

ПРОВОДЯЩАЯ СИСТЕМА ФЛАГОВОГО ЛИСТА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛЬНОЙ ЗАСУХИ

В. Л. Газе, младший научный сотрудник лаборатории физиологии растений, ORCID ID: 0000-0002-4618-6125;

Н. В. Яновская, агроном лаборатории физиологии растений, ORCID ID: 0000-0001-6198-6270;

И. А. Лобунская, агроном лаборатории физиологии растений, ORCID ID: 0000-0003-1537-8498;

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

Д. М. Марченко, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полунинтенсивного типа, wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

В статье приводятся данные по изучению проводящей системы флаговых листьев растений озимой пшеницы, выращенных в условиях засухи в период 2018–2020 годов. Объектами исследования стали 10 сортов озимой пшеницы, созданные селекционерами ФГБНУ «АНЦ «Донской». Целью этой работы являлось изучение влияния степени развития листовой проводящей системы растений озимой пшеницы в условиях модельной засухи на урожайность и массу 1000 семян. При изучении образцов в условиях модельной засухи получены данные по развитию проводящей системы листьев растений (количество и общая площадь пучков). В результате исследований выявлено, что развиваясь при недостаточной влагообеспеченности, сорта Этюд, Зодиак, Аскет, Жаворонок и Ермак имели максимальные значения по количеству проводящих пучков в листьях и минимальное снижение массы 1000 семян и урожайности в сравнении с оптимальными условиями выращивания. Выделенные образцы имели показатели: Этюд (47 шт., на 9,2 и 27,3%), Зодиак (53 шт., на 10,5 и 30,5%), Аскет (51 шт., на 11,7 и 31,1%), Жаворонок (49 шт., на 12,6 и 27,5%) и Ермак (50 шт., на 12,6% и 30,8%) соответственно, что говорит о засухоустойчивости сортов. Выявлена сильная и средняя положительная связь количества пучков с массой 1000 семян ($r=0,74$) и урожайностью ($r=0,68$). Мощная проводящая система листьев в засушливых условиях отмечена у сортов Юбилей Дона (13,080 мкм²), Подарок Крыму (11,339 мкм²), Этюд (11,003 мкм²), Зодиак (10,907 мкм²), Премьера (10,560 мкм²), которые в достаточном количестве способны обеспечивать пластическими веществами формирующиеся зерновки.

Ключевые слова: сорт, озимая пшеница, проводящая система, лист.

Для цитирования: Газе В. Л., Яновская Н. В., Лобунская И. А., Костылев П. И., Марченко Д. М. Проводящая система флагового листа озимой пшеницы в условиях модельной засухи // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 3. С. 57–63. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-57-63.



CONDUCTING SYSTEM OF THE WINTER WHEAT FLAG LEAF UNDER CONDITIONS OF SIMULATED DROUGHT

V. L. Gaze, junior researcher of the laboratory for plant physiology, ORCID ID: 0000-0002-4618-6125;

N. V. Yanovskaya, agronomist of the laboratory for plant physiology, ORCID ID: 0000-0001-6198-6270;

I. A. Lobunskaya, agronomist of the laboratory for plant physiology, ORCID ID: 0000-0003-1537-8498;

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

D. M. Marchenko, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for breeding and seed production of winter bread wheat of half-intensive type, wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903

Agricultural Research Center "Donskoy",

347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; email: vniizk30@mail.ru

The current paper has presented data on the study of the flag leaf conducting system of winter wheat grown under drought in the period of 2018–2020. The objects of the study were 10 winter wheat varieties, developed by the researchers of the FSBSI «ARC «Donskoy». The purpose of the work was to study the influence of the development degree of the leaf conducting system of winter wheat under conditions of simulated drought on productivity and 1000-grain weight. When studying samples under conditions of simulated drought, there were obtained data on the development of the leaf conducting system (number and total area of vascular bundles). As a result of the study, there was established that when developing under conditions of insufficient moisture supply, the varieties 'Etyud', 'Zodiak', 'Asket', 'Zhavoronok' and 'Erma' had the maximum number of vascular bundles in the leaves and a minimum decrease of the trait '1000-grain weight' and productivity in relation to optimal growing conditions. The identified samples had the following indicators: the variety 'Etyud' (47 pieces, on 9.2 and 27.3%), the variety 'Zodiak' (53 pieces, on 10.5 and 30.5%), the variety 'Asket' (51 pieces, on 11.7 and 31.1%), the variety 'Zhavoronok' (49 pcs., on 12.6% and 27.5%) and the variety 'Yermak' (50 pcs., on 12.6% and 30.8%), respectively, which indicates the drought resistance of the varieties. There has been found a strong and medium positive correlation between the traits 'number of bunches' and '1000-grain weight' ($r=0.74$) with productivity ($r=0.68$). A powerful leaf conducting system in arid conditions was determined in the varieties 'Yubiley Dona' (13.080 μm^2), 'Podarok Krymu' (11.339 μm^2), 'Etyud' (11.003 μm^2), 'Zodiak'

(10.907 μm^2), 'Premiera' (10.560 μm^2), which are able to provide emerging grains with a sufficient quantity of organic substances.

Keywords: variety, winter wheat, conducting system, leaf.

Введение. Одним из важных синтезирующих органов, способствующих ассимиляции и интенсивному росту растений, является лист. Его анатомическое строение (особенно количество и размеры проводящих пучков) влияет на формирование урожая (Гудкова, 2013; Jafarian et al., 2019). В листьях с параллельным жилкованием проводящие пучки могут отличаться по размеру. Часто крупные чередуются с мелкими. Строение проводящей системы листьев растений озимой пшеницы характерно для всех зерновых культур (Анатомия листа; Selim et al., 2019).

Проводящая система листьев снабжает растения водой и распределяет ассимилянты. Ассимилянты – это стабильные органические соединения, которые являются конечными продуктами в процессе фотосинтетической фиксации и восстановления углекислот в растениях. Небольшое количество проводящих пучков и малые размеры их площади задерживают движение и накопление ассимилятов в листьях растений, снижаются функции дыхания, транспирации, фотосинтеза и замедляется рост, поэтому зачастую в условиях засухи снижается урожайность зерновых культур (Каргатова и др., 2020; Sattar A. et al., 2020).

От развития и мощности проводящей системы флагового листа зависит отток ассимилятов из листьев в генеративные органы, что влияет на созревание и формирование зерна (Некрасов и Ионова, 2018; Петрова и др., 2021).

Рост и развитие первого листа пшеницы протекают при слабом развитии корней и идут в основном за счет питательных веществ зерновки. Размер первого листа озимой пшеницы зависит от размера зерна, а количество проводящих пучков определяется его величиной (Степанов и др., 2009). Число проводящих пучков листа некоторые исследователи используют как систематический признак (Ионова и др., 2011).

Целью данной работы являлось изучение влияния степени развития листовой проводящей системы растений озимой пшеницы в условиях модельной засухи на урожайность и массу 1000 семян.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в 2018–2020 гг. в лаборатории физиологии растений ФГБНУ «АНЦ «Донской». Объектами исследования являлись 10 сортов озимой пшеницы Центра, выращенных в искусственно созданных услови-

ях засухи по методике Маймистова В.В. и др. (1988). Изучение проводящей системы листьев осуществляли на флаговых листьях, отобранных в фазу цветения растений, по методике Ионовой Е.В. и др. (2009). С помощью стереомикроскопа Soptor SZX40 определяли толщину листа, количество и диаметр пучков. Массу 1000 зерен определяли по ГОСТу 12042-80.

Результаты и их обсуждение. Было изучено развитие проводящей системы листа озимой пшеницы, выращенной при различных условиях влагообеспечения. Установлены значительные различия, которые выражались в количестве и диаметре проводящих пучков.

В пластинке листа выделяются следующие проводящие пучки: 1) крупный проводящий пучок с склеренхимными тяжами с обеих сторон; 2) средний пучок с клетками флоэмы и ксилемы и одним склеренхимным тяжом; 3) пучок с мало развитой ксилемой; 4) мелкий проводящий пучок с клетками флоэмы или ксилемы (Даштоян и др., 2013) (рис. 1).

Одним из условий жизнедеятельности растений является существование специализированных проводящих тканей – флоэмы и ксилемы. Главная функция флоэмы – это проведение пластических веществ (нисходящий ток), а ксилемы – проведение воды и растворенных в ней веществ (восходящий ток) (Петрова и др., 2021).

Растения озимой пшеницы, выращенные в условиях засухи (опыт), характеризуются количеством проводящих пучков с ксилемой.

Изучение степени развития проводящей системы флагового листа озимой пшеницы, выращенной в условиях модельной засухи, позволило оценить влияние на продуктивность сортов. Площадь проводящего пучка флагового листа в условиях засухи варьировала от 0,127 (Аксинья) до 0,273 мкм^2 (Юбилей Дона), а в оптимальном увлажнении – от 0,199 (Юбилей Дона) до 0,264 мкм^2 (Этюд). Высокие значения площади одного пучка в опыте зафиксированы у сортов Юбилей Дона (0,273 мкм^2), Подарок Крыму (0,258 мкм^2), Зодиак (0,236 мкм^2) и Этюд (0,231 мкм^2), а на контроле выделились сорта Этюд (0,264 мкм^2), Аскет (0,250 мкм^2) и Ермак (0,220 мкм^2) (рис. 2).

В условиях модельной засухи у изученных сортов озимой пшеницы общая площадь проводящих пучков листьев в опыте находилась в пределах от 5,20 (Аксинья) до 13,08 мкм^2 (Юбилей Дона), а в контроле – от 8,56 (Аксинья) до 12,51 мкм^2 (Аскет) (табл. 1).

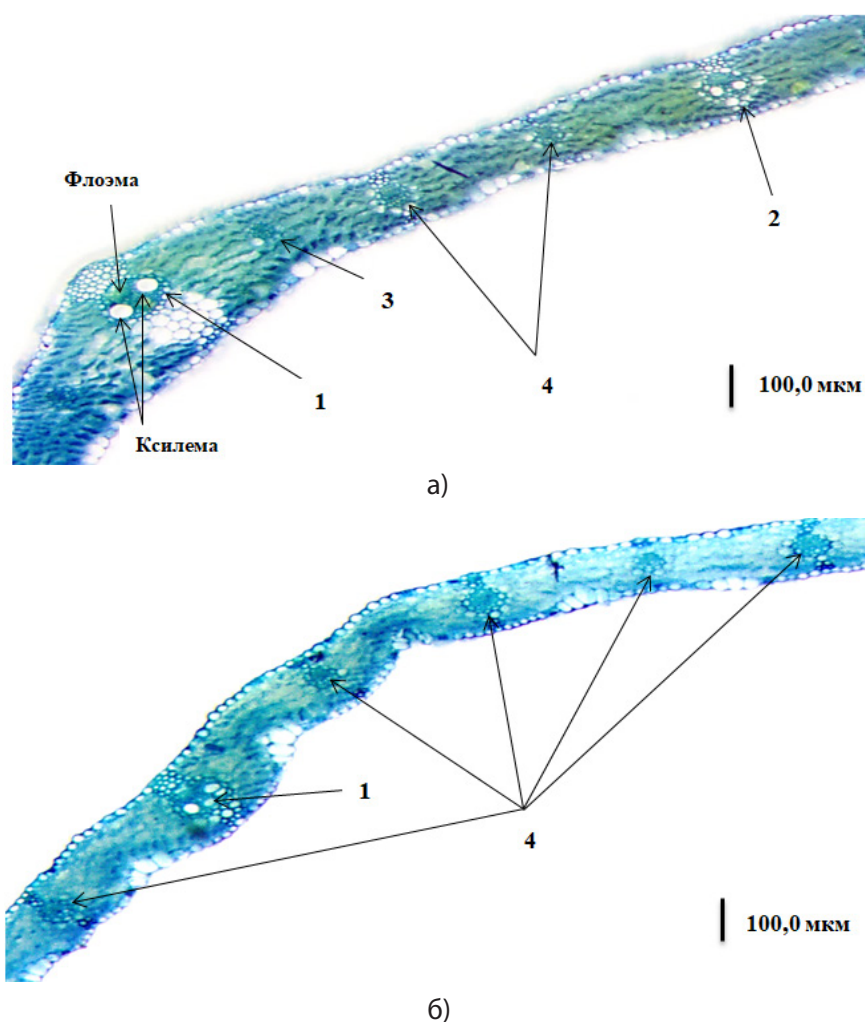


Рис. 1. Поперечный срез флагового листа озимой пшеницы (а – опыт, б – контроль)
Fig. 1. Cross section of a winter wheat flag leaf (a – trial, b – control)

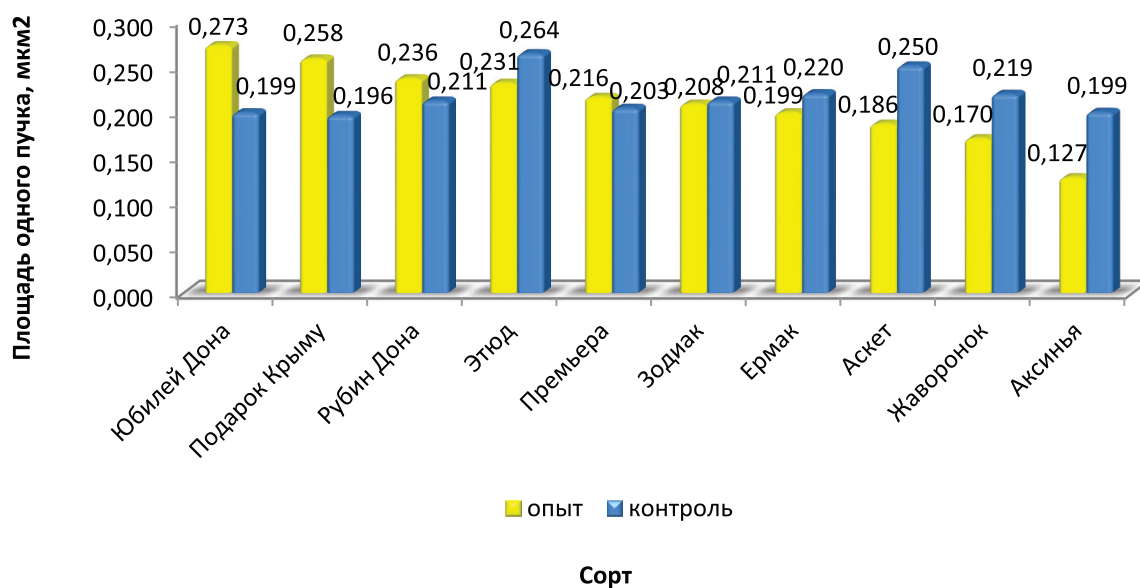


Рис. 2. Площадь одного пучка проводящей системы листа озимой пшеницы в условиях недостаточного увлажнения (2018–2020 гг.)
Fig. 2. The one bundle area of the leaf conducting system of winter wheat under insufficient moisture supply (2018–2020)

Таблица 1. Общая площадь проводящей системы листа озимой пшеницы в условиях различной влагообеспеченности (2018–2020 гг.)
Table 1. The total area of the leaf conducting system of winter wheat under various conditions of moisture supply (2018–2020)

Сорт	Общая площадь ПП, мкм ²		Соотношение площади проводящих пучков в засушливых условиях к оптимальным, %
	Засушливые условия (опыт)	Оптимальные условия (контроль)	
Ермак	9,93	9,88	100,5
Аксинья	5,20	8,56	60,8
Этюд	11,00	11,86	92,8
Премьера	10,56	11,39	92,7
Рубин Дона	9,68	11,20	86,4
Аскет	9,48	12,51	75,8
Подарок Крыму	11,34	9,19	123,4
Жаворонок	8,33	9,85	84,5
Юбилей Дона	13,08	9,93	131,8
Зодиак	10,91	10,57	103,2
НСР ₀₅	0,09	0,03	–

Максимальные значения общей площади проводящей системы листьев в условиях засухи были зафиксированы у следующих сортов: Юбилей Дона (13,08 мкм²), Подарок Крыму (11,34 мкм²), Этюд (11,00 мкм²), Зодиак (10,91 мкм²), Премьера (10,56 мкм²). В оптимальных условиях высокие значения общей площади имели сорта Аскет (12,51 мкм²), Этюд (11,86 мкм²), Премьера (11,39 мкм²) и Рубин Дона (11,20 мкм²).

Высокоустойчивые к засухе сорта Ермак, Зодиак, Подарок Крыму и Юбилей Дона сформировали в этих условиях более мощную проводящую систему листа. Площадь проводящих пучков у этих образцов увеличивается в засушливых условиях на 0,5–31,8% по сравнению с оптимальными условиями роста и развития растений. Минимальное снижение общей площади проводящей системы в опыте

по сравнению с контролем на 7,2–24,2% отмечено у сортов Этюд, Премьера, Рубин Дона, Жаворонок и Аскет. Значительно снизилась площадь проводящей системы листьев, выращенных в идентичных условиях, у сорта Аксинья – на 39,2%.

При выращивании озимой пшеницы в условиях недостатка влаги идет процесс ксерофиллизации растений, которая выражается в увеличении количества проводящих пучков в листе (Ионова и Алабушев, 2009). В условиях недостаточной влагообеспеченности у изученных сортов озимой пшеницы количество проводящих пучков в листьях растений варьировало от 41 (Рубин Дона) до 53 шт. (Зодиак), масса 1000 семян была в пределах от 35,2 (Рубин Дона) до 42,9 г (Зодиак), а урожайность – от 259,0 (Рубин Дона) до 310,5 г/м² (Ермак) (табл. 2).

Таблица 2. Количество проводящих пучков, масса 1000 семян и урожайность озимой пшеницы в условиях засухи (2018–2020 гг.)
Table 2. Number of conductive bundles, 1000-grain weight and productivity of winter wheat under drought (2018–2020)

Сорт	Количество пучков, шт.			Масса 1000 семян, г			Урожайность, г/м ²		
	опыт	контроль	% к контролю	опыт	контроль	% к контролю	опыт	контроль	% к контролю
Ермак	50	45	111,1	39,7	45,4	87,4	310,5	448,5	69,2
Аксинья	41	43	95,3	38,4	45,6	84,2	262,7	474,3	55,4
Этюд	47	45	104,4	41,3	45,5	90,8	283,2	389,4	72,7
Премьера	49	56	87,5	38,8	48,0	80,8	260,4	374,0	69,6
Рубин Дона	41	53	77,4	35,2	43,4	81,1	259,0	446,9	58,0
Аскет	51	50	102,0	36,9	41,8	88,3	282,1	409,2	68,9
Подарок Крыму	44	47	93,6	36,8	42,5	86,6	258,3	403,8	64,0
Жаворонок	49	45	108,9	38,7	44,3	87,4	308,8	426,1	72,5
Юбилей Дона	48	50	96,0	37,5	43,2	86,8	289,3	477,4	60,6
Зодиак	53	50	106,0	42,9	47,8	89,5	294,6	424,0	69,5
НСР ₀₅	1,93	2,01	–	0,22	0,37	–	24,7	32,2	–

В оптимальных условиях выращивания значения показателей количества проводящих пучков находились в пределах от 43 (Аксинья) до 56 шт. (Премьера), масса 1000 семян – от 41,8 (Аскет) до 48,0 г (Премьера) и урожайность – от 374,0 (Премьера) до 477,4 г/м²

(Юбилей Дона). Максимальное количество пучков и наибольшее значение массы 1000 семян в условиях недостаточного увлажнения отмечено у сортов Зодиак (53 шт. и 42,9 г), Аскет (51 шт. и 36,9 г), Ермак (50 шт. и 39,7 г) соответственно. Наименьшее сниже-

ние массы 1000 и урожайности семян в опыте по сравнению с контролем отмечено у сортов Этюд – на 9,2 и 27,3%, Зодиак – на 10,5 и 30,5%, Аскет – на 11,7 и 31,1%, Жаворонок – на 12,6 и 27,5%, Ермак – 12,6% и 30,8% соответственно, что указывает на засухоустойчивость данных сортов.

Корреляционная связь массы 1000 зерен и количества проводящих пучков озимой пшеницы составляет $0,74 \pm 0,24$. Чем больше сосудистых пучков в листе, по которым проходят питательные вещества, тем лучше развивается растение и формируется более крупное зерно (масса 1000 семян) (рис. 3).

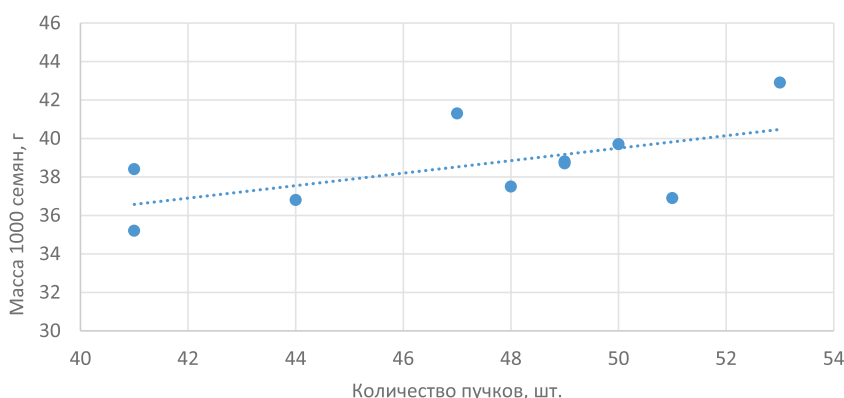


Рис. 3. Зависимость массы 1000 семян от количества проводящих пучков образцов озимой пшеницы (2018–2020 гг.)

Fig. 3. Correlation between the 1000-grain weight and the number of vascular bundles of the winter wheat samples (2018–2020)

Наибольшее количество пучков и высокие значения урожайности семян в условиях засухи были зафиксированы у образцов Зодиак

(53 шт. и $294,6 \text{ г/м}^2$), Аскет (51 шт. и $282,1 \text{ г/м}^2$), Ермак (50 шт. и $310,5 \text{ г/м}^2$) и Жаворонок (49 шт. и $308,8 \text{ г/м}^2$) соответственно (рис. 4).

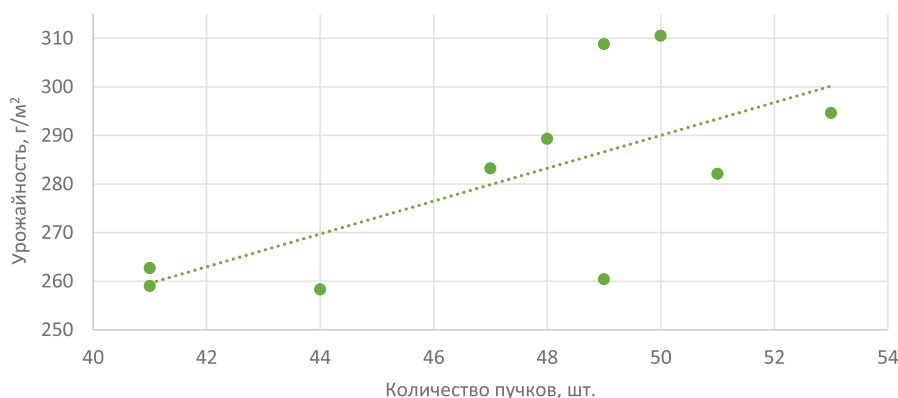


Рис. 4. Зависимость урожайности от количества проводящих пучков образцов озимой пшеницы (2018–2020 гг.)

Fig. 4. Dependence of productivity on a number of vascular bundles of the winter wheat samples (2018–2020)

Количество проводящих пучков имело среднюю положительную корреляцию с урожайностью ($0,68 \pm 0,26$).

Установлено, что листья растений, у которых небольшое количество проводящих пучков и незначительные размеры их площади, имеют низкую урожайность в условиях засухи. У засухоустойчивых сортов анатомическое строение листьев приспособлено не к уменьшению оттока питательных веществ от листа к генеративным органам, а к увеличению ин-

тенсивности этого оттока, за счет мощной развитой проводящей системы.

Выводы. В условиях засухи было отмечено наибольшее количество сформированных пучков и минимальное снижение массы 1000 семян относительно значений при оптимальных условиях выращивания у сортов Этюд (47 шт. и на 9,2%), Зодиак (53 шт. и 10,5%), Аскет (51 шт. и 11,7%), Жаворонок (49 шт. на 12,6%) и Ермак (50 шт. и 12,6%). В аналогичных условиях у образцов Этюд (47 шт. и $283,2 \text{ г/м}^2$), Зодиак

(53 шт. и 294,6 г/м²), Аскет (51 шт. и 282,1 г/м²), Ермак (50 шт. и 310,5 г/м²) и Жаворонок (49 шт. и 308,8 г/м²) выявлено наибольшее количество пучков и высокое значение урожайности семян. В результате исследования установили сильную и среднюю положительную связь количества пучков с массой 1000 семян ($r = 0,74$) и урожайностью ($r = 0,68$).

Сорта Юбилей Дона (13,080 мкм²), Подарок Крыму (11,339 мкм²), Этюд (11,003 мкм²), Зодиак (10,907 мкм²), Премьера (10,560 мкм²), сформировавшие более мощную проводящую систему листьев в условиях водного стресса, способны в достаточном количестве обеспечить пластическими веществами генеративные органы. Эти сорта являются наиболее устойчивыми к абиотическому стрессу – засухе.

Библиографические ссылки

1. Анатомия листа [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://bstudy.net/906373/estestvoznaniye/anatomiya_lista. Дата обращения: 21.04.2022.
2. Гудкова Г.Н. Изучение листьев хлебных злаков применительно к проблемам селекции // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. № 2(119). 2013. С. 41–45.
3. Даштоян Ю.В., Степанов С.А., Касаткин М.Ю. Структура мезофилла пластинки листьев пшеницы // Бюллетень ботанического сада Саратовского государственного университета. 2013. № 11. С. 209–219.
4. Ионова Е.В., Самофалова Н.Е., Гричаникова Т.А., Газе В.Л. Лист пшеницы и величина его проводящей системы в условиях засухи // Зерновое хозяйство России. 2011. № 5(17). С. 16–18.
5. Ионова Е.В., Алабушев А.В. Проводящая система транспорта воды и ассимилятов растений сорго зернового // Зерновое хозяйство России. 2009. № 2(2). С. 12–15.
6. Ионова Е.В. Методика оценки уровня развития проводящей системы колосонесущего междоузлия озимой пшеницы при различной водообеспеченности // Зерновое хозяйство России. 2009. № 4(4). С. 18–21.
7. Каргатова А.М., Степанов С.А., Шесслер Н.В. Сортовые особенности толщины пластинки нижних листьев озимой ржи // Вопросы биологии, экологии, химии и методики обучения: Сборник научных статей, Саратов. 2020. С. 15–19.
8. Маймистов В.В., Осипов Ю.Ф., Чумаковский Н.Н., Евтушенко Ю.В. Ускоренная оценка засухоустойчивости селекционного материала // Селекция и семеноводство. 1988. № 3. С. 23–25.
9. Некрасов Е.И., Ионова Е.В. Результаты изучения изменения массы 1000 зерен сортов озимой мягкой пшеницы в условиях провокационного фона «засушник» // Зерновое хозяйство России. 2018. № 3(57). С. 57–59. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-57-3-57-59.
10. Петрова Г.В., Гусев Н.Ф., Немерешина О.Н., Филиппова А.В., Срокун С.В. Анатомическое строение флагового листа пшеницы сорта Пионерская 32 // The scientific heritage. 2021; 68:13–18.
11. Степанов С.А., Щеглова Е.К., Хакалова Д.А. Анатомия пластинки листьев мягкой яровой пшеницы // Бюллетень ботанического сада Саратовского государственного университета. 2009. № 8. С. 286–293.
12. Jafarian T., Zarea J., Siosemardeh A. Flag leaf anatomical characteristics and the spike pretreatment changes with hydrogen peroxide and its relationship with grain yield in dry land conditions // Plant Process and Function. 2019.
13. Sattar A., Sher A., Ijaz M., Ul-Allah S., Rizwan M. S., Hussain M., Jabran K., Cheema A.M. Terminal drought and heat stress alter physiological and biochemical attributes in flag leaf of bread wheat // Plos one. 2020; 15(5): e0232974. DOI: 10.1371/journal.pone.0232974.
14. Selim D.A. F. H., Nassar R. M. A., Boghdady M. S., Bonfill M. Physiological and anatomical studies of two wheat cultivars irrigated with magnetic water under drought stress conditions // Plant physiology and biochemistry. 2019; 135:480–488. DOI: 10.1016/j.plaphy.2018.11.012.

References

1. Anatomiya lista [Leaf anatomy] [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: https://bstudy.net/906373/estestvoznaniye/anatomiya_lista. Data obrashcheniya: 21.04.2022.
2. Gudkova G. N. Izuchenie list'ev khlebnnykh zlakov primenitel'no k problemam selektsii [The study of grain crop leaves in relation to breeding problems] // Vestnik Adygeiskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 4: Estestvenno-matematicheskie i tekhnicheskie nauki. № 2(119). 2013. S. 41–45.
3. Dashtoyan Yu. V., Stepanov S. A., Kasatkin M. Yu. Struktura mezofilla plastinki list'ev pshenitsy [The structure of the mesophyll of the wheat leaf blade] // Byulleten' botanicheskogo sada Saratovskogo gosudarstvennogo universiteta. 2013. № 11. S. 209–219.
4. Ionova E. V., Samofalova N. E., Grichanikova T. A., Gaze V. L. List pshenitsy i velichina ego provodyashchei sistemy v usloviyakh zasukhi [Wheat leaf and the size of its conducting system under drought] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2011. № 5(17). S. 16–18.
5. Ionova E. V., Alabushev A. V. Provodyashchaya sistema transporta vody i assimilyatov rastenii sorgo zernovogo [Conductive system of transportation of water and assimilates of grain sorghum] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2009. № 2(2). S. 12–15.
6. Ionova E. V. Metodika otsenki urovnya razvitiya provodyashchei sistemy kolosonesushchego mezhdouzliya ozimoi pshenitsy pri razlichnoi vodoobespechennosti [Method for estimating a development degree of the conducting system of the head-bearing internode of winter wheat under various conditions of moisture supply] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2009. № 4(4). S. 18–21.
7. Kargatova A. M., Stepanov S. A., Shessler N. V. Sortovye osobennosti tolshchiny plastinki nizhnikh list'ev ozimoi rzi [Varietal characteristics of the thickness of the blade of the winter rye lower leaves] // Voprosy biologii, ekologii, khimii i metodiki obucheniya: Sbornik nauchnykh statei, Saratov. 2020. S. 15–19.

8. Maimistov V.V., Osipov Yu. F., Chumakovskii N.N., Evtushenko Yu.V. Uskorennaya otsenka zasukhoustoichivosti selektsionnogo materiala [Accelerated assessment of drought resistance of breeding material] // Seleksiya i semenovodstvo. 1988. № 3. S. 23–25.
9. Nekrasov E.I., Ionova E. V. Rezul'taty izucheniya izmeneniya massy 1000 zeren sortov ozimoi myagkoi pshenitsy v usloviyakh provokatsionnogo fona «zasushnik» [The study results of the change of '1000-grain weight' of winter bread wheat varieties under conditions of simulated drought] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2018. № 3(57). S. 57–59. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-57-3-57-59.
10. Petrova G.V., Gusev N.F., Nemereshina O.N., Filippova A.V., Srokun S.V. Anatomicheskoe stroenie flagovogo lista pshenitsy sorta Pionerskaya 32 [Anatomical structure of the flag leaf of wheat variety 'Pionerskaya 32'] // The scientific heritage. 2021; 68:13–18.
11. Stepanov S.A., Shcheglova E.K., Khakalova D.A. Anatomiya plastinki list'ev myagkoi yarovoi pshenitsy [Anatomy of the leaf blade of spring bread wheat] // Byulleten' botanicheskogo sada Saratovskogo gosudarstvennogo universiteta. 2009. № 8. S. 286–293.
12. Jafarian T., Zarea J., Siosemardeh A. Flag leaf anatomical characteristics and the spike pretreatment changes with hydrogen peroxide and its relationship with grain yield in dry land conditions // Plant Process and Function. 2019.
13. Sattar A., Sher A., Ijaz M., Ul-Allah S., Rizwan M. S., Hussain M., Jabran K., Cheema A.M. Terminal drought and heat stress alter physiological and biochemical attributes in flag leaf of bread wheat // Plos one. 2020; 15(5): e0232974. DOI: 10.1371/journal.pone.0232974.
14. Selim D.A. F. H., Nassar R. M. A., Boghdady M. S., Bonfill M. Physiological and anatomical studies of two wheat cultivars irrigated with magnetic water under drought stress conditions // Plant physiology and biochemistry. 2019; 135:480–488. DOI: 10.1016/j.plaphy.2018.11.012.

Поступила: 26.05.22; доработана после рецензирования: 9.06.22; принята к публикации: 9.06.22.

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. Газе В.Л. – концептуализация исследования; Яновская Н.В. – проведение лабораторных опытов; Лобунская И.А. – сбор данных и подготовка рукописи; Костылев П.И., Марченко Д.М. – анализ данных и их интерпретация.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.