

---

## CROP PRODUCTION

---

DOI: <https://doi.org/10.23649/jae.2021.4.20.2>

Kibalnik O.P.<sup>1\*</sup>, Larina T.V.<sup>2</sup>, Kameneva O.B.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Russian Research and Design-Technological Institute of Sorghum and Corn, Saratov, Russia

\* Corresponding author (kibalnik79[at]yandex.ru)

Received: 14.10.2021; Accepted: 21.10.2021; Published: 15.12.2021

### FEATURES OF WATER LOSS BY LEAVES OF CYTOPLASMIC MALE STERILITY LINES OF GRAIN SORGHUM IN ARID REGIONS OF RUSSIA

Research article

#### Abstract

This article presents the results of studying the drought resistance of CMS sorghum lines used as a starting material in the breeding of F1 hybrids. One of the indicators of drought resistance is the determination of the parameters of the water regime of the leaves. The current article examines the indicators of hydration of leaf tissues, their loss of moisture during wilting at the following time intervals: 1.0; 1.5 and 24 hours. Plants of sterile lines were grown from 2019 to 2020 at the experimental grounds of Russian Research and Design-Technological Institute of Sorghum and Corn "Rossorgo". The analysis identifies drought-resistant CMS lines characterized by high total water content (70.32-75.62%) and the least loss of water by leaves 24 hours after wilting (45.25-69.57%). Indicators of stress resistance of plants varied depending on the genotypic features of CMS lines and weather conditions.

**Keywords:** sorghum, largest leaf, water retention capacity, water loss, total hydration of tissues.

Кибальник О.П.<sup>1\*</sup>, Ларина Т.В.<sup>2</sup>, Каменева О.Б.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы, Саратов, Россия

\* Корреспондирующий автора (kibalnik79[at]yandex.ru)

Получена: 14.10.2021; Доработана: 21.10.2021; Опубликована: 15.12.2021

### ОСОБЕННОСТИ ПОТЕРИ ВОДЫ ЛИСТЬЯМИ ЦМС-ЛИНИЙ ЗЕРНОВОГО СОРГО В ЗАСУШЛИВЫХ РЕГИОНАХ РОССИИ

Научная статья

#### Аннотация

В данной статье представлены результаты изучения засухоустойчивости ЦМС-линий сорго, используемые в качестве исходного материала в селекции гибридов F1. Одним из показателей засухоустойчивости является определение параметров водного режима листьев. В наших исследованиях рассмотрены показатели оводненности тканей листьев, потери ими влаги при завядании через следующие промежутки времени: 1,0; 1,5 и 24 часа. Растения стерильных линий выращивали в 2019-2020 гг. на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «Россорго». В результате проведенного анализа выявлены засухоустойчивые ЦМС-линии, характеризующиеся высокой общей оводненностью (70,32-75,62%) и наименьшей потерей воды листьями через 24 ч после их завядания (45,25-69,57%). Показатели стрессоустойчивости растений варьировали в зависимости от генотипических особенностей ЦМС-линий и погодных условий.

**Ключевые слова:** сорго, наибольший лист, водоудерживающая способность, потеря воды, общая оводненность тканей.

#### 1. Введение

С начала 21 века во многих регионах мира глобальное потепление климата сопровождается значительными изменениями климатических условий: например, учащившиеся засухи, длительный период высоких температур воздуха в течение вегетации сельскохозяйственных растений, деградация земель и др. [1, С. 1]. Особенную актуальность эти явления приобретают в регионах с неустойчивым увлажнением, к которым относится и Саратовская область, что существенно отражается на продуктивности выращиваемых полевых культур [2, С. 8]. Такие климатические изменения требуют пересмотра ассортимента возделываемых полевых культур и включения наиболее жаростойких и засухоустойчивых, например сорго. Однако, несмотря на широкое распространение сорго в

засушливых районах Африки, Индии, Америки, Китая и других стран важно повышать адаптивную способность вновь создаваемых генотипов.

Выведение стрессоустойчивых образцов зависит от наличия генетических ресурсов и надежных методов скрининга [3, С. 380]. Так, засухоустойчивость растений определяется различными методами: проращивание семян в гипертонических растворах с высоким осмотическим давлением; определение степени повреждения клеточных мембран; изучение показателей водного режима, ксероморфности и т.д. Согласно литературным данным в период засухи у растений происходят изменения физиологических показателей [4, С. 209]. В частности – водный режим листьев, способствующий повышению водоудерживающей способности. При этом проявляется дифференцированная реакция генотипов на нехватку влаги [5, С. 4; 6, С. 26]. Показатели водного режима листьев растений (оводненность тканей, водоудерживающая способность, водный дефицит, содержание подвижной влаги) являются критериями их стрессоустойчивости к абиотическим факторам. С другой стороны, в селекцию гибридов F1 вовлекают наиболее засухоустойчивый исходный материал, в том числе и ЦМС-линии на основе генетически различных типов стерильных цитоплазм [7, С. 651]. В этой связи изучение особенностей водного режима листьев ЦМС-линий зернового сорго в период цветения является актуальным.

## 2. Материалы и методы

В качестве объектов исследований использовали 20 стерильных линий зернового сорго с разными типами ЦМС (A1, A2, A3, A4, A5, A6, 9E, M35-1A) ежегодно высеваемых на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» во 2-3 декадах мая в 2019-2020 гг. в трехкратной повторности. Площадь делянки – 7,7 м<sup>2</sup>. Густоту стояния растений (100 тыс. шт./га) устанавливали вручную. Оценка показателей водного режима листьев проводили согласно Диагностике устойчивости растений к стрессовым воздействиям [8, С. 49] (1988). Наибольший лист брали у 4-5 растений каждой линии в фазу «цветения». Повторность двукратная.

Потерю воды (ПВ) листьями в процентах определяли через 0,5; 1,0; 1,5 и 24 часа путем взвешивания листьев в лаборатории на электронных весах, затем проводился расчет показателя по формуле:

$$ПВ = (B/A) \times 100\%,$$

где А – содержание воды в листьях до начала опыта (г); В – потеря воды за определенный промежуток времени (г).

Для определения оводненности тканей (ОТ) листья высушивали в термостате при температуре 105<sup>o</sup>С до постоянной массы. Количество воды в процентах от сырой массы навески определяли по формуле:

$$ОТ = ((a-b)/a) \times 100\%,$$

где а – масса сырой навески (г); б – масса сухой навески (г).

Метеоусловия за 2019-2020 сезоны исследования были различными. За период вегетации сорго гидротермический коэффициент (ГТК) составил 0,50 в 2019 гг. и 0,72 в 2020 гг., что соответствует острозасушливым и засушливым условиям выращивания растений, соответственно. Сумма активных температур изменялась в пределах 2514-2608<sup>o</sup>С, а количество осадков – 131,5-181,9 мм.

Статистическая обработка результатов эксперимента выполнена дисперсионным однофакторным анализом с помощью программы «Агрес 2.09».

## 3. Результаты

Изучаемые стерильные линии различались по селекционно-ценным признакам. Так более высокими оказались А1 Ефремовское 2 и А2 Судзерн. Их высота при созревании растений составила 104,3-129,2 см. Среди коллекции ЦМС-линии выделены формы с наибольшей фотосинтезирующей поверхностью – А2 Восторг и А1 Ефремовское 2, у которых площадь листа существенно не изменялась за период исследований и составила 161,5-163,8 см<sup>2</sup> и 164,5-178,1 см<sup>2</sup>, соответственно (таблица 1). Выделены стерильные линии, способные формировать высокую продуктивность биомассы в засушливых условиях – А2 КВВ 181 (20,11-21,20 т/га) и А3 Фетерита 14 (18,55-25,78 т/га).

Таблица 1 – Характеристика селекционных признаков ЦМС-линий сорго

| ЦМС-линии        | Высота растений, см |         | Площадь наибольшего листа, см <sup>2</sup> |         | Урожайность биомассы, т/га |         |
|------------------|---------------------|---------|--|---------|----------------------------|---------|
|                  | 2019 г.             | 2020 г. | 2019 г.                                    | 2020 г. | 2019 г.                    | 2020 г. |
| А1 О-Янг 1       | 89,0                | 107,7   | 142,8                                      | 128,0   | 8,16                       | 5,64    |
| А1 Ефремовское 2 | 104,3               | 124,0   | 164,5                                      | 178,1   | 10,50                      | 11,54   |
| А2 Тамара        | 74,5                | 75,3    | 92,1                                       | 105,5   | 11,24                      | 13,21   |
| А2 КВВ 181       | 98,1                | 110,8   | 91,0                                       | 127,2   | 21,20                      | 20,11   |
| А2 Восторг       | 99,5                | 105,0   | 161,5                                      | 163,8   | 10,02                      | 8,92    |
| А2 Судзерн       | 129,2               | 118,7   | 93,7                                       | 93,6    | 16,44                      | 18,04   |
| А2 Кремное       | 119,7               | 118,3   | 110,0                                      | 131,2   | 9,01                       | 14,80   |
| А2 КВВ 114       | 75,1                | 91,6    | 109,8                                      | 146,8   | 12,60                      | 12,34   |
| 9Е Пищевое 614   | 89,6                | 87,9    | 165,3                                      | 103,7   | 10,17                      | 4,57    |

Окончание таблицы 1 – Характеристика селекционных признаков ЦМС-линий сорго

|                    |        |        |        |       |        |        |
|--------------------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| М35-1А Пищевое 614 | 91,6   | –      | 165,6  | –     | 9,37   | –      |
| А3 Фетерита 14     | 102,2  | 111,0  | 149,4  | 171,8 | 25,78  | 18,55  |
| А4 КП 70           | 101,3  | –      | 123,1  | –     | 4,86   | –      |
| А1 Карлик 4в       | 76,0   | 73,3   | 122,3  | 162,3 | 6,70   | 12,34  |
| А2 Карлик 4в       | 75,4   | 72,3   | 153,0  | 152,7 | 7,63   | 16,62  |
| А3 Карлик 4в       | 72,7   | 75,2   | 139,5  | 133,8 | 6,37   | 15,85  |
| А5 Карлик 4в       | 73,4   | 69,0   | 103,4  | 147,5 | 7,19   | 12,97  |
| А6 Карлик 4в       | 73,7   | –      | 128,4  | –     | 6,91   | –      |
| А3 Желтозерное 10  | 79,5   | 95,5   | 141,6  | 126,2 | 7,09   | 5,61   |
| А4 Желтозерное 10  | 91,5   | 82,2   | 144,0  | 115,0 | 7,55   | 5,02   |
| 9Е Желтозерное 10  | 80,6   | 108,7  | 139,1  | 145,1 | 5,80   | 4,00   |
| Гфакт.             | 73,43* | 34,18* | 11,53* | 3,66* | 25,13* | 48,58* |
| НСР05              | 5,54   | 9,17   | 20,77  | 36,12 | 3,28   | 2,63   |

Примечание: \*  $p \leq 0,05$ .

Для изучения особенностей водного режима рассматривали потерю влаги листьями в процессе завядания. У большинства ЦМС-линий вес сырых листьев оказался практически одинаковым и варьировал в интервале: 2019 г. – 0,94-2,49 г; 2020 г. – 1,31-2,69 г. Стерильная линия А1 Ефремовское 2 отличалась не только наибольшей площадью листа, но и его массой: сырой – 4,14-4,50 г, сухой – 1,23-1,42 г. У ЦМС-линии А3 Фетерита 14 мощные листья сформированы в 2020 г. – 4,69 г, по сравнению с 2019 г. – 1,80 г. Аналогичное снижение веса выявлено и у абсолютно сухих листьев (таблица 2). Следует отметить, что у линий А2 КВВ 114 и 9Е Пищевое 614 масса сырых листьев практически не изменялась в зависимости от условий выращивания и составила 2,32-2,49 г и 2,34-2,45 г, соответственно. При высушивании листьев до абсолютно сухого состояния у ЦМС-линии А2 КВВ 114 вес листьев оказался 0,64-0,68 г.

Таблица 2 – Изменчивость массы наибольшего листа ЦМС-линий сорго в процессе завядания

| ЦМС-линии          | Масса сырых листьев, г |         | Масса абсолютно сухих листьев, г |         |
|--------------------|------------------------|---------|----------------------------------|---------|
|                    | 2019 г.                | 2020 г. | 2019 г.                          | 2020 г. |
| А1 О-Янг 1         | 1,37                   | 2,00    | 0,39                             | 0,62    |
| А1 Ефремовское 2   | 4,14                   | 4,50    | 1,23                             | 1,42    |
| А2 Тамара          | 1,44                   | 1,65    | 0,37                             | 0,52    |
| А2 КВВ 181         | 1,35                   | 2,45    | 0,36                             | 0,71    |
| А2 Восторг         | 1,18                   | 2,57    | 0,33                             | 1,26    |
| А2 Судзери         | 1,27                   | 2,45    | 0,43                             | 0,76    |
| А2 Кремовое        | 0,94                   | 2,66    | 0,28                             | 0,76    |
| А2 КВВ 114         | 2,49                   | 2,32    | 0,64                             | 0,68    |
| 9Е Пищевое 614     | 2,45                   | 2,34    | 0,43                             | 0,78    |
| М35-1А Пищевое 614 | 1,21                   | –       | 0,36                             | –       |
| А3 Фетерита 14     | 1,80                   | 4,69    | 0,48                             | 1,19    |
| А4 КП 70           | 1,17                   | –       | 0,33                             | –       |
| А1 Карлик 4в       | 1,19                   | 2,69    | 0,34                             | 0,65    |
| А2 Карлик 4в       | 1,38                   | 2,23    | 0,39                             | 0,60    |
| А3 Карлик 4в       | 1,15                   | 2,55    | 0,31                             | 0,68    |
| А5 Карлик 4в       | 1,31                   | 2,08    | 0,34                             | 0,55    |
| А6 Карлик 4в       | 1,20                   | –       | 0,35                             | –       |
| А3 Желтозерное 10  | 1,26                   | 1,33    | 0,38                             | 0,44    |
| А4 Желтозерное 10  | 1,21                   | 1,31    | 0,42                             | 0,49    |
| 9Е Желтозерное 10  | 1,03                   | 1,68    | 0,31                             | 0,61    |
| Гфакт.             | 6,42*                  | 26,57*  | 19,49*                           | 15,05*  |
| НСР05              | 0,83                   | 0,48    | 0,13                             | 0,20    |

Примечание: \*  $p \leq 0,05$ .

Известно, что более засухоустойчивые растения теряют в процессе завядания воды меньше. Изучение потери воды листьями ЦМС-линий сорго в динамике показало, что наибольшее испарение наблюдается в первые 1,0-1,5 часа, а затем интенсивность водоотдачи снижается: через 1 час завядания листья стерильных линий теряют 9,10-31,09% воды; 1,5 ч – 12,28-45,15%; 24 ч – 45,25-86,95% (рисунок 1).

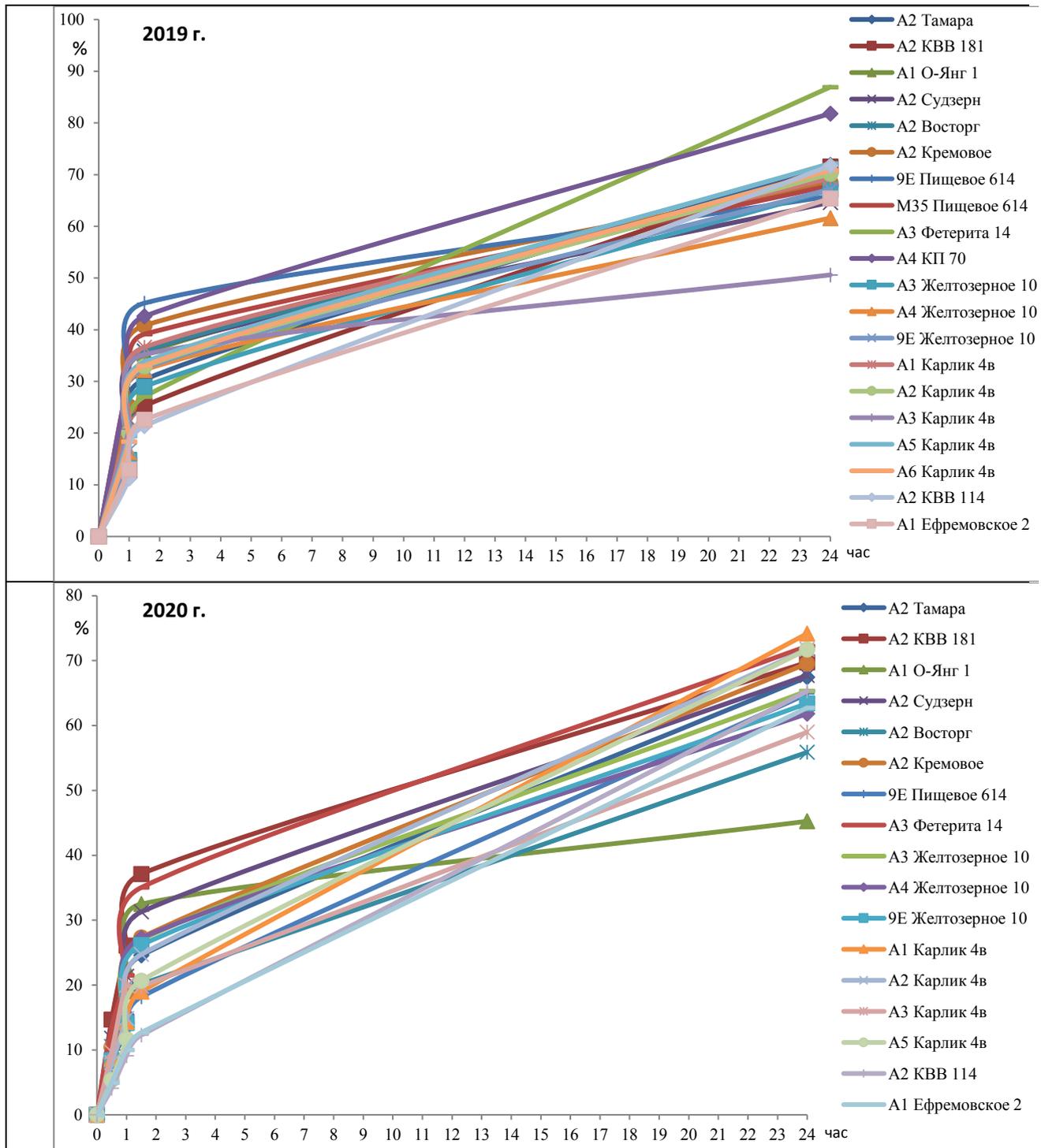


Рис. 1 – Динамика потери влаги листьями ЦМС-линий в процессе увядания, 2019-2020 гг.

Очевидно, что потеря влаги зависела как от генотипа линии, так и от сложившихся метеорологических условий в период цветения растений. В целом за период исследований наименьшей потерей влаги характеризовались следующие ЦМС-линии: через 1 ч увядания листьев – А2 КВВ 114 (9,10-11,23%), А1 Ефремовское 2 (9,99-12,95%), А2 Тамара (13,53-15,36%), А3 Желтозерное 10 (14,18-14,84%); 1,5 часа – А1 Ефремовское 2 (12,69-22,58%), А2 КВВ 114 (12,28-21,37%) и А3 Желтозерное 10 (26,99-28,99%); 24 ч – А3 Карлик 4в (50,61-58,98%), А1 О-Янг 1 (45,25-69,42%), А2 Восторг (55,88-69,04%), А4 Желтозерное 10 (61,62-61,83%), 9Е Пищевое 614 (65,84-69,57%), А1 Ефремовское 2 (62,74-65,42%).

Определение оводненности тканей листьев позволило выделить засухоустойчивые линии (рисунок 2). К ним относятся формы с высокими показателями данного признака, наблюдающиеся каждый год исследований: А2 КВВ 181 (70,50-73,25%), А3 Фетерита 14 (73,35-74,56%), А2 КВВ 114 (70,32-73,72%), А1 Карлик 4в (71,19-75,62%), А2 Карлик 4в (71,99-73,34%), А3 Карлик 4в (72,53-73,35%), А5 Карлик 4в (73,53-74,00%).

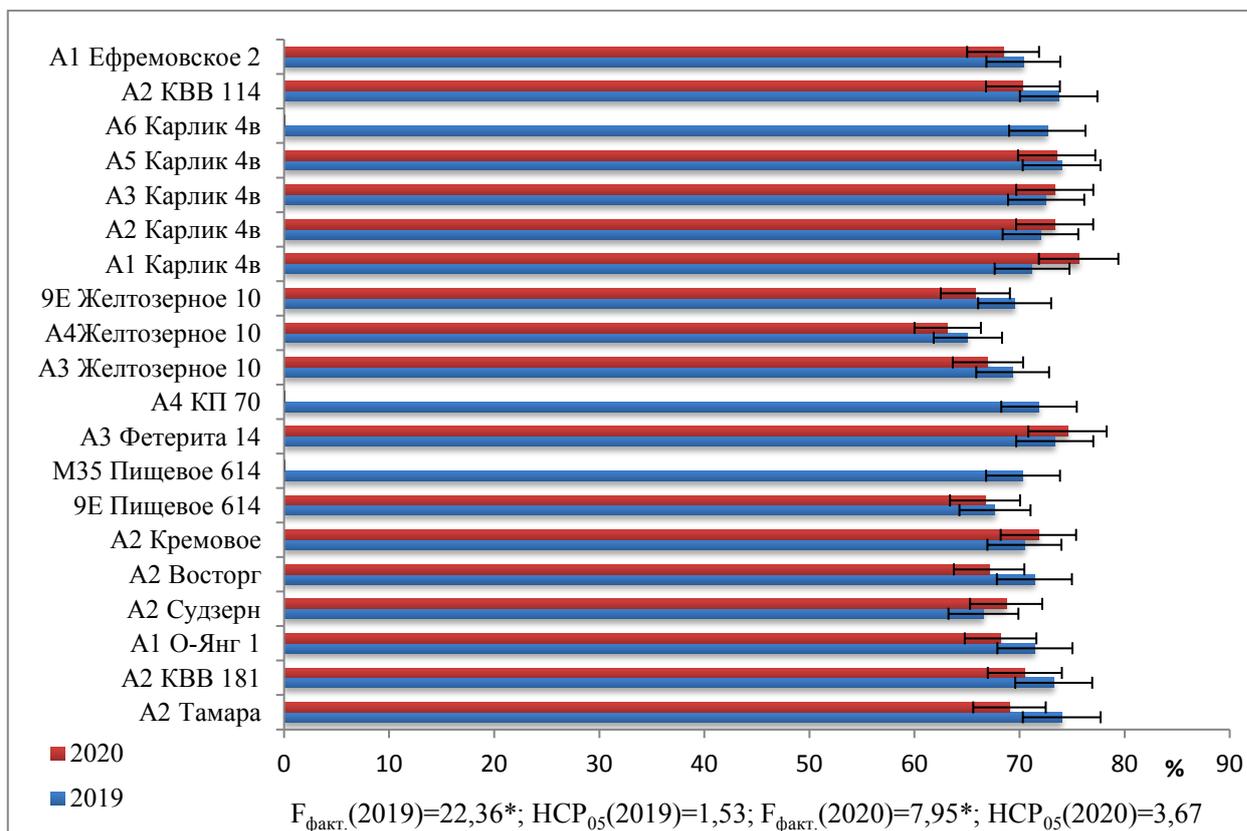


Рис. 2 – Общая оводненность тканей листьев ЦМС-линий, 2019-2020 гг.

Согласно исследованиям 2019 и 2020 гг. показатели общей оводненности различны, что свидетельствует о реакции растений на стрессовые условия в период цветения. Наибольшая оводненность тканей отмечена в 2019 г. Зависимость оводненности тканей листьев сорго от метеорологических условий отмечена и другими исследователями. Причем, генотипы сорго с высокими показателями оводненности оказались более устойчивыми к стрессу [4, С. 205].

#### 4. Заключение

В результате изучения особенностей водного режима листьев ЦМС-линий зернового сорго можно сделать вывод, что в коллекции часть генотипов следует отнести к высоко засухоустойчивым формам. Выявлены стерильные линии (всего 7), характеризующиеся высокой общей оводненностью листьев с изменчивостью показателей признака в пределах 70,32-75,62%. Наибольшей водоудерживающей способностью листьев через 24 ч после их завядания отличались 6 ЦМС-линий: потеря влаги варьировала в интервале 45,25-69,57% в зависимости от метеорологических условий выращивания растений. По комплексу показателей выделена ЦМС-линия А3 Карлик 4в, у которой 72,53-73,35% оводненности тканей и 50,61-58,98% потери воды в листьях после 24 ч завядания. Кроме того, у стерильной линии А2 КВВ 114 также отмечена высокая оводненность тканей листьев (70,32-73,72%) и наименьшая потеря воды в первые 1,0-1,5 ч завядания (9,10-21,37%). Выделенные стерильные линии целесообразно использовать в скрещиваниях с целью получения засухоустойчивых гибридов F1 сорго.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### References

1. Chadalavada K. Sorghum mitigates climate variability and change on crop yield and quality / K. Chadalavada, B.D.R. Kumari, T.S. Kumar // *Planta*.–2021.–V.253.–113.
2. Левицкая Н.Г. Современные изменения климата Саратовской области и стратегия адаптации к ним селекции и агротехнологий / Н.Г. Левицкая, И.И. Демакина // *Успехи современного естествознания*.–2019.–№10.–С.7-12.
3. Abebe T. Selection efficiency of yield based drought tolerance indices to identify superior sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] genotypes under two-contrasting environments / T. Abebe, G. Belay, T. Tadesse, G. Keneni // *African Journal of Agricultural Research*.–2020.–V.15(3).–P.379-392.
4. Azarinasrabad A. Evaluation of Water Stress on Yield, Its Components and Some Physiological Traits at different Growth Stages in Grain Sorghum Genotypes / A. Azarinasrabad, S.M. Mousavinik, M. Galavi, S.A. Beheshti, A. Sirousmehr // *Notulae Scientia biologicae*.–2016.–V.8(2).–P.204-210.
5. Власенко М.В. Водный режим видов семейства Poaceae в условиях засухи / М.В. Власенко, К.Ю. Трубакова // *Аграрный вестник Урала*.–2019.–№11(190).–С.2-8.

6. Ермак Д.Ю. Потенциал засухоустойчивости хлопчатника сорта ПГГССХ 1 в условиях светло-каштановых почв / Д.Ю. Ермак, И.Ю. Подковыров // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2020. – №1-1(35). – С.26-29.

7. Кибальник О.П. Комбинационная способность ЦМС-линий зернового сорго на основе А1, А2, А3, А4, 9Е и М-35-1А типов цитоплазматической мужской стерильности / О.П. Кибальник // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2017. – №21(6). – С.651-656.

8. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: (методические указания) / под ред. Г.В. Удовенко. – Л.: ВИР, 1988. – 227с.

### References in English

1. Chadalavada K. Sorghum mitigates climate variability and change on crop yield and quality / K. Chadalavada, B.D.R. Kumari, T.S. Kumar // *Planta*. – 2021. – V.253. – 113.

2. Levitshkaya N.G. Sovremennye izmeneniya klimata Saratovskoi oblasti i strategiya adaptatsii k nim selektsionnoi agrotehnologii [Modern climate characters of the Saratov region and adaptation strategy of breeding and agrotechnologies to them] / N.G. Levitshkaya, I.I. Demakina // *Uspehi sovremennogo estestvoznaniya*. – 2019. – N10. – P.7-12. [in Russian]

3. Abebe T. Selection efficiency of yield based drought tolerance indices to identify superior sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] genotypes under two-contrasting environments / T. Abebe, G. Belay, T. Tadesse, G. Keneni // *African Journal of Agricultural Research*. – 2020. – V.15(3). – P.379-392.

4. Azarinasrabad A. Evaluation of Water Stress on Yield, Its Components and Some Physiological Traits at different Growth Stages in Grain Sorghum Genotypes / A. Azarinasrabad, S.M. Mousavinik, M. Galavi, S.A. Beheshti, A. Sirousmehr // *Notulae Scientiae biologicae*. – 2016. – V.8(2). – P.204-210.

5. Vlasenko M.V. Vodnyy rezhim vidov semeystva Poaceae v usloviyakh zasukh [Water regime Poaceae family species in the drought conditions] / M.V. Vlasenko, K.Yu. Trubakova // *Agrarnyy vestnik Urala*. – 2019. – N11(190). – P.2-8. [in Russian]

6. Ermak D.Yu. Potentshial zasukhoustoychivosti khlopchatnika sorta PGGSSKH 1 v usloviyakh svetlo-kashtanovykh pochv [The capacity of drought resistance of cotton of PGGSSKH 1 variety under conditions of light chestnut soils] / D.Yu. Ermak, I.Yu. Podkovyrov // *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2020. – N1-1(35). – P.26-29. [in Russian]

7. Kibalnik O.P. Kombinatshionnaya sposobnost' CMS-linij zernovogo sorgo na osnove A1, A2, A3, A4, 9E и M-35-1A tipov tshitoplasmaticheskoy muzhskoy steril'nosti [Combining ability of CMS-lines of grain sorghum based on A1, A2, A3, A4, 9E and M-35-1A types of cytoplasmic male sterility] / O.P. Kibalnik // *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*. – 2017. – N21(6). – P.651-656. [in Russian]

8. Diagnostika ustoychivosti rasteniy k stressovym vozdeystviyam: (metodicheskie ukazaniya) [Diagnostics of plant resistance to stress: (guidelines)] / pod red. G.V. Udoenko. – L.: VIR, 1988. – 227p. [in Russian]