | 6551 | <i>ZULK 7 (drought, Krasnodar)</i> | 3.52 | 6.92 | 50.9 |
| 33 | 7774 | <i>ZULK 8 (drought, Krasnodar)</i> | 4.90 | 7.34 | 66.7 |
| 34 | 7776 | <i>ZULK 9 (drought, Krasnodar)</i> | 4.30 | 6.51 | 66.0 |
| 35 | 7856 | <i>ZULK 10 (drought, Krasnodar)</i> | 4.44 | 6.17 | 71.9 |
| 36 | 7971 | <i>ZULK 11 (drought, Krasnodar)</i> | 3.42 | 7.13 | 47.9 |
| 37 | 7826 | <i>ZULK 12 (barbate)</i> | 3.91 | 8.71 | 44.9 |
| 38 | 7775 | <i>ZULK 13 (drought, black grain)</i> | 2.95 | 6.76 | 43.6 |
| 39 | 7855 | <i>ZULK 14 (drought, black grain)</i> | 3.25 | 5.90 | 55.1 |
| 40 | 8224 | <i>ZULK 15 (drought, black grain)</i> | 3.90 | 5.31 | 73.4 |
| 41 | 7953 | <i>Komandor × An-Yun-Kho</i> | 4.18 | 7.82 | 53.5 |
| 42 | 7954 | <i>Komandor × Zolotye vskhody</i> | 4.05 | 6.09 | 66.5 |
| 43 | 7952 | <i>Komandor × Malovodotrebovatel'nyy</i> | 4.85 | 6.90 | 70.3 |
| 44 | 7955 | <i>Komandor × Khun-Mo</i> | 4.38 | 6.22 | 70.4 |
| 45 | 7968 | <i>Komandor × Chan-Chun'-Man</i> | 4.17 | 5.93 | 70.3 |
| 46 | 7969 | <i>Komandor × Chan-Chun'-Man</i> | 4.22 | 6.54 | 64.5 |
| 47 | 7970 | <i>Komandor × Chan-Chun'-Man</i> | 5.24 | 7.14 | 73.4 |
| 48 | 7958 | <i>Kontro × Boyarin</i> | 4.05 | 7.04 | 57.6 |
| 49 | 8646 | <i>Kontro × Kuboyar</i> | 4.53 | 8.91 | 50.8 |
| 50 | 7844 | <i>Razdol'nyy × Sukhodol'nyy</i> | 3.56 | 6.39 | 55.7 |
| 51 | 6284 | <i>Skoms belyy × Kuban' 3</i> | 3.51 | 6.10 | 57.6 |
| 52 | 7791 | <i>Skoms belyy × Kuban' 3</i> | 2.65 | 6.35 | 41.7 |
| 53 | 7793 | <i>Skoms belyy × Kuban' 3</i> | 3.31 | 6.40 | 51.8 |
| 54 | 7967 | <i>Skoms belyy × Kuban' 3</i> | 4.44 | 6.44 | 68.9 |
| 55 | 6465 | <i>Sukhodol × Boyarin</i> | 3.15 | 7.03 | 44.8 |
| 56 | 7970 | <i>Sukhodol'nyy 554 × Kuboyar</i> | 4.15 | 7.05 | 58.9 |
| 57 | 7972 | <i>Chan-Chun'-Man × Boyarin</i> | 3.73 | 8.10 | 46.0 |
| 58 | 7973 | <i>Chan-Chun'-Man × Boyarin</i> | 4.36 | 7.42 | 58.8 |
| 59 | 7974 | <i>Chan-Chun'-Man × Boyarin</i> | 4.20 | 8.17 | 51.4 |
| 60 | 7975 | <i>Chan-Chun'-Man × Boyarin</i> | 4.35 | 7.04 | 61.8 |
| 61 | 7976 | <i>Chan-Chun'-Man × Boyarin</i> | 4.72 | 7.54 | 62.6 |
| 62 | 5703 | <i>Chan-Chun'-Man × Boyarin</i> | 3.90 | 7.71 | 50.6 |
| 63 | 7972 | <i>Chan-Chun'-Man × Kuboyar</i> | 4.16 | 7.47 | 55.7 |
| 64 | 6472 | <i>Chan-Chun'-Man × Razdol'nyy</i> | 4.60 | 7.30 | 63.0 |
| 65 | 7977 | <i>Chan-Chun'-Man × Razdol'nyy</i> | 4.72 | 7.06 | 66.9 |
| 66 | 7979 | <i>Chan-Chun'-Man × Razdol'nyy</i> | 5.57 | 6.91 | 80.5 |
| 67 | 7965 | <i>Chan-Chun'-Man × Yuzhanin</i> | 4.33 | 6.43 | 67.4 |
| 68 | 7966 | <i>Chan-Chun'-Man × Yuzhanin</i> | 4.82 | 6.18 | 77.9 |
| | | <i>Average</i> | 4.19 | 6.69 | 62.6 |
| | | <i>LSD₀₅</i> | 0.62 | 1.00 | |

Из них более высокую урожайность в условиях недостаточного увлажнения сформировал образец 7979 (Чан-Чунь-Ман × Раздольный) – 5,57 т/га, остальные – от 4,15 до 4,82 т/га. Эти образцы скороспелые, что позволяет им рано созреть, используя минимальное количество воды для формирования урожая. При затоплении их урожайность ненамного выше, что и обуславливает их высокий процент засухоустойчивости.

Среди изученного набора были выделены образцы с небольшим соотношением О/К, однако способные давать высокую урожайность в засушливых усло-

виях, что обусловлено их биологическим потенциалом продуктивности. Максимальную урожайность в условиях засухи сформировал новый сорт селекции АНЦ «Донской» Аргмак – 6,10 т/га. Однако на контроле его урожайность была значительно выше (8,73 т/г), поэтому соотношение О/К снизилось до 69,8 %. Этот сорт можно рекомендовать для широкого выращивания не только на рисовых чеках, но и в богарных условиях на периодическом орошении. Неплохую урожайность зерна в опыте показали также селекционные образцы: 7970 (Командор × Чан-Чунь-Ман) – 5,24 т/га, ЗУЛК 8 – 4,90 т/га.

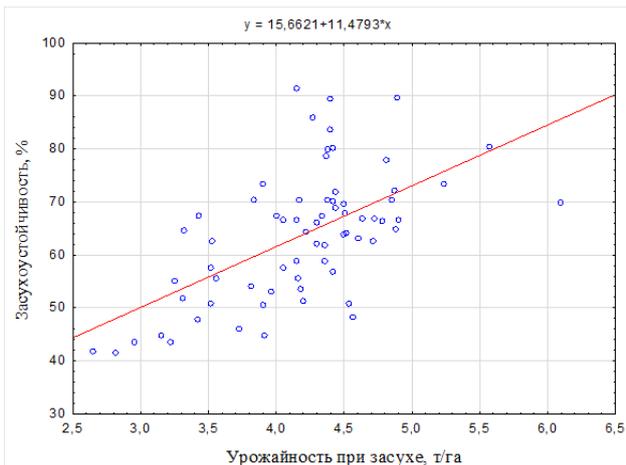


Рис. 2. Регрессионная зависимость засухоустойчивости риса от его урожайности при засухе

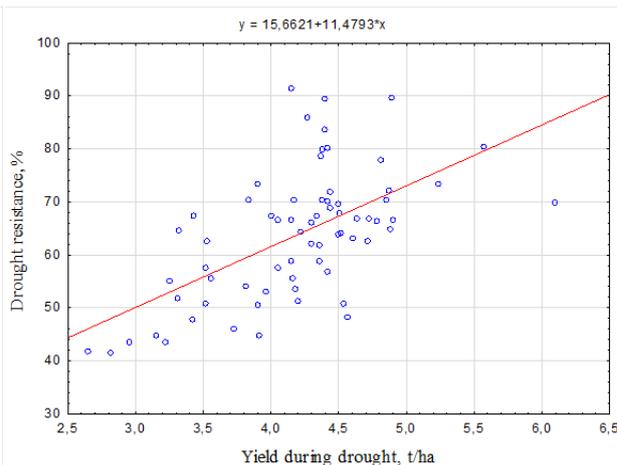


Fig. 2. Regression dependence of rice drought tolerance on its yield during drought

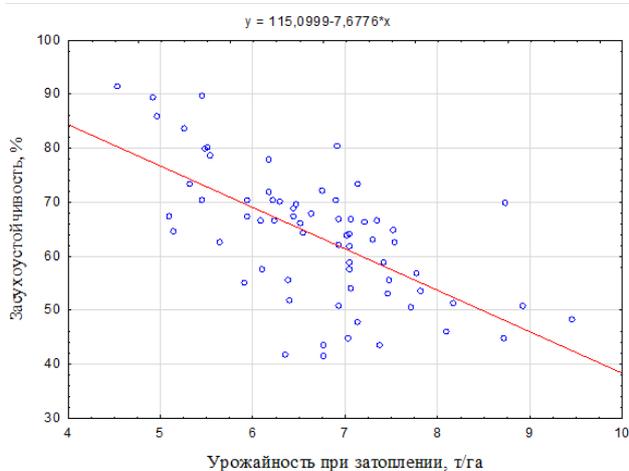


Рис. 3. Регрессионная зависимость засухоустойчивости риса от его урожайности при затоплении

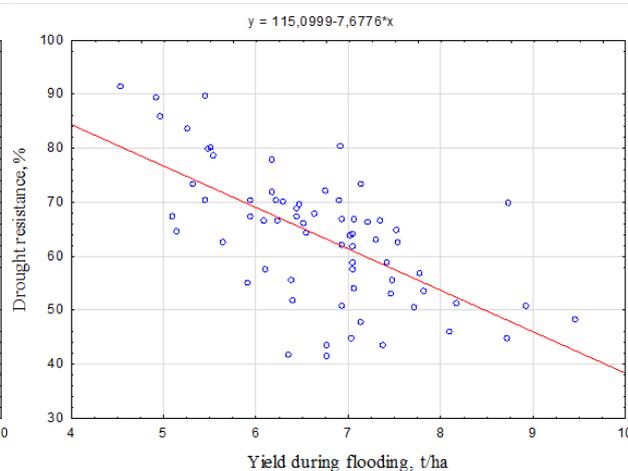


Fig. 3. Regression dependence of rice drought resistance on its yield during flooding

Наибольшую урожайность на контроле показал сорт Пируэт – 9,45 т/га, однако в опыте она была в 2 раза меньше (4,57 т/га), что свидетельствует о его низкой засухоустойчивости (48,3 %).

Минимальная величина О/К оказалась у сортообразцов ЗУЛК 4 (41,6 %) ЗУЛК 13 (43,6 %), и ЗУЛК 12 (44,9 %). Эти краснодарские образцы цвели и созревали значительно позже, что было обусловлено как генотипами, так и влиянием засухи, тормозящей развитие и повышающей стерильность колосков. Поэтому в суходольных условиях раннеспелые формы предпочтительнее выращивать, чем средне- и позднеспелые.

Корреляция урожайности при засухе с урожайностью при затоплении была слабой положительной ($r = 0,23 \pm 0,01$), с их соотношением О/К была средней положительной ($r = 0,59 \pm 0,01$), а связь урожайности при затоплении с засухоустойчивостью – средней отрицательной ($r = -0,64 \pm 0,01$).

Регрессионная зависимость засухоустойчивости от урожайности риса при засухе показывает положительную динамику $y = 15,7 + 11,5$, при этом относительно высокая урожайность (более 5,5 т/га) может быть как при высоких значениях О/К (80 %), так и при средних (70 %) (рис. 2).

Регрессионная зависимость засухоустойчивости от урожайности риса при затоплении, наоборот, показала отрицательную динамику $y = 115,1 - 7,7$ (рис. 3). Максимальная засухоустойчивость была у низкопродуктивных скороспелых маньчжурских образцов, которые к тому же имели склонность к полеганию.

Минимальную засухоустойчивость показали высокопродуктивный сорт Пируэт, образцы 8646 (Контроль × Кубояр), ЗУЛК 12 и формы со средней продуктивностью ЗУЛК 4, ЗУЛК 13, 8032 (Волгоградский × Магнат). Таким образом, повышение засухоустойчивости может включать отбор растений, у которых быстро проходят все фазы развития, однако это снижает продуктивность.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В процессе исследований было установлено, что механизмы устойчивости к недостаточному увлажнению и формирование урожайности зерна риса могут быть совершенно разными. Поэтому необходимо оптимальное сочетание всех составляющих этого свойства растений риса.

Максимальную урожайность в засушливых условиях сформировали сорта Аргамак – 6,10 т/га, 7970 (Командор × Чан-Чунь-Ман) – 5,24 т/га, ЗУЛК 8 – 4,90 т/га, Суходол – 4,89 т/га, 7979 (Чан-Чунь-Ман ×

Раздольный) – 5,57 т/га, Чан-Чунь-Ман – 4,89 т/га. При этом первые четыре имели высокий потенциал продуктивности и на затоплении, а последние два лишь немного превышали таковой при засухе, что выразилось в повышенной засухоустойчивости по показателю соотношения О/К.

Коллекционные образцы, такие как Маловодотребовательный (Узбекистан), Ан-Юн-Хо (Китай), с высоким показателем О/К (89,7–91,6 %), несмотря на высокую устойчивость к дефициту влаги, могут быть использованы в селекционном процессе лишь в

качестве источников или доноров при создании более продуктивных стрессоустойчивых сортов риса.

В результате проведенных исследований из комплекта 68 сортов и образцов выделены формы, толерантные к недостатку влаги, которые можно культивировать в богарных хозяйствах с использованием различных систем периодического орошения. Затраты поливной воды будут при этом на порядок ниже, чем в чеках при затоплении с обеспечением проточности воды в течение вегетационного периода.

Библиографический список

- Mittler R., Blumwald E. Genetic engineering for modern agriculture: challenges and perspectives // *Annual Review of Plant Biology*. 2010. No. 61. Pp. 443–462. DOI: 10.1146/annurev-arplant-042809-112116.
- Panda D., Sakambari S., Prafulla M., Behera K. Drought Tolerance in Rice: Focus on Recent Mechanisms and Approaches // *Rice Science*. 2021. Vol. 28. Iss. 2. Pp. 119–132. DOI: 10.1016/j.rsci.2021.01.002.
- Barik S. R., Pandit E., Pradhan S. K., Mohanty S. P., Mohapatara T. Genetic mapping of morpho-physiological traits involved during reproductive stage drought tolerance in rice // *PLoS One*. 2019. No. 14 (12). Article number e0214979. DOI: 10.1371/journal.pone.0214979.
- Luo L. J. Breeding for water-saving and drought resistance rice (WDR) in China // *Journal of Experimental Botany*. 2010. No. 61(13). Pp. 3509–3517. DOI: 10.1093/jxb/erq185.
- Hao Z. C., Singh V. P., Xia Y. L. Seasonal drought prediction: Advances, challenges, and future prospects // *Reviews of Geophysics*. 2018. No. 56 (1). Pp. 108–141. DOI: 10.1002/2016RG000549.
- 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. No. 20 (14). Article number 3519. DOI: 10.3390/ijms20143519.
- Bin Rahman A. N. M. R., Zhang J. H. Flood and drought tolerance in rice: Opposite but may coexist // *Food Energy Security*. 2016. No. 5 (2). Pp. 76–88. DOI: 10.1002/fes3.79.
- You J., Xiong L. Genetic Improvement of Drought Resistance in Rice // In: Jaiwal P. K. et al. (eds.) *Genetic Manipulation in Plants for Mitigation of Climate Change*. Springer, India, 2015. Pp. 73–76. DOI: 10.1007/978-81-322-2662-8_1.
- Upadhyaya H., Panda S. K. Drought stress responses and its management in rice // In: Hasanuzzaman M., Fujita M., Nahar K., Biswas J. K. *Advances in Rice Research for Abiotic Stress Tolerance*. UK: Elsevier, 2019. Pp. 177–200. DOI: 10.1016/B978-0-12-814332-2.00009-5.
- Gupta A., Rico-Medina A., Caño-Delgado A. I. The physiology of plant responses to drought // *Science*. 2020. No. 368. Pp. 266–269. DOI: 10.1126/science.aaz7614.
- Sahebi M., Hanafi M. M., Rafii M. Y., Mahmud T. M. M., Azizi P., Osman M., Miah G. Improvement of drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.): Genetics, genomic tools, and the WRKY gene family // *BioMed Research International*. 2018. Article number 3158474. DOI: 10.1155/2018/3158474.
- Fahad S., Bajwa A. A., Nazir U., et al. Crop production under drought and heat stress: Plant responses and management options // *Frontiers in Plant Science*. 2017. No. 8. Article number 1147. DOI: 10.3389/fpls.2017.01147.
- Melandri G., Abdelgawad H., Riewe D., Hageman J. A., Asard H., Beemster G. T. S., Kadam N., Jagadish K., Altmann T., Ruyter-Spira C., Bouwmeester H. Biomarkers for grain yield stability in rice under drought stress // *Journal of Experimental Botany*. 2020. No. 71 (2). Pp. 669–683. DOI: 10.1093/jxb/erz221.
- Efendi B., Sabaruddin Z., Lukman H. Mutation with gamma rays irradiation to assemble green super rice tolerant to drought stress and high yield rice (*Oryza sativa* L.) // *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*. 2017. No. 5. Pp. 1–5.
- Singh R., Singh Y., Xalaxo S., et al. From QTL to variety-harnessing the benefits of QTLs for drought, flood and salt tolerance in mega rice varieties of India through a multi-institutional network // *Plant Science*. 2016. No. 242. Pp. 278–287. DOI: 10.1016/j.plantsci.2015.08.008.
- Singh S., Kumar A., Panda D., Modi M. K., Sen P. Identification and characterization of drought responsive miRNAs from a drought tolerant rice genotype of Assam // *Plant genetics*. 2020. No. 21. Article number 100213. DOI: 10.1016/j.plgene.2019.100213.
- Костылев П. И., Краснова Е. В., Аксенов А. В. Селекционная работа по маловодотребовательному рису в АНЦ «Донской» // *Зерновое хозяйство России*. 2020. № 1 (67). С. 54–58. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-54-58.
- Костылев П. И., Краснова Е. В., Аксенов А. В. Оценка засухоустойчивости образцов риса по изменению урожайности при нехватке влаги // *Аграрная наука*. 2020. Т. 343. № 11-12. С. 56–59. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-343-11-56-59.

Об авторах:

Павел Иванович Костылев¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства риса, ORCID 0000-0002-4371-6848, AuthorID 162616; +7 918 561-11-53, p-kostylev@mail.ru

Александр Владимирович Аксенов¹, агроном лаборатории селекции и семеноводства риса, ORCID 0000-0002-6641-878X, AuthorID 1070975; aleksandraksenov774@gmail.com

Елена Викторовна Краснова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства риса, ORCID 0000-0002-3392-4774, AuthorID 162618; krasnovaelena67@mail.ru

¹ Аграрный научный центр «Донской», Зерноград, Россия

Study of rice resistance to water deficiency

P. I. Kostylev[✉], A. V. Aksenov¹, E. V. Krasnova¹

¹ Agrarian Research Center “Donskoy”, Zernograd, Russia

✉E-mail: p-kostylev@mail.ru

Abstract. Of the various abiotic stresses, the most important limitation of rice production in many countries is drought or water scarcity. **The aim** of the study is to study collection, hybrid and breeding varieties and samples of rice for tolerance to prolonged soil and air drought, to select drought-resistant forms for breeding new varieties. **Methods.** The objects of research – 68 varieties and samples of dry land rice were cultivated in irrigated and flooded areas (Proletarsk, Rostov region) in three repetitions. Plot area – 10 m², seeding rate – 500 seeds/m². Irrigation was carried out by the release of water from the irrigation canal after sowing on May 10 with a layer of 10 cm and during the growth period with complete drying of the soil surface. The degree of drought resistance was determined by the ratio of the value of the trait in the test to that in the control (T/C). **Scientific novelty.** The different degrees of drought resistance of rice samples were determined by the ratio of grain productivity under conditions of water deficit and sufficient water supply, new regularities were revealed. **Results.** It was found that varieties and samples during drought and flooding formed different grain yields, which, with a moisture deficit, averaged 63.7 % of the norm. The correlation between the yield during drought and the yield upon flooding was weak positive ($r = 0.23 \pm 0.01$), with their T/C ratio – average positive ($r = 0.59 \pm 0.01$), and the relationship between the yield upon flooding and drought resistance – medium negative ($r = -0.64 \pm 0.01$). 10 cultivars and samples with a degree of drought tolerance of more than 75 % were identified, such as An-Yun-Ho, Chan-Chun'-Man, Zoloty vskhody, Malovodorebovatelnyy, ZULK 2, ZULK 6, in which the ratio of yield under dry and normal conditions ranged from 77, 9 to 91.6 %. The maximum yield in drought conditions was formed by a new selection variety of the ARC “Donskoy” Argamak – 6.10 t/ha and selection samples: 7970 (Komandor × Chan-Chun'-Man) – 5.24 t/ha, ZULK 8 – 4.90 t/ha.

Keywords: rice, variety, sample, source, dry land, drought resistance, periodic irrigation, yield.

For citation: Kostylev P. I., Aksenov A. V., Krasnova E. V. Izuchenie ustoychivosti risa k vodnomu defitsitu [Study of rice resistance to water deficiency] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 01 (216). Pp. 12–20. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-216-01-12-20.

Date of paper submission: 13.10.2021, **date of review:** 26.10.2021, **date of acceptance:** 12.11.2021.

References

- Mittler R., Blumwald E. Genetic engineering for modern agriculture: challenges and perspectives // Annual Review of Plant Biology. 2010. No. 61. Pp. 443–462. DOI: 10.1146/annurev-arplant-042809-112116.
- Panda D., Sakambari S., Prafulla M., Behera K. Drought Tolerance in Rice: Focus on Recent Mechanisms and Approaches // Rice Science. 2021. Vol. 28. Iss. 2. Pp. 119–132. DOI: 10.1016/j.rsci.2021.01.002.
- Barik S. R., Pandit E., Pradhan S. K., Mohanty S. P., Mohapatara T. Genetic mapping of morpho-physiological traits involved during reproductive stage drought tolerance in rice // PLoS One. 2019. No. 14 (12). Article number e0214979. DOI: 10.1371/journal.pone.0214979.
- Luo L. J. Breeding for water-saving and drought resistance rice (WDR) in China // Journal of Experimental Botany. 2010. No. 61(13). Pp. 3509–3517. DOI: 10.1093/jxb/erq185.
- Hao Z. C., Singh V. P., Xia Y. L. Seasonal drought prediction: Advances, challenges, and future prospects // Reviews of Geophysics. 2018. No. 56 (1). Pp. 108–141. DOI: 10.1002/2016RG000549.
- 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. No. 20 (14). Article number 3519. DOI: 10.3390/ijms20143519.

7. Bin Rahman A. N. M. R., Zhang J. H. Flood and drought tolerance in rice: Opposite but may coexist // *Food Energy Security*. 2016. No. 5 (2). Pp. 76–88. DOI: 10.1002/fes3.79.
8. You J., Xiong L. Genetic Improvement of Drought Resistance in Rice // In: Jaiwal P. K. et al. (eds.) *Genetic Manipulation in Plants for Mitigation of Climate Change*. Springer, India, 2015. Pp. 73–76. DOI: 10.1007/978-81-322-2662-8_1.
9. Upadhyaya H., Panda S. K. Drought stress responses and its management in rice // In: Hasanuzzaman M., Fujita M., Nahar K., Biswas J. K. *Advances in Rice Research for Abiotic Stress Tolerance*. UK: Elsevier, 2019. Pp. 177–200. DOI: 10.1016/B978-0-12-814332-2.00009-5.
10. Gupta A., Rico-Medina A., Caño-Delgado A. I. The physiology of plant responses to drought // *Science*. 2020. No. 368. Pp. 266–269. DOI: 10.1126/science.aaz7614.
11. Sahebi M., Hanafi M. M., Rafii M. Y., Mahmud T. M. M., Azizi P., Osman M., Miah G. Improvement of drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.): Genetics, genomic tools, and the WRKY gene family // *BioMed Research International*. 2018. Article number 3158474. DOI: 10.1155/2018/3158474.
12. Fahad S., Bajwa A. A., Nazir U., et al. Crop production under drought and heat stress: Plant responses and management options // *Frontiers in Plant Science*. 2017. No. 8. Article number 1147. DOI: 10.3389/fpls.2017.01147.
13. Melandri G., Abdelgawad H., Riewe D., Hageman J. A., Asard H., Beemster G. T. S., Kadam N., Jagadish K., Altmann T., Ruyter-Spira C., Bouwmeester H. Biomarkers for grain yield stability in rice under drought stress // *Journal of Experimental Botany*. 2020. No. 71 (2). Pp. 669–683. DOI: 10.1093/jxb/erz221.
14. Efendi B., Sabaruddin Z., Lukman H. Mutation with gamma rays irradiation to assemble green super rice tolerant to drought stress and high yield rice (*Oryza sativa* L.) // *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*. 2017. No. 5. Pp. 1–5.
15. Singh R., Singh Y., Xalaxo S., et al. From QTL to variety-harnessing the benefits of QTLs for drought, flood and salt tolerance in mega rice varieties of India through a multi-institutional network // *Plant Science*. 2016. No. 242. Pp. 278–287. DOI: 10.1016/j.plantsci.2015.08.008.
16. Singh S., Kumar A., Panda D., Modi M. K., Sen P. Identification and characterization of drought responsive miRNAs from a drought tolerant rice genotype of Assam // *Plant genetics*. 2020. No. 21. Article number 100213. DOI: 10.1016/j.plgene.2019.100213.
17. Kostylev P. I., Krasnova E. V., Aksenov A. V. Selektionnaya rabota po malovodotrebvatel'nomu risu v ANTs "Donskoy" [Breeding work on low-water-demanding rice in the ARC "Donskoy"] // *Grain Economy of Russia*. 2020. No. 1 (67). Pp. 54–58. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-54-58.
18. Kostylev P. I., Krasnova E. V., Aksenov A. V. Otsenka zasukhoustoychivosti obraztsov risa po izmeneniyu urozhaynosti pri nekhvatke vlagi [Assessment of drought tolerance of rice samples by changes in yield with a lack of moisture] // *Agrarian science*. 2020. Vol. 343. No. 11-12. Pp. 56–59. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-343-11-56-59.

Authors' information:

Pavel I. Kostylev¹, doctor of agricultural sciences, professor, chief researcher of the laboratory of rice breeding and seed production, ORCID 0000-0002-4371-6848, AuthorID 162616; +7 918 561-11-53, p-kostylev@mail.ru

Aleksandr V. Aksenov¹, agronomist of the laboratory of rice breeding and seed production, ORCID 0000-0002-6641-878X, AuthorID 1070975; aleksandraksenov774@gmail.com

Elena V. Krasnova¹, candidate of agricultural sciences, leading researcher of laboratory of rice breeding and seed production, ORCID 0000-0002-3392-4774, AuthorID 162618; krasnovaelena67@mail.ru

¹ Agrarian Research Center "Donskoy", Zernograd, Russia