

Научная статья

УДК 635.655: 581.132

<https://doi.org/10.24412/2949-2211-2023-1-2-61-70>**СОРТОВОЙ ПОЛИМОРФИЗМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЛИСТЬЕВ У РАСТЕНИЙ СОИ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СЕЛЕКЦИИ****Евгений Иванович Чекалин, Валерий Васильевич Заикин, Александр Васильевич Амелин**

Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина,
ЦКП «Генетические ресурсы растений и их использование»,
г. Орёл, Орловская область, Россия, hmet83@rambler.ru

Аннотация. Фотосинтез – важный физиологический процесс, состоящий из световой и темновой фаз, которые обеспечивают преобразование восполняемой солнечной энергии в макроэнергетические связи и образование органических соединений, необходимых растениям. В совокупности за счет фотосинтеза образуется свыше 95% сухого вещества урожаев. Поэтому учёт показателей фотосинтетической активности в селекции сельскохозяйственных культур имеет важное практическое значение. Наши исследования показали, что показатели фотосинтетической активности листьев сои характеризуются выраженным генотипическим полиморфизмом. Их значения изменялись у сортообразцов культуры в диапазоне: КВФХ – от 0,310 до 0,763 отн. ед.; активность ЭТЦ – от 75,94 до 128,65 отн. ед.; интенсивность фотосинтеза листьев – от 10,09 до 12,99 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$. Генотипические различия наиболее ярко проявлялись в период массового налива семян на уровне листьев генеративной сферы с 14 до 16 часов по московскому времени. Квантовый выход флуоресценции хлорофилла (КВФХ) и активность их электронно-транспортной цепи (ЭТЦ) у листьев 3...4 сверху генеративной сферы были у изученных сортов культуры выше, по сравнению с листьями средних ярусов в среднем на 51%, а нижних – на 83%, а интенсивность фотосинтеза на 41,1 и 78,5%, соответственно. Сорт Ланцетная сохранял высокую фотосинтетическую активность листьев не только в благоприятных, но и засушливых условиях вегетации, что даёт основание его рассматривать ценным исходным материалом в селекции культуры на адаптивность. В течение дня активность световых реакций фотосинтеза листьев изменялась по-разному: у сортов Ланцетная, Свапа, Славяночка отмечался один пик активности ЭТЦ - с 12:00 до 14:00 часов по московскому времени, а у других два пика: первый с 8:00 до 12:00, а второй с 14:00 до 16:00 часов. Между величиной КВФХ и активностью ЭТЦ коэффициент корреляции был отрицательным. Сделано заключение, что оценку селекционного материала и отбор перспективных генотипов сои по показателям активности световой фазы фотосинтеза целесообразно проводить в фазу плоского боба на 3...4 листе сверху с 8 до 11:00 и с 14:00 до 16:00 часов при интенсивности освещения 1000 мкмоль квантов света/ $\text{м}^2\text{с}$, а генотипов отзывчивых на высокую инсоляцию при интенсивности освещения 1500–2000 мкмоль квантов света/ $\text{м}^2\text{с}$.

Ключевые слова: соя, селекция, сорт, фотосинтез, квантовый выход, активность электронно-транспортной цепи, интенсивность фотосинтеза.

Для цитирования: Чекалин Е. И., Заикин В. В., Амелин А. В. Сортовой полиморфизм показателей фотосинтетической активности листьев у растений сои и возможности его использования в селекции // Агронаука. 2023. Том 1. № 2. С. 61–70. <https://doi.org/10.24412/2949-2211-2023-1-2-61-70>.

Original article

VARIETY POLIMORPHISM OF PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY INDICATORS IN SOYBEAN LEAVES AND ITS POSSIBILITIES FOR SELECTION**Evgenij I. Checkalin, Valerij V. Zaikin, Aleksandr V. Amelin**

N. Parakhin Oryol State Agrarian University, Genetic Crop Resources and Their Use CUC,
Oryol, Oryol region, Russia, hmet83@rambler.ru

Abstract. Photosynthesis is an important physiological process which light and dark intervals ensure transformation of renewable solar energy into macro-energetic connections and formation of organic

© Чекалин Е.И., Заикин В.В., Амелин А.В., 2023

compounds necessary for vegetation. In total, photosynthesis accounts for more than 95% of dry yield substance. Consequently, accounting of photosynthetic activity indicators is of crucial practical significance for crop selection. Our research demonstrated that Photosynthetic Activity Indicators in Soybean Leaves are characterised with pronounced polymorphism in genotype. The values differed in crop specimen in the following range: Quantum yield ranged from 0.310 to 0.763 relative units; ETC activity varied from 75.94 to 128.65 relative units; photosynthetic activity in leaves was from 10.09 to 12.99 mmol CO₂/m²c. Genotypic differences were especially clear during the stage of mass seed ripening at the level of leaves of generative sphere between 2 PM and 4 PM (Moscow time). Quantum yield of fluorescence in chlorophyll (Quantum yield) and the activity of their electron-transport chain (ETC) in leaves 3–4 above the generative sphere were higher in the examined crop varieties as compared to the leaves of middle floor by an average of 51% and by 83% in the case of the low floor, whereas intensity of photosynthesis increased by 41.1% и 78.5%, respectively. Lantsetnaya variety maintained high photosynthetic activity in leaves both in favourable and arid vegetation conditions, which implies that it is a valuable source material in crop selection for adaptation. During the day, activity of photosynthetic reactions in leaves changed differently. In particular, Lantsetnaya, Svapa and Slavyanochka varieties had one activity peak of ETC, which was from 12 PM until 2 PM (Moscow time), whereas the other varieties had 2 activity peaks, with the first one from 8 AM until 12 PM and the second from 2 PM until 4 PM. The correlation factor of quantum yield value and ETC activity was below zero. It has been concluded that appraisal of selection material and the choice of prospective soybean genotypes by indicators of photosynthetic light phase should be opportune during the phase of flat beans using leaves 3..4 above from 8 AM until 11 AM and from 2 PM until 4 PM when the intensity of light is 1,000 mmol light quants/m²c, and 1.500–2.000 mmol quants/m²c in the case of genotypes responsive to high insolation.

Keywords: soybean, selection, variety, photosynthesis, quantum yield, electron transport chain activity, photosynthetic activity.

For citation: Checkalin EI, Zaikin VV, Amelin AV. Sortovoj polimorfizm pokazatelej fotosinteticheskoj aktivnosti list'ev u rastenij soi i vozmozhnosti ego ispol'zovaniya v selekcii [variety polymorphism of photosynthetic activity indicators in soybean leaves and its possibilities for selection]. *Agronauka. – Agrosience*. 2023; 1; 2: 61–70. (in Russ.). <https://doi.org/10.24412/2949-2211-2023-1-2-61-70>.

Введение

Прогресс селекции сельскохозяйственных культур за последние десятилетия, в основном, связан с созданием короткостебельных сортов с увеличенным уборочным индексом, повышенной толерантностью к загущению, устойчивостью к полеганию, отзывчивостью к внесению высоких доз удобрений [1]. Однако, данные направления селекции исчерпываются и не во всем отвечают требованиям экологически чистого производства, а потому требуется в настоящее время использование новых не традиционных подходов для обеспечения дальнейших успехов. Одним из таких перспективных направлений рассматривается повышение у новых сортов активности и эффективности фотосинтеза [2], за счет которого создаётся свыше 95% сухого вещества урожая сельскохозяйственных культур [3]. Проблема в данном случае заключается в том, что системная масштабная селекция на повышение активности и эффективности фотосинтеза растений до первого десятилетия 21-го века фактически не проводилась, ни в России, ни в других странах мира [4], что обусловлено рядом объективных и субъектив-

ных причин [5]. Вследствие этого, огромные потенциальные возможности фотосинтеза в использовании природного источника энергии солнца, по-прежнему, остаются слабо реализованными [3, 6, 7].

В тоже время, данная работа вполне может быть эффективной. Ведь многие показатели фотосинтетической деятельности, в том числе у сои, имеют широкую генетическую изменчивость [8] и выраженную наследственную обусловленность [9].

С учетом этого, нами были проведены специальные многолетние полевые исследования на большом наборе сортообразцов сои, с целью выявить генотипическую специфику проявления активности реакций фотосинтеза и установить возможности ее повышения средствами селекции.

Материал и методика

Исследования выполняли с 2009 по 2021 год в рамках тематического плана Центра коллективного пользования «Генетические ресурсы растений и их использование» Орловского ГАУ согласно совместным научно-исследовательским программам с ФНБНУ ФНЦ зернобобовых и крупяных культур.

Объектами основных исследований яв-

лялись 16 сортов сои, созданных в ведущих селекцентрах России: Ланцетная, Свапа, Зуша (сорта орловской селекции); Магева, Окская (сорта рязанской селекции); Белгородская 7, Белгородская 8, Белгородская 48, Воронежская 31, Виктория (сорта белгородской и воронежской селекций); Припять и Ясельда (сорта белорусской селекции); Славяночка, Казачка – ФГБНУ ДЗНИИСХ; Самер 4, Самер 5 – ФГБОУ ВО Самарский НИИСХ.

В полевых условиях опытный материал выращивали на делянках площадью 10 м² в четырёхкратной повторности по сортообразцу. Размещение делянок – рендомизированное.

В вегетационных опытах изучали 4 сорта сои: Ланцетная, FiskebyV, Alta, Мон 21 методом почвенной культуры с применением полимерных сосудов емкостью 5 кг сухой массы, снабжённые стеклянными трубками для нижнего полива [10].

Оценку опытного материала проводили по показателям: квантовый выход флуоресценции хлорофилла (КВФХ); активность электронно-транспортной цепи (ЭТЦ); интенсивность фотосинтеза листьев (ИФ) [11]. Замеры осуществляли на листьях верхнего (3...4 сверху), среднего и нижнего ярусов интактных растений в режиме реального времени с помощью портативных газоанализаторов Li-6400 американской фирмы Li-Cor и GF-3000 FL немецкой фирмы Waltz. При этом учитывали: фазу роста, ярус листьев, время суток, влажность почвы, температуру воздуха и интенсивность солнечного света. Режимы освещения в рабочей камере приборов устанавливали на уровне: 300, 500, 1000, 1500, 2000 $\mu\text{моль (квантов)}/\text{м}^2\text{с}$.

Погодные условия в годы исследований были разными. Вегетационный период 2010, 2018 годов характеризовался проявлением засухи – высокими температурами воздуха и ограниченным количеством осадков. Наиболее благоприятными для вегетации растений были 2012 и 2013 годы. Вегетационные периоды 2014–2017, 2019–2021 годов характеризовались неравномерным распределением осадков и выраженным колебанием температуры воздуха.

Экспериментальные данные обработаны с помощью компьютерных программ с учетом методики Б.А. Доспехова [12].

Результаты исследований и их обсуждение

Подтверждено, что у сои [13], как и других сельскохозяйственных культур [8], показатели активности фотосинтеза характеризуются большим полиморфизмом и наследственной обусловленностью. У изученных сортов культуры в фазу плоского боба за годы исследований показатели активности фотосинтеза варьировали в диапазоне: КВФХ – от 0,260 до 0,357 отн. ед.; активности ЭТЦ – от 101,8 до 151,2 отн. ед.; ИФ – от 1,65 до 16,75 $\mu\text{моль CO}_2/\text{м}^2\text{с}$.

Наиболее высокая активность фотосинтеза листьев отмечается в верхних ярусах растений, что, очевидно, связано с лучшей их освещенностью, более молодым физиологическим возрастом и повышенной плодовой нагрузкой. Среди изученных сортов по величине КВФХ верхних листьев выделялись, прежде всего, Ланцетная, Зуша и Самер 4, а по активности ЭТЦ – Ланцетная и Зуша. У сорта Славяночка активно фотосинтезировали не только верхние, но и средние, и нижние листья (таблица 1).

Сорта сои, выделенные по активности световых реакций фотосинтеза (Ланцетная, Зуша, Свапа и др.), как правило, характеризовались и высокой ассимиляцией CO_2 . Среди них сорт Ланцетная сохранял высокую фотосинтетическую активность листьев не только в оптимальных, но и в засушливых условиях вегетации (2018 г.), что дает основание рассматривать его, как ценный исходный материал в селекции культуры на адаптивность (рисунок 1).

Существенные генотипические различия у сортов сои наблюдались и по динамике дневного хода фотосинтеза. К примеру, у сортов Ланцетная, Свапа и Славяночка отмечался один пик активности электронно-транспортной цепи – с 12:00 до 14:00 по московскому времени, в то время как у других изученных сортов их было два: первый с 8:00 до 12:00, второй с 14:00 до 16:00 часов. В среднем за день значения ЭТЦ у сортов культуры варьировали от 105,7 до 130,2 отн. ед.; КВФХ – от 0,236 до 0,319 отн. ед.; ИФ – от 7,93 до 10,57 $\mu\text{моль CO}_2/\text{м}^2\text{с}$. Среди изученных сортов наиболее высокой фотоактивностью листьев отличались: по ЭТЦ – Ланцетная, Зуша и Славяночка; по КВФХ – Ланцетная, Зуша и, в известной степени, Осмонь; по ИФ – Ланцетная и Осмонь (таблица 2).

Таблица 1 – Квантовый выход флуоресценции хлорофилла (КВФХ) и активность электронно-транспортной цепи (ЭТЦ) листьев разных ярусов растений сои в фазу плодообразования, в среднем за годы исследований

Сорт	Ярусы растения			Среднее значение
	нижний	средний	верхний	
ЭТЦ, отн. ед.				
Славяночка	35,9	100,4	107,5	81,3
Ланцетная	30,2	37,9	149,9	72,7
Зуша	14,2	51,6	145,3	70,4
Белгородская 48	7,9	75,9	112,6	65,4
Мезенка	34,4	57,0	101,8	64,4
Свапа	13,9	69,6	109,7	64,4
Самер 4	25,3	45,1	104,7	58,4
Осмось	3,3	28,5	111,3	47,7
НСР ₀₅	2,4	5,9	11,4	-
КВФХ, отн. ед.				
Самер 4	0,060	0,260	0,313	0,211
Славяночка	0,086	0,181	0,268	0,178
Ланцетная	0,072	0,090	0,357	0,173
Зуша	0,034	0,123	0,346	0,168
Мезенка	0,082	0,136	0,243	0,154
Свапа	0,033	0,166	0,262	0,153
Белгородская 48	0,019	0,108	0,249	0,125
Осмось	0,008	0,068	0,265	0,114
НСР ₀₅	0,006	0,029	0,038	-

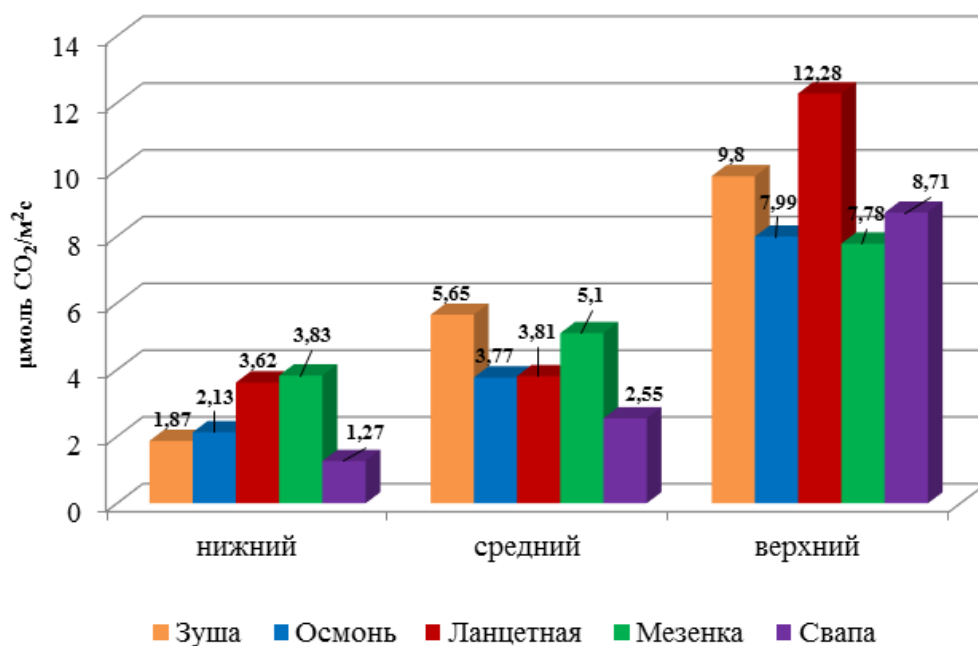
**Рисунок 1 – Интенсивность фотосинтеза листьев растений сорта сои Ланцетная в сравнении с другими сортами в фазу плоского боба, 2018 г.**

Таблица 2 – Дневная динамика квантового выхода флуоресценции хлорофилла, электронно-транспортной цепи и интенсивности фотосинтеза листьев у растений сои в фазу плодообразования, в среднем за годы исследований

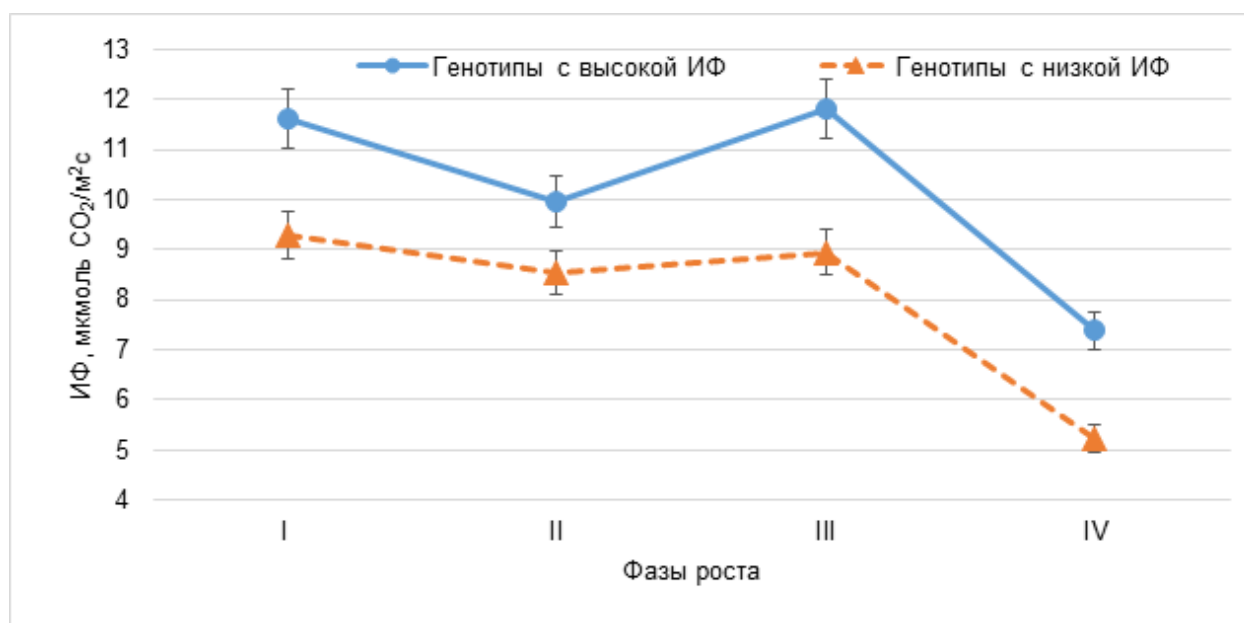
Сорт	Время дня, час						В среднем за день
	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	
ЭТЦ, отн. ед.							
Осмонь	107,8	145,3	109,1	147,1	114,1	89,1	118,7
Ланцетная	134,0	111,3	152,1	139,0	132,5	98,2	127,9
Мезенка	95,0	149,9	91,4	93,7	113,1	96,2	106,5
Свапа	104,0	100,6	106,3	124,5	107,3	91,8	105,7
Зуша	125,9	112,0	137,6	133,8	145,2	101,9	126,1
Славяночка	95,0	123,9	161,1	126,4	130,7	112,2	124,9
Белгородская 48	102,9	119,8	113,9	120,4	96,4	95,0	108,1
Самер 4	120,6	109,7	148,9	139,2	153,4	109,4	130,2
НСР ₀₅	11,5	11,9	13,1	11,5	12,2	10,2	–
КВФХ, отн. ед.							
Осмонь	0,368	0,346	0,173	0,234	0,227	0,425	0,295
Ланцетная	0,457	0,265	0,242	0,221	0,263	0,469	0,319
Мезенка	0,321	0,357	0,145	0,149	0,224	0,459	0,276
Свапа	0,355	0,240	0,158	0,182	0,205	0,358	0,250
Зуша	0,429	0,267	0,219	0,213	0,288	0,486	0,317
Славяночка	0,324	0,295	0,226	0,167	0,240	0,334	0,264
Белгородская 48	0,351	0,286	0,160	0,159	0,177	0,283	0,236
Самер 4	0,410	0,261	0,209	0,184	0,281	0,326	0,279
НСР ₀₅	0,042	0,036	0,029	0,024	0,031	0,039	–
ИФ, $\mu\text{моль CO}_2/\text{м}^2\text{с}$							
Осмонь	10,56	9,80	8,26	14,63	10,37	9,79	10,57
Ланцетная	12,52	7,99	5,99	13,25	10,17	6,82	9,46
Зуша	10,42	8,71	7,78	11,81	9,54	5,64	8,98
Мезенка	9,78	12,28	6,24	7,73	10,37	6,79	8,87
Свапа	9,53	7,78	4,38	11,5	8,21	6,21	7,93
НСР ₀₅	0,98	0,87	0,68	1,03	1,12	0,85	–

В онтогенезе растений наиболее значительно проявлялись генотипические различия по активности фотосинтеза листьев во время массового образования и налива семян, когда резко возрастает спрос на фотоассимиляты. В период развития «плоский боб – зеленая спелость бобов» величина КВФХ листьев была у сортов культуры на 26,0 и 13,0%, а активность ЭТЦ на 14,4 и 6,4% выше, чем в фазу ветвления и цветения, соответственно.

Схожим образом изменялась в онтогенезе сортов и интенсивность фотосинтеза. При этом сорта с высокой интенсивностью

фотосинтеза превосходили по активности поглощения CO_2 сорта с низкой активностью темновой фазы фотосинтеза в среднем на 21,5% (рисунок 2).

По данным Gordon A. J. с соавторами [14], по мере развития растений сои интенсивность фотосинтеза зрелых листьев увеличивалась с 22 $\mu\text{моль CO}_2/\text{м}^2\text{с}$ в июне до 30...44 $\mu\text{моль CO}_2/\text{м}^2\text{с}$ в начале августа. Изменения фотоактивности листьев в онтогенезе растений исследователи связывают главным образом с изменением характера донорно-акцепторных отношений [6].



Примечание: фазы роста и развития сои: I – ветвление, II – цветение, III – плоский боб, IV – зелена спелость бобов

Рисунок 2 – Интенсивность фотосинтеза у сортов сои с высокой и низкой ИФ по фазам роста и периодам развития, по данным 2017 года

По данным Gordon A. J. с соавторами [14], по мере развития растений сои интенсивность фотосинтеза зрелых листьев увеличивалась от 22 мкмоль СО₂ /м²с в июне до 30 – 44 мкмоль СО₂ /м²с в начале августа. Изменения фотоактивности листьев в онтогенезе растений исследователи связывают главным образом с изменением характера донорно-акцепторных отношений [6].

Установлено, что высокая фотосинтетическая активность листьев отмечается у сортов культуры, преимущественно, в условиях с оптимальным увлажнением и температурой воздуха, тогда как в неблагоприятных метеоусловиях вегетации она резко снижается [15]. В модельных вегетационных опытах с различными режимами увлажнения почвы выявлено, что при изменении ее влажности от 70 до 30% от полной влагоемкости у сортов культуры резко снижаются все показатели активности фотосинтеза: КВФХ – на 37,3%, ЭТЦ – на 35,8%, ИФ – на 50,9%.

Отсюда следует, что селекцию культуры сои необходимо проводить не только с целью повышения активности и эффективности, но и стабильности (адаптивности) фотосинтеза листьев. Большое значение в

этом играют устьица листьев, которые являются важным механизмом регулирования и обеспечения эффективности процессов транспирации и фотосинтеза и в следствие этого значимо влияют на интенсивность роста растений и формирование конечного урожая [7, 16].

Проведенный нами корреляционный анализ сортовых признаков растений подтвердил, что и у культуры сои устьичная проводимость листьев оказывает значительное влияние не только на интенсивность фотосинтеза и транспирации, но и многие хозяйственно полезные признаки и свойства сорта, в частности на урожайность (корреляция по фазам роста изменялась от 0,48 до 0,62). У изученных 78 коллекционных образцов сои коэффициент корреляции между устьичной проводимостью и урожайностью семян был достоверным при уровне P₀₅ и составлял в годы исследований 0,54. Поэтому, весьма актуально проводить учет устьичной проводимости листьев культурных растений, чтобы эффективно влиять не только на их транспирационную и фотосинтетическую активность, но и, в целом, на продукционный процесс.

Представляется весьма важным учитывать в селекции сои и отзывчивость на инсоляцию, так как ее генотипы могут существенно различаться по ответной реакции фотосинтеза листьев на изменение светового режима. В полевых опытах при полном

насыщении фотосинтеза светом значения квантового выхода флуоресценции хлорофилла изменялись по сортам культуры от 0,243 до 0,357 отн. ед., активности ЭТЦ – от 104,7 до 149,9 отн. ед., ИФ – от 7,87 до 13,17 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$ (таблица 3).

Таблица 3 – Квантовый выход флуоресценции хлорофилла, активность электронно-транспортной цепи и интенсивность фотосинтеза листьев у сортов сои в зависимости от режима освещения в фазу плоского боба, в среднем за 2017–2018 годы исследований

Сорт	Интенсивность освещения, $\mu\text{моль (квантов)}/\text{м}^2\text{с}$				
	300	700	1000	1500	2000
ЭТЦ, отн. ед.					
Ланцетная	66,6	134,5	149,9	136,3	113,0
Зуша	64,8	114,4	145,3	100,8	103,2
Самер 4	70,2	123,4	131,2	91,7	108,1
Славяночка	71,9	115,7	112,6	102,9	94,4
Осмонь	65,6	102,9	111,3	84,4	82,5
Свапа	64,9	91,2	109,7	107,8	81,1
Белгородская 48	68,5	113,8	104,7	116,9	79,0
Мезенка	63,4	87,8	101,8	98,5	82,7
НСР ₀₅	7,1	9,3	10,6	10,4	9,5
КВФХ, отн. ед.					
Ланцетная	0,528	0,459	0,357	0,217	0,135
Зуша	0,517	0,390	0,346	0,160	0,123
Самер 4	0,560	0,420	0,313	0,146	0,129
Славяночка	0,572	0,395	0,268	0,163	0,112
Осмонь	0,521	0,351	0,265	0,150	0,098
Свапа	0,517	0,311	0,262	0,171	0,097
Белгородская 48	0,545	0,388	0,249	0,186	0,094
Мезенка	0,506	0,299	0,243	0,156	-
НСР ₀₅	0,065	0,047	0,039	0,021	0,018
ИФ, мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$					
Ланцетная	5,12	10,25	12,28	13,17	10,85
Зуша	4,72	5,48	9,80	9,31	11,40
Осмонь	4,51	6,43	7,99	7,87	11,35
Свапа	4,63	7,34	8,71	10,95	7,36
Мезенка	4,26	6,50	7,78	10,02	10,34
НСР ₀₅	0,53	0,61	0,58	0,53	0,62

Это свидетельствует о том, что можно эффективно проводить целенаправленную селекционную работу по созданию сортов, адаптированных к различным режимам освещения, что позволит не только существенно повысить эффективность селекции, но и сельскохозяйственного производства в целом. В этом плане большой интерес представляют сорта Ланцетная, Зуша и Самер 4,

которые отличаются наиболее эффективным улавливанием квантов света, передачей электронов по транспортной цепи в реакционные центры и высокой ассимиляцией CO_2 на единицу листовой поверхности в условиях интенсивного освещения – 1000...2000 $\mu\text{моль (квантов)}/\text{м}^2\text{с}$.

Итак, у культуры сои показатели фотосинтетической активности фотосинтеза ли-

ствев имеют высокую генетическую обусловленность и широкий полиморфизмом. Это позволяет проводить эффективную целенаправленную селекцию на повышение активности и эффективности фотосинтеза и добиваться дальнейшего роста урожайности и качества семян. Подтверждением тому являются достигнутые успехи в направлении селекции сои в разных странах мира. Так, в Китае за 50 лет селекционной работы скорость фотосинтеза растений сои увеличилась в среднем на 33%; величина сухой массы – на 10,6%, индекса урожая – на 19,0% [17], а в Канаде рост урожайности семян, индекса урожая и скорости фотосинтеза составил за тот же период в среднем 0,5% в год [18].

Заключение

При создании сортов сои с повышенной активностью и эффективностью фотосинтеза, оценку селекционного материала и отбор перспективных генотипов следует проводить в фазу плоского боба на 3...4 листе сверху с 8

до 11:00 и с 14:00 до 16:00 часов при интенсивности освещения 1000 мкмоль квантов света/ м²с. Для повышения эффективности данной работы предлагается использовать «Способ оценки и отбора высокоурожайных генотипов сои по устьичной проводимости паров воды» (Патент РФ № 2685151 А 01 Н 1/04, опубликован 16.04.2019, бюл. № 11). Данный способ дает возможность выделять перспективный исходный материал и создавать новые сорта на основе регулирования углеводного и водного обмена растений.

Для целенаправленного отбора генотипов сои с повышенной или пониженной отзывчивостью на инсоляцию, можно адаптировать и использовать в работе, разработанный нами, «Способ отбора светлюбивых генотипов яровой пшеницы» (Патент РФ № 2694197 А 01 Н 1/04, опубликован 09.07.2019, бюл. № 19). Это позволит существенно повысить эффективность производства культуры в целом и ее селекции, в частности.

Список источников

1. Молчан И. М., Ильина Л. Г., Кубарев П. И. Спорные вопросы в селекции растений // Селекция и семеноводство. 1996. №1–2. С.36.
2. Lawson T., Kramer D. M., Raines C. A. Improving yield by exploiting mechanisms underlying natural variation of photosynthesis // *Current Opinion in Biotechnology*. 2012. Vol. 23. Is. 2. P. 215–220. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.12.012>
3. Ничипорович А. А. Энергетическая эффективность фотосинтеза и продуктивность растений. Пушино: НЦ БИ АН СССР. 1979. 37 с.
4. Zhu X. G., Long S. P., Ort D. R. Improving photosynthetic efficiency for greater yield // *Annual Review of Plant Biology*. 2010. V. 61. P. 235–261. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112206>
5. Амелин А. В., Чекалин Е. И. Селекция на повышение фотоэнергетического потенциала растений и эффективность его использования, как стратегическая задача в обеспечении импортозамещения и продовольственной безопасности России // *Вестник Орел ГАУ*. 2015. Т. 57. № 6. С. 9–17.
6. Мокроносков А. Т. Фотосинтетическая функция и целостность растительного организма. Москва : Наука, 1983. 64 с.
7. Ort D. R., Merchant S. S., Alric J, Barkan A., et al. Redesigning photosynthesis to sustainably meet global food and bioenergy demand // *PNAS*. 2015. V. 112. No 28. P. 8529–8536. <https://doi.org/10.1073/pnas.1424031112>.
8. Зеленский М. И. Фотосинтетические характеристики важнейших сельскохозяйственных культур и перспективы их селекционного использования // *Физиологические основы селекции растений / под редакцией Г. В. Удовенк, В. С. Шевелухи*. Санкт-Петербург: ВИР, 1995. Т. II. Ч. II. С. 466–554.
9. Carmo-Silva E., Andralojc P. J., Scales J. C., et al. Phenotyping of field-grown wheat in the UK highlights contribution of light response of photosynthesis and flag leaf longevity to grain yield // *Journal of Experimental Botany*. 2017. Vol. 68. No. 13 P. 3473–3486. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/jxb/erx169>.
10. Гаврикова А. А., Лаханов А. П. Особенности выращивания селекционного материала зерновых бобовых культур в условиях теплиц // *Научно-техн. бюл. ВНИИЗБК*. 1981. Вып. 28. С. 41–46.
11. Bilger W., Schreiber U., Bock M. Determination of the quantum efficiency of photosystem II and of nonphotochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. *Oecologia*, 1995. 102 : 425–32.
12. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва : Агропромиздат, 1985. 351 с.
13. Hao D, Chao M, Yin Z, Yu D. Genome-wide association analysis detecting significant single nucleotide

polymorphisms for chlorophyll and chlorophyll fluorescence parameters in soybean (*Glycine max*) landraces // *Euphytica*. 2012. V. 186(3). P. 919–931.

14. Gordon A. J., Hesketh J. D., Peters D. B. Soybean leaf photosynthesis in relation to maturity classification and stage of growth // *Photosynthesis Research*. 1982. № 3. P. 81–93.

15. Чекалин Е. И., Амелин А. В. Общие и частные особенности фотосинтеза растений у зерновых, зернобобовых и крупяных культур // *Вавиловские чтения – 2020: Сборник статей Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию открытия закона гомологических рядов и 133-летию со дня рождения академика Н.И. Вавилова*. Саратов: Амирит, 2020. С. 268–275.

16. Atkinson C. J., Policarpo M., Webster A. D., Kingswell G. Drought tolerance of clonal *Malus* determined from measurements of stomatal conductance and leaf water potential // *Tree Physiology*. 2000. 20. P. 557–563.

17. Jin J., Liu X., Wang G., Mi L., Shen Z., Chen X., Herbert S. J. Agronomic and physiological contributions to the yield improvement of soybean cultivars released from 1950 to 2006 in Northeast China // *Field Crops Research*. 2010. Vol. 115. Issue 1. P. 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.10.016>

18. Morrison M. J., Voldeng H. D., Cober E. R. Agronomic changes from 58 years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada // *Agronomy Journal*. 2000. Vol. 92. Issue 4. P. 780–784. <https://doi.org/10.2134/agronj1999.914685x>

References

1. Molchan IM, Il'ina LG, Kubarev PI. Spornye voprosy v selektsii rastenii [Controversial issues in plant breeding]. *Selektsiya i semenovodstvo. – Breeding and seed production*, 1996 ; 1–2 : 36. (in Russ.).

2. Lawson T, Kramer DM, Raines SA. Improving yield by exploiting mechanisms underlying natural variation of photosynthesis. *Current Opinion in Biotechnology*, 2012, Vol. 23, Issue 2, P. 215–220. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.12.012>

3. Nichiporovich AA. Energeticheskaya effektivnost' fotosinteza i produktivnost' rastenii [Energy efficiency of photosynthesis and plant productivity]. Pushchino : NCZ BI AN SSSR, 1979, 37 p. (in Russ.).

4. Zhu XG, Long SP, Ort DR. Improving photosynthetic efficiency for greater yield // *Annual Review of Plant Biology*. 2010. Vol. 61. P. 235–261. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112206>.

5. Amelin AV, Chekalin EI. Seleksiya na povyshenie fotoenergeticheskogo potentsiala rastenii i effektivnost' ego ispol'zovaniya, kak strategicheskaya zadacha v obespechenii importozameshcheniya i prodovol'stvennoi bezopasnosti Rossii [Breeding for increasing the photoenergetic potential of plants and the efficiency of its use as a strategic task in ensuring import substitution and food security in Russia]. *Vestnik Orel GAU*, 2015, Vol. 57 ; 6 : 9–17. (in Russ.).

6. Mokronosov AT. Fotosinteticheskaya funkciya i celostnost' rastitel'nogo organizma [Photosynthetic function and integrity of the plant organism]. Moscow : Nauka, 1983, 64 p. (in Russ.).

7. Ort DR, Merchant SS, Alric J, Barkan A, et al. Redesigning photosynthesis to sustainably meet global food and bioenergy demand. *PNAS*, 2015, Vol. 112, No 28. P. 8529–8536. <https://doi.org/10.1073/pnas.1424031112>

8. Zelenskii MI, Udovenk GV (Eds.), Shevelukhi VS (Eds.) Fotosinteticheskie kharakteristiki vazhneishikh sel'skokhozyaistvennykh kul'tur i perspektivy ikh selektsionnogo ispol'zovaniya [Photosynthetic characteristics of the most important agricultural crops and the prospects for their breeding use] // *Fiziologicheskie osnovy selektsii rastenii. – Physiological foundations of plant breeding*. Saint-Peterburg : VIR, 1995. Vol. II. Part II. P. 466–554. (in Russ.).

9. Carmo-Silva E, Andralojc PJ, Scales JC, et al. Phenotyping of field-grown wheat in the UK highlights contribution of light response of photosynthesis and flag leaf longevity to grain yield // *Journal of Experimental Botany*. 2017. Vol. 68. No. 13 P. 3473–3486. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/jxb/erx169>

10. Gavrikova AA, Lakhanov AP. Osobennosti vyrashchivaniya selektsionnogo materiala zernovykh bobovykh kul'tur v usloviyakh teplits [Peculiarities of cultivation of breeding material of grain legumes in greenhouse conditions]. *Nauchno-tekhnicheskii byulleten' VNIIZBK. – Scientific and technical bulletin of the All-Union Research Institute of legumes and goat crops*, 1981, Issue 2, P. 41–46. (in Russ.).

11. Bilger W, Schreiber U, Bock M. Determination of the quantum efficiency of photosystem II and of nonphotochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. *Oecologia*, 1995 ; 102 : 425–32.

12. Dospekhov BA. Metodika polevogo opyta [Field experiment methodology], Moscow : Agropromizdat, 1985, 351 p. (in Russ.).

13. Hao D, Chao M, Yin Z, Yu D. Genome-wide association analysis detecting significant single nucleotide polymorphisms for chlorophyll and chlorophyll fluorescence parameters in soybean (*Glycine max*) landraces. *Euphytica*, 2012 ; 186(3) : 919–931.

14. Gordon AJ, Hesketh JD, Peters DB. Soybean leaf photosynthesis in relation to maturity classification

and stage of growth. *Photosynthesis Research*, 1982 ; 3 : 81–93.

15. Chekalin EI, Amelin AV. Obshchie i chastnye osobennosti fotosinteza rastenii u zernovykh, zernobobovykh i krupyanykh kul'tur [General and particular features of plant photosynthesis in cereals, leguminous and cereal crops]. *Vavilovskie chteniya – 2020 : Sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 100-letiyu otkrytiya zakona gomologicheskikh ryadov i 133-letiyu so dnya rozhdeniya akademika N.I. Vavilova* [Vavilov Readings – 2020: Collection of articles of the International scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the discovery of the law of homological series and 133- anniversary of Academician N.I. Vavilov]. Saratov: Amirit, P. 268–275. (in Russ.).

16. Atkinson CJ, Policarpo M., Webster AD, Kingswell G. Drought tolerance of clonal Malus determined from measurements of stomatal conductance and leaf water potential. *Tree Physiology*, 2000 ; 20 : 557–563.

17. Jin J, Liu X, Wang G, Mi L, Shen Z, Chen X, Herbert SJ. Agronomic and physiological contributions to the yield improvement of soybean cultivars released from 1950 to 2006 in Northeast China. *Field Crops Research*, 2010 ; Vol. 115, Issue 1 : 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.10.016>

18. Morrison MJ, Voldeng HD, Cober ER. Agronomic changes from 58 years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada. *Agronomy Journal*, 2000 ; Vol. 92, Issue 4 : 780–784. <https://doi.org/10.2134/agronj1999.914685x>

Информация об авторах

Е.И. Чекалин – канд. с.-х. наук, доцент;
В.В. Заикин – канд. с.-х. наук;
А.В. Амелин – д-р с.-х. наук, профессор

Information about the authors

E.I. Checkalin – Cand. Agr. Sci., Associate Professor;
V.V. Zaikin – Cand. Agr. Sci.;
A.V. Amelin – Cand. Agr. Sci., Associate Professor

**Статья поступила в редакцию 19.01.2023;
одобрена после рецензирования 03.05.2023;
принята к публикации 15.05.2023**

**The article was submitted 19.01.2023;
approved after reviewing 03.05.2023;
accepted for publication 15.05.2023**