

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕСТЕРА SPAD 502 PLUS ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРОФИЛЛЬНЫХ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

© 2026 Волкова Л. В. ✉

*Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого
(г. Киров, Российская Федерация)*

✉ volkovkirov@mail.ru

Реферат. Исследования проводили с целью изучения возможностей использования прибора контактного действия Konica Minolta SPAD 502 Plus (Япония) для диагностики содержания фотосинтетических пигментов в листьях пшеницы и выделения материала для селекции. Работу выполняли в 2022–2023 годы в условиях Кировской области. Для проверки точности тестера одновременно выполняли анализ состава пигментного комплекса с использованием спектрофотометра UVmini-1240 (Япония). Объектом для изучения служили 8 родительских сортов и 36 гибридных комбинаций третьего-четвертого поколений в фазах цветения и молочно-восковой спелости. Показания тестера SPAD 502 Plus характеризуются высокой межсортовой изменчивостью (15,4...51,2 единиц прибора) со значимыми генотипическими различиям ($HCP_{05}=4,6...9,3$). Проявление признака отличается высокой сортовой специфичностью по уровню снижения показателей от фазы цветения до молочно-восковой спелости (от -3,9 до 56,3%) и подвержено влиянию сезонных эффектов. Между показанием двух сравниваемых приборов установлена высоко значимая согласованность ($r=0,70...0,81$) и возможность прогнозирования по измерениям тестера содержания суммы хлорофилльных пигментов ($Chl\ a+b$) в листьях ($R^2=0,82...0,85$). По результатам парного корреляционного анализа выявлено значимое соответствие рангов генотипов, оцененных по средним значениям двумя разными методами ($r_g=0,71...0,77$). Выделено 10 лучших гибридных комбинаций и 3 родительских сорта. Наиболее перспективной в селекционном отношении можно считать гибридную комбинацию Дарья × Эгисар 29, характеризующуюся высоким значением SPAD 502 Plus и минимальным его снижением в ходе онтогенеза. Сорта Ерос, Дарья и Эгисар 29 рекомендовано включать в селекционные программы в качестве родительских форм как источники высокой фотосинтетической активности. Использование тестера Spad 502 Plus позволяет с приемлемой точностью давать экспресс-оценку селекционному материалу по содержанию хлорофилльных пигментов в полевых условиях.

Ключевые слова: яровая пшеница (*Triticum aestivum*), селекция, сорта, гибридные комбинации, пигменты, фотосинтез, корреляция.

Для цитирования: Волкова Л.В. Использование тестера SPAD 502 Plus для диагностики содержания хлорофилльных пигментов в листьях яровой пшеницы // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2026. Т. 21. № 2(82). С. 22-28. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-22-28

USING SPAD 502 PLUS TESTER TO DIAGNOSE CHLOROPHYLL PIGMENT CONTENT IN SPRING WHEAT LEAVES

© 2026 Volkova L.V. ✉

*Federal Agrarian Scientific Center of the North-East named after N.V.Rudnitskiy
(Kirov, Russian Federation)*

✉ volkovkirov@mail.ru

Abstract. The study was conducted to explore the potential of using the Konica Minolta SPAD 502 Plus contact tester (Japan) to assess photosynthetic pigment content in wheat leaves and to isolate material for breeding. The study was conducted in 2022–2023 in Kirov region. To verify the tester's accuracy, pigment complex composition was analyzed simultaneously using a UVmini-1240 spectrophotometer (Japan). The study subjects included 8 parental varieties and 36 hybrid combinations of the third and fourth generations at the flowering and milky-wax ripeness stages. The values of SPAD 502 Plus tester are characterized by high intervarietal variability (15.4...51.2 device units) with significant genotypic differences ($HCP_{05}=4.6...9.3$). The manifestation of the trait is distinguished by high varietal specificity in terms of the level of indicator decrease from the flowering phase to milky-wax ripeness (from -3.9 to 56.3%) and is influenced by seasonal effects. A highly significant agreement ($r=0.70...0.81$) was established between the readings of two compared devices, as well as the possibility of predicting the content of the sum of chlorophyll pigments ($Chl\ a+b$) in leaves based on tester measurements ($R^2=0.82...0.85$). The results of paired correlation analysis revealed a significant correspondence between the ranks of genotypes, estimated by the average values by two different methods ($r_g=0.71...0.77$). As a result of research, 10 best hybrid combinations and 3 parental varieties were selected. The hybrid combination Darya x Egisar 29, characterized by a high SPAD 502 Plus value and minimal decline during development, is considered the most promising for breeding. Epos, Darya and Egisar 29 varieties are

recommended for inclusion in breeding programs as parental forms due to their high photosynthetic activity. Using SPAD 502 Plus tester allows for rapid assessment of breeding material for chlorophyll pigment content in the field with acceptable accuracy.

Key words: spring wheat (*Triticum aestivum*), breeding, varieties, hybrid combinations, pigments, photosynthesis, correlation.

For citation: Volkova LV. [Using SPAD 502 Plus tester to diagnose chlorophyll pigment content in spring wheat leaves]. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2026; Vol. 21. 2(82). 22-28 p. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-22-28

Введение. Одной из перспективных стратегий повышения урожайности выступает повышение эффективности фотосинтеза. Оптимизация работы фотосинтетического аппарата может увеличить зерновую продуктивность на 10...60% [1, 2]. В последнее время в научной и производственной практике широкое распространение получили портативные N-тестеры, использование которых основано на тесной зависимости между содержанием хлорофилла и азота в листьях растений [3, 4, 5]. Известно, что хлорофилл имеет пики поглощения в синей (400...500 нм) и красной (600...700 нм) областях, при отсутствии поглощения в ближней инфракрасной области. Прибор SPAD-502 Plus измеряет оптическую плотность листа в красной и ближней инфракрасной областях, в результате датчик показывает числовое значение, которое пропорционально количеству хлорофилла, присутствующего в листе.

Бесспорным положительным моментом такой диагностики служит точность ($\pm 1,0$ единиц прибора), сходимость ($\pm 0,3$ единиц прибора согласно техническим характеристикам для значений SPAD от 0 до 50,0 ед. пр.) и быстрота анализа (около 2 с) без необходимости разрушения растений и их листьев, небольшая площадь измерения листовой пластинки (2×3 мм), малое энергопотребление и компактные размеры аппарата. Кроме мониторинга состояния азотного питания растений для корректировки и оптимизации дозы удобрений, большой интерес представляет использование прибора для оценки фотосинтетической активности сортов в селекционных целях.

Количество хлорофилловых пигментов в листьях пшеницы выступает наследуемым сортовым признаком [6]. В то же время по результатам наших исследований условия года вносили значимый вклад в количество хлорофилловых пигментов яровой пшеницы (41%), влияние генотипа составляло 19%, при этом выявлена нестабильность корреляционных связей с урожайностью и ее элементами в различных гидротермических условиях [7]. Для выделения лучших образцов важно определить размах изменчивости признака, вызванный различиями генотипов. Использование сортов, способных на генетическом уровне более эффективно использовать поглощенную световую энергию для образования биомассы, в качестве родительских компонентов для скрещиваний поможет создать более продуктивные сорта зерновых культур [8, 9, 10].

Цель исследований – изучение возможностей тестера SPAD 502 Plus для диагностики

содержания хлорофилловых пигментов в листьях сортов и гибридов яровой пшеницы, поиск исходного материала, обладающего высокой фотосинтетической активностью.

Условия, материалы и методы. Работу выполняли в 2022–2023 годы на опытном участке Федерального аграрного научного центра Северо-Востока (г. Киров) в двухпольном севообороте чистый пар – яровая пшеница. Почва участка – дерново-подзолистая, среднесуглинистая, pH=4,8 в солевой вытяжке, содержанием гумуса низко (2,0% по Тюрину); подвижного фосфора высокое – 192 мг/кг почвы, калия повышенное – 157 мг/кг (по Кирсанову, ГОСТ 26207-91). Перед посевом вносили азотно-фосфорно-калийные минеральные удобрения ($N_{48}P_{48}K_{48}$). Объектом для изучения служили 8 родительских сортов и 36 гибридов $F_3...F_4$, полученных по схеме неполных диаллельных скрещиваний. Площадь делянок 0,5 м², повторность двукратная, норма высева 500 всхожих семян на 1 м². Индексное содержание хлорофилла определяли с использованием тестера Konica Minolta SPAD 502 Plus (Japan) в фазы цветения и молочно-восковой спелости с интервалом 17 дней в 2022 году и 18 дней в 2023 году. Для анализа отбирали образцы флаговых листьев 30 растений в каждом повторении. Оценку состояния фотосинтетического аппарата у тех же листьев и в те же сроки осуществляли спектрофотометром UVmini-1240 производства SHIMADZU Corporation (Japan) при длинах волн 470, 644,8, 661,6 нм. Выделение пигментов и расчет их содержания проводили по методике Н. К. Lichtenthaler, С. Bushmann [11]. Полученные данные экспериментов обрабатывали статистически с использованием методики дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов [12]. Достоверность коэффициентов фенотипической (r – за отдельные годы) и генотипической (r_g – по средним двухлетним значениям) корреляций оценивали при уровнях значимости $p \leq 0,05^*$ и $p \leq 0,01^{**}$. Ранжирование генотипов по показаниям прибора SPAD 502 Plus проводили по убыванию значений от самого высокого (ранг 1) к самому низкому (ранг 44). По уровню снижения хлорофилловых пигментов от фазы цветения до молочно-восковой спелости использовали метод обратного ранжирования, по возрастианию от самого низкого (ранг 1) до самого высокого (ранг 44) значения. Лучшими считали образцы, характеризующиеся минимальными величинами суммы рангов.

В 2022 году вегетативный период развития растений проходил в условиях

переувлажнения почвы и пониженных температур (ГТК=4,0), что способствовало формированию хорошей биомассы и закладке высокопродуктивного колоса. Продолжительность вегетативного периода (от всходов до цветения) была увеличена и составила 50 дней. Генеративный период (от цветения до восковой спелости) насчитывал в среднем 32 дня и характеризовался в целом благоприятным гидротермическим режимом (ГТК=1,5). В 2023 году вегетативный период проходил при среднесуточной температуре, близкой к норме, и небольшом дефиците осадков (ГТК=1,05), в генеративный период количество осадков за месяц более чем в два раза превысило норму (ГТК=1,97).

Результаты и обсуждение. В 2022 году показания тестера SPAD 502 Plus в изучаемом наборе сортов и гибридов в период

цветения варьировали в пределах 39,5...51,2 ед.; в период молочно-восковой спелости – 29,6...48,0 ед., что позволило выявить существенные сортовые отличия ($F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$). Средний уровень признака к наступлению молочно-восковой спелости снижался на 16,5%, при этом межсортовая вариабельность (CV, %) возрастала с 5,8% до 12,9%. Достоверно высокие значения прибора SPAD 502 Plus, в сравнении со средним значением в опыте, показал родительский сорт Eros, гибриды Эгисар 29 × Eros, Ul Alta Blanca × Терция. Статистически достоверные различия сортов обнаружены также в результате анализа на спектрофотометре, достоверное высокое содержание пигментов *Chl a+b* наблюдали у сорта Eros, в комбинациях Дарья × Росинка 2, Степная 50 × Eros, Эгисар 29 × Eros, Ul Alta Blanca × Нива 2 (табл. 1).

Таблица 1 – Содержание фотосинтетических пигментов во флаговых листьях сортов и гибридов F_3 яровой пшеницы в фазы цветения (I) и молочно-восковой спелости (II) (2022 год)

Table 1 – The content of photosynthetic pigments in the flag leaves of varieties and F_3 hybrids of spring wheat during the flowering (I) and milk-wax ripeness (II) stages (2022)

Сорт, гибрид	Показания прибора SPAD 502 Plus, ед.			Содержание пигментов <i>Chl a+b</i> , мг на 1 г сухого вещества		
	I	II	% снижения	I	II	% снижения
Дарья	47,2	44,7	5,4	16,3	12,3	24,5
Eros	46,2	48,0*	-3,9	17,9*	16,9*	5,5
Нива 2	42,2	32,2	23,8	14,2	12,0	15,7
Терция	42,2	35,4	16,2	14,8	10,2	31,3
Степная 50	49,0	43,4	11,4	17,1	10,7	37,5
Эгисар 29	47,4	42,0	11,6	16,1	12,5	22,0
Росинка 2	42,8	29,6	31,0	14,0	10,2	27,0
Ul Alta Blanca	46,4	37,2	19,8	15,2	11,5	24,1
Дарья × Эгисар 29	45,6	42,5	6,8	17,4	13,0	25,6
Дарья × Росинка 2	46,6	44,6	4,4	18,5*	16,0*	14,0
Дарья × Ul Alta Blanca	44,2	36,2	18,1	16,0	10,7	32,9
Eros × Эгисар 29	43,4	38,6	11,1	14,5	11,6	20,4
Eros × Росинка 2	43,4	34,6	20,2	15,8	10,0	36,8
Eros × Ul Alta Blanca	42,0	36,3	13,7	15,5	10,9	29,8
Нива 2 × Степная 50	39,5	31,0	21,5	12,4	8,8	28,8
Нива 2 × Эгисар 29	40,9	34,6	15,3	13,1	9,0	31,6
Нива 2 × Росинка 2	44,0	37,6	14,6	14,2	11,7	17,7
Нива 2 × Ul Alta Blanca	44,3	36,0	18,7	15,1	11,5	23,4
Терция × Степная 50	42,6	29,0	31,8	12,5	8,8	29,4
Терция × Эгисар 29	46,6	34,6	25,9	15,5	8,6	44,1
Терция × Росинка 2	46,3	39,4	19,9	16,1	12,6	21,6
Терция × Ul Alta Blanca	45,9	39,4	14,2	16,3	9,3	43,1
Степная 50 × Дарья	46,4	39,6	14,6	15,9	10,2	35,4
Степная 50 × Eros	47,1	42,0	10,9	16,3	15,0*	7,8
Степная 50 × Нива 2	43,8	33,8	22,8	14,9	9,6	35,6
Степная 50 × Терция	45,8	40,2	12,3	16,2	10,8	33,2
Эгисар 29 × Дарья	47,4	35,6	24,9	17,5	9,3	46,8
Эгисар 29 × Eros	51,2*	45,7*	10,8	19,2*	13,4	30,1
Эгисар 29 × Нива 2	42,8	41,3	3,6	14,9	12,3	17,6
Эгисар 29 × Терция	45,6	40,6	11,0	14,9	11,2	25,0
Росинка 2 × Дарья	45,3	38,8	14,2	15,8	10,9	30,7
Росинка 2 × Eros	49,6	44,4	10,6	17,0	13,1	22,7
Росинка 2 × Нива 2	43,4	30,8	29,2	15,1	8,5	43,7
Росинка 2 × Терция	42,0	36,5	13,1	14,1	9,8	30,9
Ul Alta Blanca × Нива 2	47,4	44,2	6,8	18,2*	12,4	32,1
Ul Alta Blanca × Терция	48,4	46,5*	4,0	16,0	12,9	19,5
Среднее в опыте (n=36)	45,2	38,5	16,5	15,7	11,3	27,7
$F_{\text{факт}}$	2,66*	3,68*	-	4,96*	4,49*	-
HCP_{05}	5,9	7,1	-	2,0	2,7	-
CV, %	5,8	12,9	-	10,0	17,6	-

* – значимо при $p \leq 0,05$

* – significant at $p \leq 0.05$

Согласованность значений содержания хлорофилловых пигментов, определенных с использованием двух методов, была достоверно высокая как в фазе цветения, так и в фазе молочно-восковой спелости (соответственно $r=0,81^{**}$ и $r=0,77^{**}$, $n=36$). В целях селекции на зерновую продуктивность перспективным считается отбор генотипов, способных к более продолжительному активному функционированию фотосинтетического аппарата и, следовательно, к большему накоплению ассимилятов, используемых на формирование компонентов урожая. Изученные параметры за 17-дневный период в зависимости от метода определения снижались на 16,5 и 27,7%. Среди изучаемой выборки сортов минимальным снижением хлорофилла характеризовался Epos, среди гибридов – Дарья × Росинка 2, Степная 50 × Epos, Эгисар 29 × Нива 2.

В 2023 году избыток осадков во второй половине вегетации растений привел к полеганию некоторых сортов, а также сильному развитию листовых болезней, что негативно повлияло на фотосинтетическую активность. Среднее снижение показаний прибора

SPAD 502 Plus составило 29,3%, что в 1,8 раза выше, чем в аналогичный период 2022 году. При этом продолжительность генеративного периода у яровой пшеницы в этом году была выше и составила 44 дня.

Оценка содержания пигментов посредством тестера SPAD 502 Plus в текущий год так же, как и в предыдущий, позволила выявить достоверные сортовые различия, тенденция к повышению генотипического разнообразия от фазы цветения к фазе молочно-восковой спелости сохранялась. Размах изменчивости признака составил в фазе цветения 29,9...42,2 ед., в фазе молочно-восковой спелости – 15,4...32,5 ед. Высокими значениями в первой фазе характеризовались гибридные комбинации Дарья × Росинка 2 и Epos × Эгисар 29, минимальное снижение наблюдали у комбинаций Epos × Ul Alta Blanca, Нива 2 × Эгисар 29. При анализе на спектрофотометре выделены комбинации Дарья × Эгисар 29, Нива 2 × Эгисар 29, Эгисар 29 × Дарья, из них высокие значения в фазе молочно-восковой спелости сохраняли гибриды Дарья × Эгисар 29, Нива 2 × Эгисар 29 (табл. 2).

Таблица 2 – Содержание фотосинтетических пигментов во флаговых листьях сортов и гибридов F₄ яровой пшеницы в фазы цветения (I) и молочно-восковой спелости (II) (2023 год)

Table 2 – The content of photosynthetic pigments in the flag leaves of varieties and F₄ hybrids of spring wheat during the flowering (I) and milk-wax ripeness (II) stages (2023)

Сорт, гибрид	Показания прибора SPAD 502 Plus, ед.			Содержание пигментов Chl a+b, мг на 1 г сухого вещества		
	I	II	% снижения	I	II	% снижения
1	2	3	4	5	6	7
Дарья	36,5	28,6	21,7	10,4	8,2	20,8
Epos	36,8	25,0	32,0	12,9	8,5	34,5
Нива 2	32,6	22,4	31,5	9,1	7,2	21,1
Терция	30,0	17,2	42,6	7,2	5,6	23,1
Степная 50	32,3	24,2	25,2	10,0	6,9	31,4
Эгисар 29	32,4	23,5	27,4	10,1	7,5	25,8
Росинка 2	35,5	21,7	38,9	10,2	7,8	23,3
Ul Alta Blanca	35,9	24,0	33,3	10,7	7,7	28,4
Дарья × Эгисар 29	39,9	31,8	20,2	12,5	11,5*	8,0
Дарья × Росинка 2	42,2*	29,5	30,1	14,0	8,8	37,3
Дарья × Ul Alta Blanca	36,0	23,5	34,9	12,8	7,6	40,6
Epos × Эгисар 29	42,2*	30,3	28,3	13,8	8,1	41,5
Epos × Росинка 2	35,0	26,8	23,3	13,8	7,6	45,3
Epos × Ul Alta Blanca	38,0	31,9	15,8	13,3	9,5	29,1
Нива 2 × Степная 50	32,2	20,4	36,6	11,5	6,9	39,7
Нива 2 × Эгисар 29	38,0	32,5	14,7	11,5	10,7*	7,0
Нива 2 × Росинка 2	34,0	24,9	26,9	12,3	8,8	28,5
Нива 2 × Ul Alta Blanca	33,9	25,1	26,0	11,2	8,4	24,7
Терция × Степная 50	35,2	15,4	56,3	11,5	3,8	66,5
Терция × Эгисар 29	33,2	26,4	20,6	11,4	7,3	35,6
Терция × Росинка 2	34,0	25,8	24,3	10,7	7,5	30,3
Терция × Ul Alta Blanca	34,5	25,9	25,1	10,2	7,1	30,9
Степная 50 × Дарья	29,9	23,4	21,7	10,2	5,1	50,4
Степная 50 × Epos	34,2	27,2	20,7	10,1	7,2	28,8
Степная 50 × Нива 2	34,6	19,2	44,4	11,1	4,5	56,9
Степная 50 × Терция	30,9	21,8	29,6	8,6	3,8	55,7
Эгисар 29 × Дарья	37,0	27,9	24,6	14,9*	8,7	41,8
Эгисар 29 × Epos	37,2	26,1	29,7	12,1	8,2	32,7
Эгисар 29 × Нива 2	36,2	26,7	26,2	11,1	9,2	17,1
Эгисар 29 × Терция	34,8	23,6	32,1	9,5	6,9	28,0
Росинка 2 × Дарья	36,6	21,7	40,7	10,2	6,6	34,8
Росинка 2 × Epos	36,2	25,5	29,8	9,1	7,2	20,8
Росинка 2 × Нива 2	34,0	26,8	21,4	10,6	9,4	11,3
Росинка 2 × Терция	32,2	22,8	29,1	9,7	7,2	25,1

Продолжение таблицы 2 / Table 2 (continued)

1	2	3	4	5	6	7
Ul Alta Blanca × Нива 2	34,8	21,1	39,3	8,5	6,7	21,0
Ul Alta Blanca × Терция	36,6	25,6	30,0	11,4	7,5	34,2
Среднее в опыте (n=36)	35,1	24,9	29,3	11,1	7,5	31,5
F _{факт}	3,05*	2,34*	-	3,18*	3,40*	-
HCP ₀₅	4,6	9,3	-	3,5	2,5	-
CV%	8,1	15,4	29,0	15,4	21,4	41,4

* – значимо при $p \leq 0,05$

* – significant at $p \leq 0.05$

Парный корреляционный анализ значений за 2023 год выявил высокую сходимость двух методов определения содержания хлорофилловых пигментов как в первую ($r=0,70^{**}$), так и во вторую фазы развития растений ($r=0,81^{**}$). С использованием регрессионного анализа полного массива значений ($n=72$) получены уравнения, позволяющие прогнозировать значения суммы хлорофиллов a и b (Y), исходя из значений тестера (X) в фазы цветения (I) и молочно-восковой спелости (II):

$$Y = 0,4574 X - 4,995 \quad (1)$$

$$Y = 0,2915 X - 0,194 \quad (2)$$

Для подтверждения соответствия между двумя альтернативными способами оценки содержания хлорофилла, наряду с определением корреляций абсолютных значений признаков, проведен анализ ранговой корреляции, показывающий сходимость присвоенных рангов генотипов в зависимости от метода. Коэффициенты ранговой корреляции принимали значения $r=0,80^{**} \dots 0,83^{**}$ (2022 год) и $r=0,65^{**} \dots 0,76^{**}$ (2023 год); по средним двухлетним значениям $r_g=0,71^{**} \dots 0,77^{**}$, что свидетельствует о достаточной эффективности отбора лучших генотипов по значениям тестера. То есть использование в полевых условиях тестера Spad 502 Plus позволяет с достаточно высокой точностью давать оценку селекционного материала по содержанию хлорофилловых пигментов, исходя из разницы в интенсивности окраски листьев, не разрушая вегетирующие растения, что имеет немаловажное значение на начальных этапах работы.

Значения тестера были взяты за основу для выделения исходного материала для селекции. Как следует из таблиц 1 и 2, в разных

условиях вегетации происходила смена рангов генотипов. Сезонная корреляция значений прибора Spad 502 Plus в первой и второй фазах оценки была незначима и составляла соответственно $r=0,10$ и $0,32$, значений спектрофотометра – соответственно $r=0,15$ и $0,24$. Если в относительно благоприятном 2022 году выделены комбинации с участием сорта Eros, то в следующем году преимущество получили гибриды, созданные при скрещивании сортов Дарья и Эгисар 29. При анализе средних двухлетних значений выявлено, что между уровнем фотосинтетической активности в фазе цветения и ее снижением за 17...18-дневный период обнаружена достоверная отрицательная корреляция ($r=-0,42^{**}$). Генотипы с более высоким содержанием пигментов в фазе цветения, как правило, обладали более устойчивым и продолжительным функционированием фотосинтетического аппарата. Поэтому для более полной и объективной оценки исходного материала необходимо учитывать сезонные эффекты, а также различную реакцию сортов на условия (в том числе устойчивость к полеганию и болезням), выбирая те генотипы, которые подтверждают свое преимущество при смене лимитирующих факторов среды. Положительная связь между потенциальным уровнем содержания пигментов на единицу площади листа и длительностью активной фазы фотосинтеза служит основанием для проведения селекционной работы по совмещению этих качеств в одном генотипе.

Ранжирование образцов по средним значениям за 2022–2023 годы позволило выделить лучшие комбинации и рекомендовать их как источники высокой фотосинтетической активности (табл. 3).

Таблица 3 – Ранги лучших генотипов пшеницы по средним значениям прибора SPAD 502 Plus в фазы цветения (I) и молочно-восковой спелости (II) (2022–2023 годы, $n=36$)

Table 3 – Ranks of the best wheat genotypes based on the average SPAD 502 Plus readings during the flowering (I) and milk-wax ripeness (II) stages (2022–2023, $n = 36$)

Сорт, гибрид	Значение прибора SPAD 502 Plus, ранг		Уровень снижения, ранг	Σ рангов
	I	II		
Дарья × Эгисар 29	5	1	3	9
Дарья × Росинка 2	1	2	9	12
Дарья	8	3	2	13
Eros	9	4	1	14
Ul Alta Blanca × Терция	6	5	8	19
Эгисар 29 × Eros	2	6	14	22
Росинка 2 × Eros	3	7	13	23
Степная 50 × Eros	13	8	7	28
Eros × Эгисар 29	4	9	18	31
Eros × Ul Alta Blanca	19	10	5	34
Степная 50	14	12	10	36
Эгисар 29 × Нива 2	22	11	4	37
Нива 2 × Эгисар 29	23	13	6	42
Эгисар 29	21	14	12	47

Выделено 10 гибридных комбинаций и четыре родительские формы с суммой рангов от 9 до 47. Наиболее перспективной в селекционном отношении можно считать комбинацию Дарья х Эгисар 29, сочетающую высокий потенциал фотосинтетической активности с его устойчивостью. Сорт Eros рекомендуется использовать в качестве материнской и отцовской, а сорт Дарья – в качестве материнской формы в селекции на фотосинтетическую активность. Использование сортов Эгисар 29 и Степная 50 в скрещиваниях позволяет получить гибридный материал, обладающий высокой и более продолжительной фотосинтетической активностью в репродуктивный период развития.

Выводы. По результатам изучения возможности прибора контактного действия SPAD 502 Plus для диагностики содержания хлорофилловых пигментов в листьях яровой пшеницы в различные по гидротермическому режиму годы установлен широкий размах изменчивости (15,4...51,2 ед.) и значимые генотипические различия по показаниям тестера у сортов и гибридных популяций в разные годы

и фазы развития растений ($HCp_{05}=4,6...9,3$). Отмечена высокая сортовая специфичность по уровню снижения величины показателей от фазы цветения до молочно-восковой спелости (от -3,9 до 56,3 %), а также влияние сезонных эффектов на проявление признака. С использованием корреляционного анализа показана высокая значимая ($r = r_g = 0,70^{**}...0,81^{**}$) сходимость измерений SPAD 502 Plus с показаниями спектрофотометра ($Chl\ a+b$). Ранговая корреляция выявила высокую сходимость рангов генотипов, оцененных двумя разными методами ($r_g = 0,71^{**}...0,77^{**}$). Выявлены источники высокой фотосинтетической активности – сорта Eros, Дарья, Эгисар 29, Степная 50 и десять гибридных популяций. Использование тестера Spad 502 Plus позволяет с достаточно высокой точностью давать экспресс-оценку селекционному материалу по содержанию хлорофилловых пигментов в полевых условиях.

Сведения о финансировании. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания (тема № FNWE-2022-0007).

Литература

1. Процесс фотосинтеза и урожайность перспективных сортов озимой мягкой пшеницы при разных уровнях азотного и фосфорного питания в условиях орошения / Ф. М. Казиметова, Н. Р. Магомедов, А. А. Абдуллаев и др. // *Зерновое хозяйство России*. 2025. Т. 17, № 5. С. 76–82. doi: 10.31367/2079-8725-2025-100-5-76-82.
2. Priadkina H. A. Pigments, efficiency of photosynthesis and winter wheat productivity // *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018. Vol. 14. No. 1. P. 97–108. doi: 10.21498/2518-1017.14.1.2018.126524.
3. Kendal E. Relationship between chlorophyll and other features in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) using SPAD and biplot analyses // *Journal Agricultural Science and Technology*. 2015. Vol. 17. No. 7. P. 1873–1886.
4. Ерошенко Ф. В., Сторчак И. Г., Чернова И. В. Оценка состояния растений методами экспресс-диагностики // *Аграрный вестник Урала*. 2019. № 7 (186). С. 19–25. doi: 10.32417/article_5d52af440f71b8.16701399.
5. Щуклина О. А., Афанасьев Р. А. Применение фотометрических приборов для экспресс-диагностики азотного питания сельскохозяйственных растений в ранние фазы вегетации // *Агрохимический вестник*. 2022. № 2. С. 73–77. doi: 10.24412/1029-2551-2022-2-014.
6. Калинина А. В., Лящева С. В. Состав и содержание пигментов фотосинтеза в листьях проростков озимой мягкой пшеницы // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2018. Т. 20. № 2 (2). С. 286–290.
7. Волкова Л. В., Лисицын Е. М., Амунова О. С. Роль генотипа и погодно-климатических условий в формировании морфобиологических и хозяйственно ценных признаков яровой мягкой пшеницы // *Таврический вестник аграрной науки*. 2020. № 3 (23). С. 43–58. doi: 10.33952/2542-0720-2020-3-23-43-58.
8. Лепехов С. Б. Методы подбора пар для скрещивания в селекции на урожайность у самоопыляющихся культур // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2017. Т. 178. № 4. С. 76–89. doi: 10.30901/2227-8834-2017-4-76-89.
9. Лиховидова В. А., Газе В. Л., Ионов Е. В. Влияние фотосинтетического пигмента хлорофилла при различной влагообеспеченности на продуктивность растений озимой мягкой пшеницы // *Аграрная наука*. 2020. № 7-8. С. 86–89. doi: 10.32634/0869-8155-2020-340-7-86-89.
10. Хлесткина Е. К. Стратегия новой «зеленой революции» в селекции пшеницы: к юбилею академика РАН Людмилы Андреевны Беспаловой // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022. Т. 183. № 1. С. 254–258. doi: 10.30901/2227-8834-2022-1-254-258.
11. Lichtenthaler, H. K., Buschmann, C. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. 2001. Vol. 1. n. pag. URL: <https://www.jkip.kit.edu/molbio/download/425%20Lichtenthaler%20und%20Buschmann%202001%20Chl%20determ%20CurrProtFoodAnalChem%204-3-1.pdf> (дата обращения: 02.02.2026).
12. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебное пособие. 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

References

1. Kazimetova FM, Magomedov NR, Abdullaev AA. [The process of photosynthesis and productivity of promising varieties of winter soft wheat at different levels of nitrogen and phosphorus nutrition under irrigation]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii*. 2025; Vol.17. 5. 76-82 p. doi: 10.31367/2079-8725-2025-100-5-76-82.
2. Priadkina HA. Pigments, efficiency of photosynthesis and winter wheat productivity. *Plant varieties studying and protection*. 2018; Vol.14. No.1. 97-108 p. doi: 10.21498/2518-1017.14.1.2018.126524.

3. Kendal E. Relationship between chlorophyll and other features in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) using SPAD and biplot analyses. *Journal Agricultural Science and Technology*. 2015; Vol.17. No.7. 1873-1886 p.
4. Eroshenko FV, Storchak IG, Chernova IV. [Assessing of plant condition using express-diagnostic methods]. *Agrarnyy vestnik Urala*. 2019; 7 (186). 19-25 p. doi: 10.32417/article_5d52af440f71b8.16701399.
5. Shchuklina OA, Afanasev RA. [Application of photometric devices for express diagnostics of nitrogen nutrition of agricultural plants in the early stages of vegetation]. *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2022; 2. 73-77 p. doi: 10.24412/1029-2551-2022-2-014.
6. Kalinina AV, Lyashcheva SV. [Composition and content of photosynthetic pigments in leaves of winter soft wheat seedlings]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2018; Vol.20. 2(2). 286-290p.
7. Volkova LV, Lisitsyn EM, Amunova OS. [The role of genotype and weather-climatic conditions in the formation of morphobiological and economically valuable traits of spring soft wheat]. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki*. 2020; 3 (23). 43-58 p. doi: 10.33952/2542-0720-2020-3-23-43-58.
8. Lepekhov SB. [Methods for selecting parental pairs for crossing in breeding for self-pollinating crops productivity]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii*. 2017; Vol.178. 4. 76-89 p. doi: 10.30901/2227-8834-2017-4-76-89.
9. Likhovidova VA, Gaze VL, Ionova EV. [Influence of photosynthetic chlorophyll pigment under different moisture conditions on productivity of winter soft wheat plants]. *Agrarnaya nauka*. 2020; 7-8. 86-89 p. doi: 10.32634/0869-8155-2020-340-7-86-89.
10. Khlestkina EK. [Strategy of new "green revolution" in wheat breeding: on the anniversary of Academician of the Russian Academy of Sciences Lyudmila Andreevna Besspalova]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii*. 2022; Vol.183. 1. 254-258 p. doi: 10.30901/2227-8834-2022-1-254-258.
11. Lichtenthaler HK, Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. [Internet]. *Current protocols in food analytical chemistry*. 2001; Vol.1. n. pag. [cited 2026, February 2]. Available from: <https://www.jkip.kit.edu/molbio/download/425%20Lichtenthaler%20und%20Buschmann%2001%20Chl%20determ%20CurrProtFoodAnalChem%204-3-1.pdf>.
12. Dospekhov BA. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy): uchebnoe posobie. 5-e izd., dop. i pererab.* [Field experiment methodology (with fundamentals of statistical processing of research results): a tutorial, 5th edition, supplemented and revised. Moscow: Agropromizdat. 1985; 351p.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторе:

Волкова Людмила Владиславовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции яровой пшеницы Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого (610007, Российская Федерация, г. Киров, ул. Ленина, д. 166а), e-mail: volkovkirov@mail.ru, ORCID 0000-0002-0837-8425

Автор ознакомился и одобрил окончательный вариант рукописи.

Поступила 20.10.2025; одобрена после рецензирования 06.06.2026; принята к публикации 25.06.2026.

Conflict of interest. The author declare no conflict of interest.

Author:

Volkova Lyudmila Vladislavovna – Ph.D. of Biological sciences, senior researcher of Spring Wheat Breeding Laboratory Federal Agrarian Scientific Center of the North-East named after N.V.Rudnitskiy (166a Lenin St., Kirov, 610007, Russian Federation), e-mail: volkovkirov@mail.ru, ORCID 0000-0002-0837-8425

The author have reviewed and approved the final manuscript.

Submitted 20.10.2025; revised 06.06.2026; accepted 25.06.2026.

