

Влияние сроков сева и сортовых особенностей озимой ржи на фотосинтетические показатели растений

Мира Леонидовна Пономарева, Сергей Николаевич Пономарев, Гульназ Сулеймановна Маннапова, Лилия Фирдавиевна Гильмуллина, Любовь Валентиновна Илалова, Назлыгуль Шамсутдиновна Гараева, Эльза Равилевна Гайнутдинова

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань, Россия, smponomarev@yandex.ru

Аннотация. Исследована концентрация пигментов и хлорофилловый потенциал в тканях различных органов у трех сортов озимой ржи в процессе онтогенеза растений. Новые сорта озимой ржи Радонь, Подарок и Зилант высевали в 3 срока с интервалом в 10 дней, начиная с 25 августа. Отбор проб для анализов растений по показателям фотосинтетической деятельности осуществляли вначале цветения и молочного состояния зерна в 2018–2019 гг. Выявлены различия между сортами, как по содержанию хлорофилла в ассимилирующих органах, так и по его суммарному накоплению в разные периоды вегетации. Показано, что на содержание хлорофилла существенное влияние оказывают сроки посева, обуславливающие темпы и степень осеннего и весеннего развития растений озимой ржи. Наибольшее содержание зеленых пигментов выявлено при позднем сроке посева в листьях, листовых влагалищах и колосе. В стеблях отмечено практически равное количество хлорофилла при 1 и 2 сроке и небольшое снижение при третьем сроке. Максимальное содержание хлорофилла накапливалось в листовых пластинках в период цветения (0,88–1,83 мг/г) и молочного состояния зерна (1,04–1,93 мг/г) сортов озимой ржи. Наибольшее количество хлорофилла А + В сорт Радонь показал при 3-м сроке, а Зилант при 1-м сроке посева. Ранг сортов сохранялся как в период цветения, так и в период молочного состояния зерна. Величина хлорофиллового индекса растения достигала максимума в фазу цветения при первом сроке посева (в среднем по сортам 9,83 мг/раст.). Различия между сортами по этому показателю в большей степени проявлялись в фазу молочной спелости. В среднем по трем срокам сева наиболее высокие значения ХИ отмечены у сорта Радонь (8,72 и 8,45 мг/раст. на стадиях цветения и молочной спелости соответственно).

Ключевые слова: озимая рожь; сорт; сроки сева; фаза; органы растений; хлорофилл, хлорофилловый индекс.

Для цитирования: Пономарева М. Л., Пономарев С. Н., Маннапова Г. С., Гильмуллина Л. Ф., Илалова Л. В., Гараева Н. Ш., Гайнутдинова Э. Р. Влияние сроков сева и сортовых особенностей озимой ржи на фотосинтетические показатели растений // Аграрный научный журнал. 2021. № 12. С. 59–63. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2021i12pp59-63>.

AGRONOMY

Original article

Influence of sowing date and variety features of winter rye plants on photosynthetic indicators

Mira L. Ponomareva, Sergey N. Ponomarev, Gulnaz S. Mannapova, Liliya F. Gilmullina, Lyubov V. Ilalova, Nazlygul Sh. Garaeva, Elza R. Gainutdinova

Tatar Scientific Research Institute of Agriculture, FRC Kazan Scientific Center, Kazan, Russia, smponomarev@yandex.ru

Abstract. The concentration of pigments and chlorophyll potential in the tissues of various organs of three varieties of winter rye during plant ontogenesis were studied. New varieties of winter rye Radon, Podarok and Zilant were sown in 3 data with an interval of 10 days, starting from August 25. Sampling for plant analyses of photosynthetic activity was carried out at the beginning of flowering and milk stage of the grain in 2018–2019. Differences between the varieties were revealed, both chlorophyll content in assimilating organs and their total accumulation in different periods of the growing season. It is shown that the sowing time, which determines the rate and degree of autumn and spring development of winter rye plants, has significant effect on the chlorophyll content. The highest content of green pigments was found at the late sowing date in leaves, leaf sheaths, and spike. In the stems, almost equal amounts of chlorophyll at the 1st and 2nd dates and a slight decrease at the third date were observed. The maximum chlorophyll content accumulated in leaf during flowering (0.88–1.83 mg / g) and during milk stage of grain (1.04 ... 1.93 mg / g) of winter rye. The highest amount of chlorophyll A+B variety Radon showed at the 3rd sowing date, and Zilant - at the 1st sowing date. The rank of varieties was maintained both during flowering and at milk stage of grain. The value of chlorophyll index of the plant reached a maximum in the phase of flowering at the first sowing date (on average for the varieties 9.83 mg/plant). Differences between the varieties in this indicator were more evident in the phase of milk ripeness. On average for the three dates of sowing the highest values of chlorophyll index were observed in variety Radon (8.72 and 8.45 mg/plant, in flowering and milky ripeness, respectively).

Keywords: winter rye; variety; sowing data; phase, plant organs; chlorophyll; chlorophyll inde.

For citation: Ponomareva M. L., Ponomarev S. N., Mannapova G. S., Gilmullina L. F., Ilalova Ly. V., Garaeva N. Sh., Gainutdinova E. R. Influence of sowing date and variety features of winter rye plants on photosynthetic indicators. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2021;(12): 59–63 (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2021i12pp59-63>.

Введение. Среди направлений повышения продуктивности растений, недостаточно полно используемых в селекции, на первый план выдвигается фотосинтетическая активность растений. Поиск физиологически информативных признаков, приводящих к повышению урожайности, следует вести на систематической основе. Наиболее перспективные физиологические показатели – это площадь флаг-листа, концентрация хлорофилла в листьях, транспорт углеводов, содержание водорастворимых углеводов в стебле, активность фотосистемы I и II. По данным авторов [9], наиболее высокое содержание хлорофилла в листьях пшеницы наблюдается в период цветения. Площадь листьев часто используют в качестве одного из показателей фотосинтетической деятельности растений, результатом которой является формирование урожая зерна [3]. Количество фотосинтетических пигментов в листьях варьирует в широких пределах в зависимости от сельскохозяйственной культуры, сорта, фазы жизненного цикла растений и других факторов [9]. В исследованиях Е.В. Ионовой и др. [4] указывается, что у зерновых культур содержание хлорофилла – наследуемый признак со своей возрастной и структурной динамикой. Создание новых,





более продуктивных сортов часто соотносят именно с количественными изменениями пигментного состава листьев.

Исследования фотометрических показателей озимой ржи крайне ограничены и фрагментарны [5]. Согласно В. Бушук и др. [2], многие морфологические и физиологические признаки, влияющие на фотосинтетическую активность и продуктивность озимой ржи, значительно отличаются от пшеницы, особенно после колошения растений.

По данным В.Д. Кобылянского и Д.И. Бабужиной [6], транспорт продуктов фотосинтеза из ассимилирующих листьев (1, 2 и 3-й сверху) у различных сортов озимой ржи в период формирования и налива зерновки осуществляется в основном из флаг-листа. У короткостебельных форм ржи в отличие от длинностебельных более заметную роль в снабжении колоса ассимилятами в этот период развития растений также играет 2-й сверху лист, колос и ости.

У озимой ржи, по мнению М.Л. Пономаревой и С.Н. Пономарева [10], активность работы хлорофилла тесно связана с биомассой фотосинтезирующего органа и фазой развития растений и может изменяться в широких пределах у сортов с различным генетическим контролем высоты растений.

Содержание хлорофилла (СХ) и другие параметры, связанные с фотосинтетическими показателями, могут быть пригодны для оценки устойчивости растений к стрессу, в том числе к засухе и высоким температурам [12, 13], а также для прогноза продуктивности растений в зависимости от наличия и соотношения элементов минерального питания [14].

Цель нашей экспериментальной работы состояла в оценке содержания хлорофилла и хлорофиллового потенциала в тканях различных органов растений у сортов озимой ржи в зависимости от сроков посева.

Методика исследований. Влияние сроков сева и генотипа сорта ржи на динамику формирования фотосинтетических показателей изучали в 2018–2019 гг. в полевых экспериментах и в лабораторных условиях. Опыты закладывали в селекционном севообороте ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН на серой лесной легкосуглинистой среднеокультуренной почве. Объектами для исследований служили сорта собственной селекции Радонь, Подарок и Зилант, которые различались по длине стебля, устойчивости к стрессовым факторам, направлению конечного использования зерна (хлебопекарные и кормовые). Изучаемые сорта высевали в конкурсном сортоиспытании в четырехкратной повторности при систематическом размещении делянок. Площадь опытной делянки – 12 м². Норма высева была одинаковой – 5 млн всхожих семян на 1 га в три срока: 25 августа, 5 и 15 сентября.

Отбор проб для анализов растений по показателям фотосинтетической деятельности осуществляли вначале каждой из фаз: цветения и молочной спелости зерна (61-я и 75-я стадии по шкале Цадокса). Выборка составляла 10 типичных здоровых главных побегов каждого сорта в трехкратной повторности. Содержание хлорофилла определяли в каждом фотосинтезирующем органе отдельно по методике В.В. Полевого и Р.Б. Максимовой [8]. Экстракцию пигмента проводили 96%-м этиловым спиртом. Определение оптической плотности растворов осуществляли на спектрофотометре СФ-26. Аналитическая повторность опыта – трехкратная. По результатам анализов вычисляли хлорофилловый индекс растения (ХИ) [1]:

$$\text{ХИ}_{\text{раст.}} \text{ мг раст} = \text{Бл} * \text{Хл} + \text{Бв} * \text{Хв} + \text{Бс} * \text{Хс} + \text{Бк} * \text{Хк},$$

где Хл, Хв, Хс, Хк – суммарное содержание хлорофилла в листьях, влагалищах, стеблях, колосе соответственно, мг/г сухого вещества; Бл, Бв, Бс, Бк – биомасса листьев, влагалищ, стеблей и колоса соответственно, г.

Агрометеорологические условия за годы исследований в период весенней вегетации растений озимой ржи приведены в табл. 1. Из них следует, что май и июль 2018 и 2019 гг. были сильноконтрастными по гидротермическому режиму.

Таблица 1

Агрометеорологические условия за годы исследований

Год	Месяцы					
	сентябрь	октябрь	апрель	май	июнь	июль
Среднемесячная температура воздуха, °С						
2017–2018	12,2	5,7	4,0	14,2	16,8	23,0
2018–2019	14,1	6,1	5,3	16,2	18,7	18,4
Среднегодовое	11,5	3,7	4,1	12,9	17,1	19,5
Сумма осадков, мм						
2017–2018	46	86	68	20	40	38
2018–2019	24	49	22	41	42	73
Среднегодовое	52	53	35	34	62	59
Гидротермический коэффициент						
2017–2018	1,26	–	–	0,46	0,79	0,53
2018–2019	0,57	–	–	0,81	0,75	1,28

Полученные экспериментальные данные обрабатывали статистическими методами с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel.

Результаты исследований. На рис. 1 приведены результаты оценки суммарного хлорофилла у выбранных сортов в разрезе фотосинтезирующих органов в фазу цветения. Наибольшее содержание пигментов выявлено при третьем сроке посева в листьях, листовых влагалищах и колосе. В стеблях отмечено практически равное количество хлорофилла при 1-м и 2-м сроках и небольшое снижение при 3-м сроке. Разница между органами обусловлена тем, что сроки посева определяют в значительной мере степень осеннего роста и старт развития каждого отдельно взятого растения озимой ржи в весенний период.

При раннем (1-й) и оптимальном (2-й) сроках посева показатель содержания хлорофилла был ниже из-за большей густоты стеблестоя, меньшего размера листовой пластинки и более раннего отмирания листьев нижних ярусов



растений. Делянки при позднем сроке были заметно изреженными, более низкорослыми, растения имели лучшую освещенность и использовали больше фотосинтетической радиации. Концентрация хлорофилла в среднем по сортам составила 1,45 мг/г сырой массы. Однако по сортам имелись большие различия. Растения 3-го срока сева всех сортов имели значительное количество суммарного хлорофилла, которое изменялось от 0,11 мг/г (Подарок, стебель) до 1,47 мг/г сырой массы (Радонь, лист). В фазу цветения наибольшей концентрацией хлорофилла в колосе отличались сорта Подарок и Зилант, в листьях – Зилант, в стеблях Радонь и во влагалищах листьев – Радонь и Зилант.

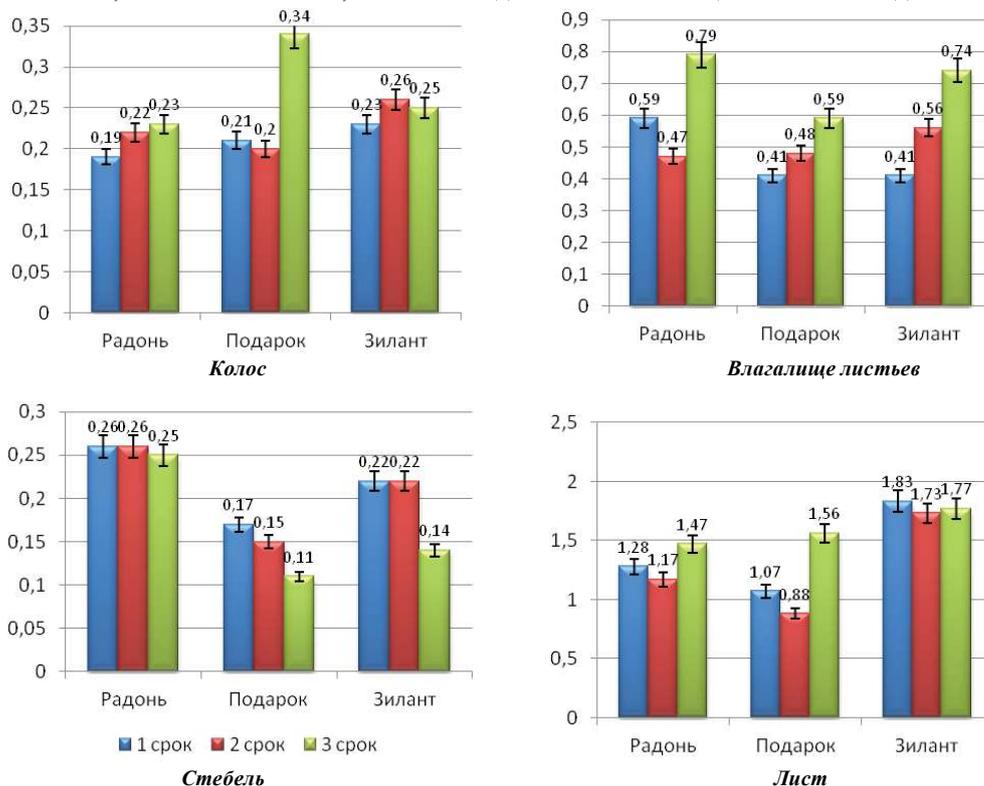


Рис. 1. Содержание хлорофилла в органах растений сортов озимой ржи, 2018–2019 гг. (цветение)

Из данных, представленных на рис. 2, видно, что максимальное содержание хлорофилла в фазу молочной спелости озимой ржи также накапливалось в листовых пластинках (1,04–1,93 мг/г). Во влагалищах листьев его содержалось от 0,51 до 0,81 мг/г сырой массы у Радони, от 0,4 до 0,7 мг/г у Подарка и от 0,44 до 0,93 мг/г сырой массы у Зиланта. Третьим по величине содержания зеленых пигментов был стебель. В этом органе в период молочного состояния зерна концентрация хлорофилла варьировала от 0,17 до 0,42 мг/г сырой массы. В колосе изучаемых сортов в среднем его содержалось 0,21; 0,25 и 0,18 мг/г у Радони, Подарка и Зиланта соответственно.

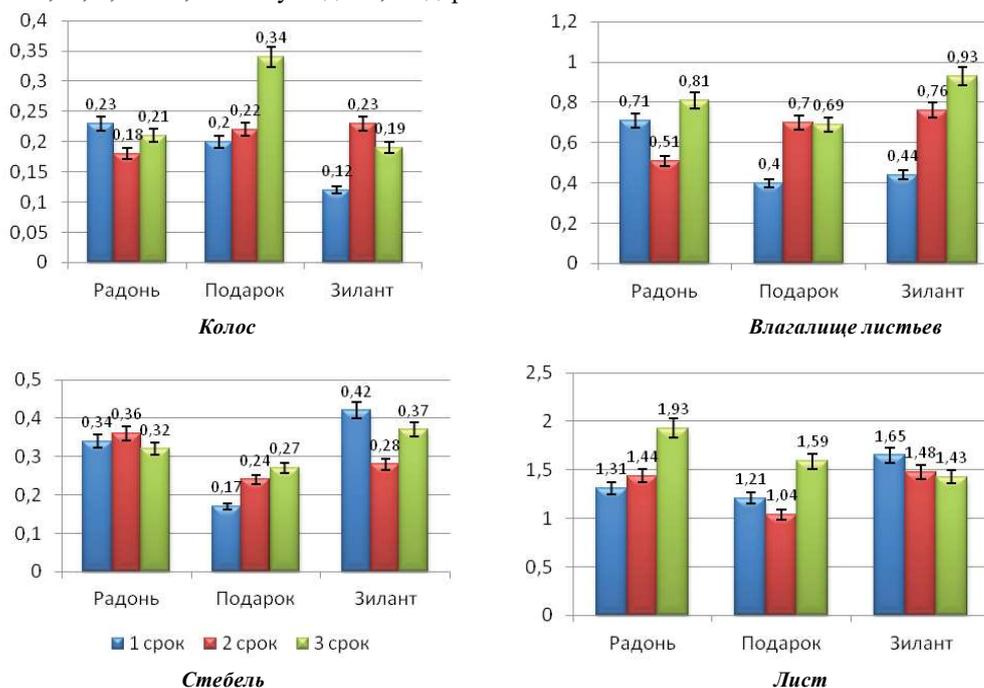


Рис. 2. Содержание хлорофилла в органах растений сортов озимой ржи, 2018–2019 гг. (молочная спелость)

Результаты исследований показывают, что наиболее важным фотосинтезирующим органом растений изучаемых сортов озимой ржи являются листья. Эти выводы соответствуют полученным ранее данным [10] на сортах озимой ржи, созданных до 2015 г.

Максимальное содержание хлорофилла отмечали в период цветения сортов ржи (рис. 3). Наибольшее количество хлорофилла А+В сорт Радонь показал при 3-м, а Зилант при 1-м сроках посева. Ранг сортов сохранялся как в период цветения, так и в период молочного состояния зерна. По изучаемым срокам сева среднее содержание хлорофилла А по сортам варьировало от 1,19 до 1,45, а хлорофилла В – от 0,31 до 0,54 мг/г сырой массы.

Чем меньше соотношение хлорофиллов А/В, тем выше адаптивный потенциал и устойчивость растений в условиях стресса [7]. В фазу цветения и молочного состояния зерна наименьшее отношение А/В при 1-м сроке посева имел сорт Зилант (1,84 и 2,93 соответственно), что свидетельствует о его повышенной устойчивости к стрессовым факторам. При позднем сроке таким соотношением в те же фазы развития обладал сорт Радонь (2,06 и 2,94 соответственно).

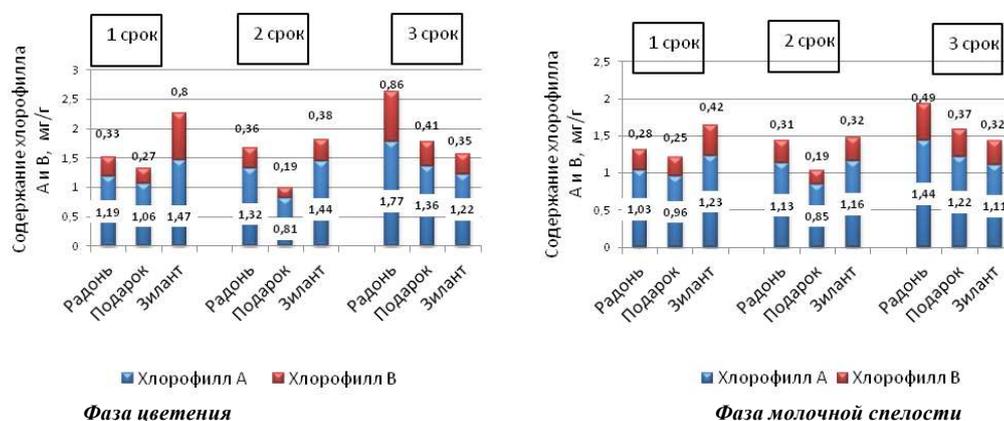


Рис. 3. Суммарное содержание хлорофилла А и В в листьях сортов озимой ржи в фазу цветения и молочной спелости в зависимости от сроков посева, мг/г сырого вещества (в среднем за 2018–2019 гг.)

И.А. Тарчевский [11] предложил для селекционных целей суммировать количество хлорофилла во всех надземных органах растений и рассчитывать величину хлорофиллового индекса в определенный момент развития, выражающуюся в граммах хлорофилла на 1 м². Максимальный ХИ формировался в фазу цветения при 1-м сроке посева (в среднем по сортам 9,83 мг/раст.), в тот же срок в период молочного состояния зерна этот показатель составил 7,32 мг/раст. (табл. 2). В среднем по трем срокам сева наиболее высокие значения ХИ были у сорта Радонь (8,72 и 8,45 мг/раст. в фазу цветения и молочной спелости соответственно). Сортные различия указанных растений в большей степени проявлялись на стадии молочной спелости. Суммарный хлорофилловый индекс сорта Зилант был ниже в обе фазы по сравнению с другими изученными сортами и составил 7,38 мг/раст. в период цветения и 6,84 г/раст. в фазу молочной спелости.

Таблица 2

Хлорофилловый индекс растений сортов озимой ржи в фазу цветения и молочной спелости

Наименование	Хлорофилловый индекс, мг/раст.			В среднем по сорту
	Цветение			
	1-й срок	2-й срок	3-й срок	$F_{\text{факт}} = 1,695$
Радонь	9,80	7,75	8,61	8,72
Подарок	9,89	6,38	7,79	8,02
Зилант	9,81	7,44	7,90	8,38
В среднем по сроку $F_{\text{факт}} = 24,937^*$ $\text{НСР}_{05} = 0,88$	9,83с	7,19а	8,10б	8,37
Молочная спелость				
	1-й срок	2-й срок	3-й срок	$F_{\text{факт}} = 10,373^*$ $\text{НСР}_{05} = 0,83$
Радонь	9,45	7,92	7,97	8,45б
Подарок	5,85	7,20	8,91	7,32а
Зилант	6,66	7,33	6,54	6,84а
В среднем по сроку $F_{\text{факт}} = 0,939$	7,32	7,48	7,81	7,54

* множественные сравнения средних по критерию Дункана.

Заключение. Оценка фотосинтетической деятельности показала различия между новыми сортами озимой ржи как по содержанию хлорофилла в ассимилирующих органах, так и по его суммарному накоплению в разные периоды вегетации. В результате проведенных исследований было установлено, что на содержание хлорофилла существенное влияние оказывают сроки посева, обуславливающие темпы и степень осеннего и весеннего развития



растений озимой ржи. Наибольшее содержание зеленых пигментов выявлено при позднем сроке посева в листьях, листовых влагалищах и колосе. В стеблях отмечено практически равное количество хлорофилла при 1-м и 2-м сроках и небольшое снижение при 3-м сроке. Максимальное содержание хлорофилла накапливалось в листовых пластинках в период цветения (0,88–1,83 мг/г) и в фазу молочной спелости (1,04–1,93 мг/г) сортов озимой ржи. Наибольшее количество хлорофилла А+В сорт Радонь показал при 3-м сроке, а Зилант при 1-м сроке посева. Ранг сортов сохранялся как в период цветения, так и в период молочного состояния зерна.

Величина хлорофиллового индекса растения достигала максимума в фазу цветения при 1-м сроке посева (в среднем по сортам 9,83 мг/раст.). Различия между сортами по этому показателю в большей степени проявлялись в фазу молочной спелости. В среднем по трем срокам сева наиболее высокие значения ХИ отмечены у сорта Радонь.

Работа выполнена в рамках государственного задания: АААА-А18-118031390148-1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрианова Ю. Е., Тарчевский И. А. Хлорофилл и продуктивность растений. М.: Наука, 2000. 135 с.
2. Бушук В., Кэмпбелл У. П., Дреус Э. Рожь: производство, химия и технология. М.: Колос, 1980. С. 166–202.
3. Голева Г. Г., Ващенко Т. Г., Крюкова Т. И., Голев А. Д. Роль флаговых листьев в формировании продуктивности растений озимой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum*) // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2016. № 2 (49). С. 31–42.
4. Ионова Е. В., Газе В. Л., Лиховидова В. А. Фотосинтетическая деятельность и динамика накопления сухой массы растений озимой мягкой пшеницы в зависимости от условий выращивания // Зерновое хозяйство России. 2020. № 1. С. 23–27.
5. Каргатова А. М., Степанов С. А., Шесслер Н. В., Ермолаева Т. Я. Морфологические аспекты развития листьев побега озимой ржи // Бюллетень Ботанического сада Саратовского государственного университета. 2018. Т. 16. № 1. С. 51–59.
6. Кобылянский В. Д., Бабужина Д. И. Фотосинтез различных органов растений короткостебельных форм озимой ржи // Сельскохозяйственная биология. 2003. № 1. С. 67–72.
7. Лиховидова В. А., Газе В. Л., Ионова Е. В. Влияние фотосинтетического пигмента хлорофилла при различной влагообеспеченности на продуктивность растений озимой мягкой пшеницы // Аграрная наука. 2020. № 7-8. С. 86–89.
8. Методы биохимического анализа растений: учеб. пособие / Ленингр. гос. ун-т им. А.А. Жданова; под ред. В. В. Полевого, Г. Б. Максимова. Ленинград, 1978. 191 с.
9. Моргун В. В., Прядкина Г. А. Эффективность фотосинтеза и перспективы повышения продуктивности озимой пшеницы // Физиология растений и генетики. 2014. Т. 46. № 4. С. 279–301.
10. Пономарев С. Н., Пономарева М. Л. Фотосинтетические особенности сортов озимой ржи с различным контролем короткостебельности // Земледелие. 2017. № 7. С. 36–40.
11. Тарчевский И. А. Основы фотосинтеза. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1971. 150 с.
12. Balla K., Bencze S., Bónis P., Árendás T., Veisz O. Changes in the photosynthetic efficiency of winter wheat in response to abiotic stress // Central European Journal of Biology. 2014. No. 9(5). P. 519–530.
13. Bijanzadeh E., Emam Y. Effect of Defoliation and Drought Stress on Yield Components and Chlorophyll Content of Wheat // Pakistan Journal of Biological Sciences. 2010. No.13(14). P. 699–705.
14. Liu H., Gan W., Rengel Z., Zhao P. Effects of zinc fertilizer rate and application method on photosynthetic characteristics and grain yield of summer maize // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 2016. No.16 (2). P. 550–562.

REFERENCES

1. Andrianova Yu. E., Tarchevsky I. A. Chlorophyll and plant productivity. Moscow: Nauka; 2000. 135 p. (In Russ.).
2. Bushuk V., Campbell U. P., Drews E. Rye: production, chemistry and technology. Moscow: Kolos; 1980. P. 166–202. (In Russ.).
3. Goleva G. G., Vaschenko T. G., Kryukova T. I., Golev A. D. The role of flag leaves in the formation of plants productivity of winter soft wheat (*Triticum aestivum* L.). *Vestnik of Voronezh state agrarian university*. 2016;2(49):31–42.
4. Ionova E.V., Gaze V. L., Likhovidova V. A. Photosynthetic activity and dynamics of dry mass of plants accumulation of winter soft wheat, depending on growing conditions. *Grain economy of Russia*. 2020;(1):23–27. (In Russ.).
5. Kargatova A. M., Stepanov S. A., Shessler N. V., Ermolaeva T. Ya. Morphological aspects of leaf development in winter rye shoot. *Bulletin of Botanic Garden of Saratov State University*. 2018;16(1):51–59. (In Russ.).
6. Kobilyanskiy V. D., Babuzhina D. I. Photosynthesis of different plant organs in short-stem forms of winter rye. 2003;(1):67–72. (In Russ.).
7. Likhovidova V. A., Gaze V. L., Ionova E.V. The effect of photosynthetic chlorophyll pigment in the conditions of various moisture supply on winter bread wheat productivity. *Agrarian science*. 2020;(7-8):86–89. (In Russ.).
8. Polevoy V. V., Maximov G. B. Methods of biochemical analysis of plants. Leningrad: Leningrad: University Publishing House; 1978. 191 p. (In Russ.).
9. Morgun V. V., Pryadkina G. A. Photosynthetic efficiency, and perspectives of winter wheat productivity increasing. *Plant Physiology and Genetics*. 2014;46(4): 279–301. (In Russ.).
10. Ponomarev S. N., Ponomareva M. L. Photosynthetic peculiarities of winter rye cultivars with different control of dwarfness. *Zemledelie*. 2017;(7):36–40. (In Russ.).
11. Tarchevsky I. A. Basics of photosynthesis. Kazan: Kazan University Publishing House; 1971; 150 p. (In Russ.).
12. Balla K., Bencze S., Bónis P., Árendás T., Veisz O. Changes in the photosynthetic efficiency of winter wheat in response to abiotic stress // Central European Journal of Biology. 2014;9(5):519–530.
13. Bijanzadeh E., Emam Y. Effect of Defoliation and Drought Stress on Yield Components and Chlorophyll Content of Wheat. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 2010;13(14):699–705.
14. Liu H., Gan W., Rengel Z., Zhao P. Effects of zinc fertilizer rate and application method on photosynthetic characteristics and grain yield of summer maize. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2016;16(2):550–562.

*Статья поступила в редакцию 26.05.2021; одобрена после рецензирования 18.10.2021; принята к публикации 20.10.2021.
The article was submitted 26.05.2021; approved after reviewing 18.10.2021; accepted for publication 20.10.2021.*

