

На правах рукописи



ЧЕКАЛИН Евгений Иванович

**Научно-методическое обоснование селекции
зерновых и зернобобовых культур на повышение
активности и эффективности фотосинтеза**

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
доктора сельскохозяйственных наук

Орёл
2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина».

Научный консультант: **Амелин Александр Васильевич**, доктор сельскохозяйственных наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», кафедра земледелия, селекции и семеноводства, профессор.

Официальные оппоненты: **Омельянюк Людмила Валентиновна**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Омский аграрный научный центр», лаборатория селекции зернобобовых культур Селекционно-семеноводческого центра, главный научный сотрудник;

Вертикова Елена Александровна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», кафедра генетики, селекции и семеноводства Института агробио-технологии, и.о. заведующего кафедрой;

Фоменко Марина Анатольевна, доктор сельскохозяйственных наук, федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный Ростовский аграрный научный центр», лаборатория селекции и семеноводства пшеницы Отдела селекции и семеноводства пшеницы и тритикале, заведующий.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук

Защита состоится «14» мая 2025 г. а в 10:00 в ауд. 268 на заседании диссертационного совета 35.2.008.04, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», по адресу: 304087 г. Воронеж, ул. Мичурина, 1, ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ; тел./факс: +7(473) 253-86-51; e-mail: d220.010.03@mail.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» и на сайте www.ds.vsau.ru, с авторефератом – на сайте ВАК Министерства образования и науки РФ www.vak.minobrnauki.gov.ru и ВГАУ www.ds.vsau.ru.

Автореферат разослан «5» марта 2025 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные и скрепленные гербовой печатью организации, просим направить на e-mail: d220.010.03@mail.ru. ученому секретарю диссертационного совета.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор с.-х. наук, профессор

Т. Г. Ващенко

Актуальность темы исследования. В настоящее время традиционные методы селекции не в полной мере отвечают стоящим государственным задачам по обеспечению продовольственной безопасности России. На это указывает тот факт, что вследствие искусственного отбора у сельскохозяйственных растений снижается качество зерна, устойчивость к болезням, вредителям и экстремальным факторам погоды (Ильина Л.Г., 1970; Молчан И.М. и др., 1996; Амелин А.В., 2001; Боровик, А.Н. и др., 2012; Омелянюк Л.В. и др., 2023), а у бобовых наблюдается потеря азотфиксирующей способности (Тихонович И.А. и др., 1998). Современные сорта формируют высокий и стабильный урожай лишь в благоприятных погодных условиях и при высоком уровне культуры земледелия (Неттевич Э.Д., 1986; Молчан И.М. и др., 1996; Омелянюк Л.В. и др., 2020; Вертикова, Е. А. и др., 2022).

По мнению ряда ученых, это связано с тем, что в результате селекции фотосинтетическая активность растений не увеличивается, а фактически остается на достигнутом в ходе эволюции уровне (Кумаков В.А., 1974, 1985; Абдуллаев Х.А. и др. 2010; Evans L.T. et al., 1970; Evans L.T., 1993, 1997). И, очевидно, энергетических возможностей в настоящее время уже не хватает, чтобы одновременно обеспечить получение высокого, качественного и стабильного урожая, так как для этого требуется значительно больше энергии, чем ее усваивают современные культурные растения (Амелин А.В., 2001). Поэтому и предлагается проводить целенаправленную работу на повышение активности и эффективности фотосинтеза растений, где имеются огромные потенциальные резервы (Ничипорович А.А., 1979; Мокроносков, А.Т., 1981; Long S.P. et al., 2010; Zhu X.G. et al., 2010; Evans J.R., 2013). Это позволит получать не только высокий, стабильный, качественный, но и экологически безопасный урожай за счет существенного снижения применяемых химических средств защиты растений и эффективного использования продуктивной влаги и элементов минерального питания (азота) (Paul F. et al., 2019). Если удастся это сделать, то сельскохозяйственное производство перейдет на качественно новый этап развития, в основе которого будет лежать использование восполняемого природного источника энергии – солнца. Страны, обладающие такими сортами, будут иметь неоспоримые преимущества на агропродовольственном рынке по сравнению с другими его участниками. Поэтому за рубежом в этом направлении активно осуществляется масштабная селекционная работа (Long R. et al., 2008; Zhu X.G. et al., 2010; Ort D., et al., 2015; Carmo-Silva et. al., 2017; Adachi S et al., 2019).

В России селекция по данной проблеме по разным причинам практически не осуществляется. Поэтому разработка научно-методических основ создания сортов с повышенной активностью и эффективностью

фотосинтеза является для страны весьма актуальной проблемой, решению которой и посвящена настоящая исследовательская работа.

Степень разработанности проблемы.

Теоретические исследования фотосинтеза как физиологического процесса связаны с научными изысканиями К.А. Тимирязева (1957), а изучать фотосинтез как фактор продукционного процесса впервые начал А.Л. Иванов (1941), а затем продолжил А.А. Ничипорович (1956), который разработал теорию фотосинтетической продуктивности, доказав, что за счет данного процесса образуется более 95% сухого вещества растительных организмов (Ничипорович А.А. и др., 1961, 1975, 1979). Позже было выявлено, что основными фотосинтетическими органами растений являются листья: у бобов их вклад в фотосистеме растения может достигать 92...94% (Koscielniak J. et al., 1988), у пшеницы – 82% (Кумаков В.А., 1982), у растений гороха – 86% (Амелин А.В., 1997, 1998). Роль же других органов (стебель, колос, ость, бобы) в фотосинтетическом процессе существенно возрастает на завершающих этапах развития растений (Тарчевский И.А., 1977; Чиков В.И. и др., 1977; Чиков В.И., 1987; Игошин А.М. и др., 1982). При этом проявляется выраженная видовая и сортовая специфика (Гавриленко В.Ф. и др., 1980; Абдуллаев Х.А. и др., 2010, 2011, 2013; Зеленский М.И., 1995; Кошкин Е.И., 2008 и др.).

Но, несмотря на это, целенаправленная селекция на повышение фотоэнергетического потенциала культурных растений на основе использования показателей активности и эффективности фотосинтеза растений до первого десятилетия 21-го века фактически не проводилась ни в России, ни в других странах мира (Миракилов Х.М., 2009; Zhu X.G. et al., 2008; 2010), что обусловлено рядом объективных и субъективных причин (Образцов А.С., 1981; Кумаков В.А., 1981, 1985; Говенджи, 1987; Richards R.A., 2000; Long R., et al., 2008; Амелин А.В. и др., 2015).

Поэтому рост урожайности сельскохозяйственных культур по-прежнему достигается преимущественно традиционными методами, которые в настоящее время исчерпываются, и для дальнейшего увеличения урожайности требуется активизация фотосинтеза растений (Володарский Н.И. и др., 1978; Гавриленко В.Ф. и др., 1980; Моргун В.В., Прядкина Г.А., 2014; Austin R.V., 1994; Mitchell P.L., Sheehy J.E., 2006; Lawson T. et al., 2012; Ort D., et al., 2015), несмотря на всю сложность этой проблемы (Мокроносков А.Т., 1981; Насыров, 1982; El-Sharkawy M.A., 2004, 2005, 2006). Для ее решения необходимо владеть научно обоснованными методическими подходами и эффективными способами учета показателей фотосинтетической и транспирационной активности листьев при оценке исходного материала и отборе из него перспективных форм.

Цель и задачи исследования.

Цель исследования – повышение конкурентоспособности и эффективности отечественной селекции зерновых и зернобобовых культур на основе разработки научно-методических подходов создания сортов нового поколения, формирующих высокий, стабильный и качественный урожай за счет повышенной активности и эффективности фотосинтетической деятельности растений.

Для достижения данной цели решали *следующие задачи*:

1. Выявить видовые особенности проявления фотосинтетической, транспирационной и устьичной активности листьев растений у зерновых (озимая и яровая пшеницы) и зернобобовых (горох, соя, кормовые бобы, чечевица) культур.

2. Выявить сортовую специфику фотосинтетической, транспирационной и устьичной активности листьев растений у зерновых и зернобобовых культур.

3. Установить влияние экзогенных факторов на фотосинтетическую, транспирационную и устьичную активность листьев у сортов зерновых и зернобобовых культур.

4. Установить влияние эндогенных факторов на фотосинтетическую, транспирационную и устьичную активность листьев у сортов зерновых и зернобобовых культур.

5. Определить роль показателей активности фотосинтеза, транспирации и устьичной проводимости листьев растений в формировании урожая и качества зерна сортами зерновых и зернобобовых культур.

6. Разработать научно-методические подходы оценки селекционного материала и способы выделения перспективного генетического материала по показателям активности и эффективности фотосинтеза листьев.

7. Выделить источники ценных фотосинтетических признаков и свойств растений для селекции сортов с повышенной активностью и эффективностью фотосинтеза листьев.

8. Вовлечь в селекционный процесс перспективный генетический материал для создания сортов нового поколения – с повышенной активностью и эффективностью фотосинтеза листьев.

Научная новизна диссертационного исследования.

Впервые в России дано научное и методическое обоснование новому направлению селекции – повышение активности и эффективности фотосинтеза на основе комплексной оценки современных сортов и перспективных генотипов у зерновых (озимая и яровая пшеницы) и зернобобовых (горох, соя, кормовые бобы, чечевица) культур по показателям: квантовому выходу флуоресценции хлорофилла, активности электронно-транспортной цепи, интенсивности фотосинтеза, устьичной проводимости, интенсивности транспирации и эффективности

использования воды. Выявлен широкий генетический полиморфизм показателей фотосинтетической деятельности листьев растений: по активности электронно-транспортной цепи: у озимой пшеницы – 50,2-119,3, яровой пшеницы – 56,3-128,9, гороха посевного – 78,5-160,6, сои – 101,8-151,2; по квантовому выходу флуоресценции хлорофилла: у озимой пшеницы – 0,120-0,284, яровой пшеницы – 0,134-0,307, гороха посевного – 0,100-0,383, сои – 0,260-0,357; по интенсивности фотосинтеза: у озимой пшеницы – 10,97-25,63, яровой пшеницы – 8,73-17,15, гороха посевного – 7,27-21,38; сои – 6,12-14,38; чечевицы – 2,31-10,01; кормовых бобов – 1,35-4,19 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$.

Установлена зависимость фотосинтетической активности листьев растений зерновых и зернобобовых культур от генотипа, фазы роста, яруса листьев, дневного времени суток, устьичной проводимости, интенсивности транспирации, водного, температурного и светового режимов, концентрации в воздухе CO_2 .

Выявлены видовые закономерности по фотосинтетической активности листьев: в среднем за вегетацию по квантовому выходу флуоресценции хлорофилла листьев зернобобовые культуры (соя и горох посевной) превышают зерновые (яровую и озимую пшеницу) на 62%, а по активности электронно-транспортной цепи – на 26,8%. По интенсивности фотосинтеза на единицу поверхности листьев зернобобовые культуры существенно уступают зерновым: в фазу цветения в среднем на 34%, а в фазу налива – на 14%. Но вследствие формирования у растений большей площади листьев (у гороха в 2-3 раза, у сои в 5-8 раз) по сравнению с зерновыми они имеют значительно более высокие потенциальные возможности не только поглощать и усваивать кванты солнечного света (в среднем на 41%), но и ассимилировать CO_2 из воздуха (в среднем на растение на 93%).

Выявлены сортовые аспекты протекания реакций фотосинтеза, которые необходимо учитывать при оценке селекционного материала. У сортов зерновых культур наблюдается 2 пика фотосинтетической активности: один в 9:00, а другой – в 13:00. В то же время у сортов сои второй пик активности самый высокий и приходится на 15:00, а у гороха он один и отмечается в 9:00. Наиболее выраженные генотипические различия по интенсивности фотосинтеза у зерновых культур с 8:00 до 11:00, а у зернобобовых культур: у гороха посевного – с 8:00 до 11:00, у сои – с 9:30 до 12:30 по московскому времени. У сортов зерновых культур интенсивность фотосинтеза флаговых листьев изменялась от 13,65 до 14,43 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$, у зернобобовых культур ее значение у верхних листьев (3-4-й сверху) варьировало от 10,50 до 11,11 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$. Сорта с высокой интенсивностью фотосинтеза верхних листьев, как правило, характеризуются повышенной активностью фотосинтеза по сравнению с нижерасположенными.

Определена степень влияния экзогенных и эндогенных факторов на фотосинтетическую активность современных сортов зерновых и зернобобовых культур.

Выявлена связь показателей фотосинтетической деятельности растений с их урожайностью: у озимой пшеницы – с эффективностью использования воды ($r = 0,46$); у яровой пшеницы – с интенсивностью транспирации ($r = 0,71$); у гороха посевного – с интенсивностью фотосинтеза (r от $+0,33$ до $+0,56$); у сои – с интенсивностью фотосинтеза ($r = 0,72$) и устьичной проводимостью ($r = 0,54$).

Теоритическая и практическая значимость работы.

Разработаны способы оценки и отбора перспективного генетического материала по интенсивности фотосинтеза (патент РФ 2626586), устьичной проводимости паров воды (патент РФ 2685151), отзывчивости на освещенность (патент РФ 2694197), эффективности использования воды (патент РФ 2720426) и отзывчивости на концентрацию углекислого газа (патент РФ 2740216).

Выделены ценные источники высокой активности фотосистемы II, интенсивности фотосинтеза, устьичной проводимости, эффективности использования воды, отзывчивости на свет и адаптивности к условиям среды для использования в селекции озимой и яровой пшеницы, гороха посевного, сои, кормовых бобов и чечевицы обыкновенной.

Для создания сортов зерновых (озимая и яровая пшеницы) и зернобобовых (горох, соя, кормовые бобы, чечевица) культур с повышенной активностью и эффективностью фотосинтеза разработан методический порядок оценки исходного материала: у зерновых культур по флаговому листу в период массового налива зерновок с 8:00 до 11:00 часов, а у зернобобовых – по листьям 1-го плодоносящего узла в фазу плоского боба с 8:00 до 11:00 часов у гороха посевного и с 9:30 до 12:30 часов у сои на 3 листе сверху главного стебля. Разработанные способы отбора перспективного генетического материала и методический порядок оценки исходного материала внедрены в селекционном процессе научных учреждений региона при создании сои Мезенка (А.с. №61032 от 11.08.2016), гороха Оптимус (А.с. № 61033 от 19.03.2015) и гречихи Даша (А.с. №68891 от 17.2018).

Экономическая оценка выращивания генотипов с разной активностью и эффективностью фотосинтетической деятельности растений показала, что сорта гороха посевного с высокой интенсивностью фотосинтеза формировали урожайность на 18% больше и сорта сои с высокой устьичной проводимостью на 38%, что позволило повысить рентабельность производства до 70,3%, а прибыль от реализации продукции на 66% и 91% соответственно.

Целенаправленная селекция зерновых и зернобобовых культур на повышение активности и эффективности фотосинтеза растений позволит

повысить их урожайность на 15–20%, а разработанные способы и методы отбора могут существенно сократить время и трудоемкость селекции на 1-2 года.

С целью практической реализации на горохе посевном было проведено 8 комбинаций парных скрещиваний. Полученные гибриды отличались высокой интенсивностью фотосинтеза: от 7,0 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$ у Фараон х Спартак и до 9,5 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$ у Пап 485/4 х Фараон. Их оценка по показателям фотосинтеза, продуктивности и биохимическому качеству зерна позволила создать и зарегистрировать сорт гороха посевного Оптимус (авторское свидетельство №61033), районированный по Северо-Западному, Западно-Сибирскому регионам страны. Оценка коллекции перспективных сортов и генотипов сои по показателям качества зерна и фотосинтетической деятельности растений послужила основой для выведения сорта Мезенка (авторское свидетельство №61032).

Для создания адаптивных сортов озимой пшеницы предложена схема скрещивания выделенных генотипов по комплексу полезно-хозяйственных признаков, полученные гибриды в настоящий момент находятся в селекционной проработке. Установленное широкое варьирование генотипов яровой пшеницы по показателям фотосинтеза позволило выделить родительские формы и составить схемы скрещивания, полученные гибридные линии по показателям фотосинтеза превышают или не уступают родителям. Их можно рекомендовать для селекции культуры по созданию сортов нового поколения – с повышенной активностью и эффективностью фотосинтеза.

Результаты исследования о видовых и сортовых особенностях фотосинтетической активности листьев растений зерновых и зернобобовых культур используются в образовательном процессе при подготовке магистров по направлению 35.04.04 «Агрономия», профиль «Научно-методические основы селекции и семеноводства сельскохозяйственных культур» и при подготовке аспирантов по специальности 4.1.2 «Селекция, семеноводство и биотехнология растений», а также на курсах повышения квалификации по дополнительной профессиональной программе «Показатели фотосинтетической деятельности растений в селекции сельскохозяйственных культур».

Методология и методы исследования.

Исследование проводилось полевыми, вегетационными и лабораторными методами на основе системного подхода в селекции (Образцов А.С., 1981; 1987) с использованием современного научного оборудования и приборов, позволяющих исследовать фенотипические и генотипические особенности реакций световой и темновой фаз фотосинтеза. Сорта и генотипы для исследования подбирались исходя из основных принципов морфофизиологического моделирования перспективных сортов (Кумаков В.А., 1980).

Полученные в ходе проведенных экспериментов данные проходили математическую и статистическую обработку (дисперсионный и корреляционный анализ) с помощью компьютерных программ на основе методики полевого опыта Б.А. Доспехова (1985).

Положения, выносимые на защиту.

1. Видовые особенности фотосинтетической, транспирационной и устьичной активности листьев растений у зерновых (озимая и яровая пшеницы) и зернобобовых (горох посевной, соя) культур в условиях Центрально-Черноземного региона РФ и их значение в селекции.

2. Генотипическая специфика фотосинтетической, транспирационной и устьичной активности листьев у зерновых (озимая и яровая пшеницы) и зернобобовых (горох посевной, соя) культур и ее использование при создании сортов нового поколения, формирующих высокий, стабильный и экологически безопасный урожай за счет повышенной активности и эффективности фотосинтетической деятельности растений.

3. Способы отбора перспективного исходного материала у озимой и яровой пшеницы, гороха посевного и сои по интенсивности фотосинтеза, устьичной проводимости, эффективности водопотребления, отзывчивости на инсоляцию и повышенную концентрацию CO₂ в воздухе.

4. Перспективный исходный материал и источники повышенной активности и эффективности фотосинтеза листьев для использования в селекции зерновых (озимая и яровая пшеницы) и зернобобовых (горох посевной, соя, кормовые бобы, чечевица) культур.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Достоверность результатов исследований подтверждена многолетними полевыми, вегетационными и лабораторными опытами, которые были проведены на высоком методическом уровне с использованием современных высокоточных приборов, а также статистической обработкой данных, публикациями автора и публичным их представлением на различных научных мероприятиях.

Материалы диссертации доложены: на ежегодных заседаниях кафедры земледелия, селекции и растениеводства ФГБОУ ВО Орловского ГАУ; Межвузовском региональном конкурсе научных работ среди студентов, аспирантов, молодых ученых, посвященном 125-летию со дня рождения Н.И. Вавилова (ФГБОУ ВО Орловский ГАУ г. Орел, 13-14 ноября 2012 г.) (очно); Региональной научно-практической конференции «Использование генетических ресурсов сельскохозяйственных растений в современном земледелии» (ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, г. Орел, 21-22 марта 2012 г.) (очно); VIII Международной научно-практической конференции «ИнформАгро-2016» «Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК» (заочно) (ФГБОУ ВО «РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, 25-27 мая 2016 г.); Московском

международном салоне образования (очно) (г. Москва, ВДНХ, 13-16 апреля 2016 г.); III Среднерусском экономическом форуме (очно) (2014 г., г. Курск); Международной научно-практической конференции, посвященной 130-ой годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова «Вавиловские чтения – 2017» (заочно) (ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, г. Саратов, 15–16 ноября 2017); Международной научно-практической конференции, посвященной 131-ой годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова «Вавиловские чтения – 2018» (заочно) (ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, г. Саратов, 2018); Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Роль молодых ученых в инновационном развитии сельского хозяйства» (очно) (ФГБНУ ФНЦ ЗБК, г. Орел, 11-14 ноября 2019 г.); Международной научно-практической конференции «Иммунитет растений к инфекционным заболеваниям», посвященной 100-летию монографии Н.И. Вавилова (очно) (ФГБНУ ВНИИФ, г. Москва 25-28 июня 2019 г.); Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию открытия закона гомологических рядов и 133-летию со дня рождения академика Н.И. Вавилова (заочно) (ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, г. Саратов, 2020); Международной научно-практической онлайн-конференции молодых ученых и специалистов «Актуальные вопросы и инновационные направления развития АПК глазами молодых ученых» (он-лайн) (ФГБНУ ФНЦ ЗБК, г. Орел, 24 ноября 2021 г.) и др.

Исследования были также представлены на выставках и конкурсах: конкурс научных достижений в области АПК «Золотая осень-2017», октябрь 2017 года, г. Москва, ВДНХ (серебряная медаль); конкурс научных достижений в области АПК «Золотая осень-2018», октябрь 2018 года, г. Москва, ВДНХ (золотая медаль); конкурс инновационных проектов в рамках Международной выставки в Воронежском ГАУ 13-14 ноября 2019 года, г. Воронеж (золотая медаль); Международная выставка «Хлеб, ты – мир», октябрь 2019 года, г. Калуга (диплом участника); конкурс научных достижений в области АПК «Золотая осень-2021», октябрь 2021 года, г. Москва (бронзовая медаль), конкурс научных достижений в области АПК «Золотая осень-2022», октябрь 2022 года, г. Москва (серебряная медаль).

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Исследование выполнено в соответствии с паспортом специальностей ВАК Министерства науки и высшего образования РФ по специальности 4.1.2. «Селекция, семеноводство и биотехнология растений» (пп. 2, 4, 5, 6, 7, 14, 15).

Публикация результатов исследования. Научные результаты исследования опубликованы в 75 научных работах, из них в рецензируемых научных изданиях – 23, в журналах, индексируемых в базах Web of Science и Scopus – 3, монография (в соавторстве) – 1, патентов РФ – 5, авторских свидетельств на сорта – 3.

Личный вклад соискателя. Соискатель лично проводил анализ литературных сведений по теме диссертации; определял подходы и методы исследования, планировал и проводил опыты; осуществлял текущие учеты и наблюдения, статистическую обработку, анализ и обобщение полученных экспериментальных данных; готовил научные статьи для публикации, доклады выступлений на научных конференциях, круглых столах, кафедральных отчетах и семинарах.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 435 страницах и включает: обзор литературы, экспериментальную часть из 7 глав, заключение, предложения по использованию результатов исследования, список литературы и приложения. В работе содержится 53 таблицы, 195 рисунков и 10 приложений. Список литературы включает 735 литературных источников, из которых 494 на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному консультанту, профессору кафедры земледелия, селекции и растениеводства, директору ЦКП Орловского ГАУ «Генетические ресурсы растений и их использование», доктору сельскохозяйственных наук Амелину Александру Васильевичу за ценные советы в проведении исследований и подготовки диссертации, руководителю научного центра ФГБНУ ФНЦ ЗБК, член-корреспонденту РАН, доктору сельскохозяйственных наук Зотикову В.И. и зав. лабораторией Шатиловской СХОС, доктору сельскохозяйственных наук Мазалову В.И. за предоставленные возможности использования материально-технической базы учреждения; селекционеру ФГБОУ ВО Белгородского ГАУ, кандидату сельскохозяйственных наук Городову В.Т. за плодотворную совместную работу, а также сотрудникам ЦКП «Генетические ресурсы растений и их использование», аспирантам кафедры земледелия, селекции и растениеводства ФГБОУ ВО Орловского ГАУ, коллегам и членам семьи за поддержку и помощь.

1. ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ РАСТЕНИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР.

Проведен анализ отечественных и зарубежных научных источников о роли фотосинтеза в жизнедеятельности растений и формировании продуктивности; о влиянии эндогенных и экзогенных факторов на активность и эффективность фотосинтеза; о видовых и генотипических особенностях фотосинтетической деятельности растений; использовании показателей фотосинтеза в селекции сельскохозяйственных культур.

2. МЕСТО, ОПЫТНЫЙ МАТЕРИАЛ, МЕТОДИКА И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Исследование осуществлялось с 2010 по 2020 гг. по тематическому плану Центра коллективного пользования кафедры земледелия, селекции и семеноводства Орловского ГАУ «Генетические ресурсы растений и их использование» в рамках совместного научного сотрудничества со ФГБНУ ФНЦ ЗБК, Шатиловской СХОС ФНЦ ЗБК, ФГБНУ Тульский НИИСХ, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ при поддержке Министерства сельского хозяйства РФ в форме грантов и тематических заданий (2010–2018 гг.).

Опытный материал подбирался исходя из основных принципов морфофизиологического моделирования перспективных сортов (Кумаков В.А., 1980). За годы исследования в целом было изучено сортообразцов: у озимой пшеницы 45; у яровой пшеницы – 24; у сои – 35 и 82 коллекционных номеров ВИР; у гороха посевного – 63; у чечевицы обыкновенной – 12; у кормовых бобов – 13.

Методика исследования. В поле опытный материал выращивали на делянках площадью 10 м² в 4-х кратной повторности. Способ размещения делянок – рендомизированный и систематический со смещением.

В вегетационных опытах изучение сортообразцов осуществлялось методом почвенной культуры с использованием полимерных сосудов емкостью 5 кг сухой почвы (Гаврикова А.А. и др., 1980).

При оценке опытного материала определяли: квантовый выход (КВФХ), фотохимическое (ФХТФХ) и нефотохимическое тушение (НФХТФХ) флуоресценции хлорофилла, активность электронно-транспортной цепи (ЭТЦ), интенсивность фотосинтеза (ИФ) и транспирации листьев (ИТ), устьичную проводимость (УП) и эффективность использования воды (ЭИВ) листьями растений. При этом учитывали: ярус листьев, фазу роста, время суток, интенсивность солнечного освещения, концентрацию CO₂, влажность почвы и температуру воздуха. Измерения значений показателей фотосинтеза проводили при 8 режимах освещения (ИО): 300, 500, 800, 1000, 1300, 1500, 1700, 2000 мкмоль/м²с, а концентрацию CO₂ в камере прибора меняли по схеме: Н, 0,5Н, 2Н, 4Н, 6Н, 8Н, где Н – среднегодовое значение в земной атмосфере (0,033%).

Замеры показателей фотосинтетической активности проводили в режиме реального времени в 3-х–5-и кратной повторности на 5 интактных типичных растениях для сорта, с использованием портативной системы измерения Mini-PAM, газоанализаторов марки Li-6400 XTR американской фирмы Li-Cor и марки GF – 3000 FL немецкой фирмы Waltz.

Эффективность использования воды растениями (ЭИВ) рассчитывали делением текущих значений интенсивности фотосинтеза к интенсивности транспирации, исходя из методических рекомендаций (Polley W.H., 2000). Размер выборки (*n*) при расчете данного показателя был равен 5, повторность измерений в экспериментах 4-х кратная.

Содержание белка, клейковины, крахмала, жира и воды определяли на цельных семенах и зерне с помощью прибора марки Infratek 1241 швейцарской фирмы Foss.

Полученные экспериментов данные обработаны с помощью компьютерных программ на основе методических рекомендаций Доспехова Б.А. (1985).

Условия проведения исследования. Погодные условия в годы проведения исследования были разными. Вегетационный период 2010, 2018 г. характеризовался проявлением засухи – высокими температурами и недостаточным количеством осадков, при не равномерном их распределении. Наиболее благоприятными для вегетации растений были 2012 и 2013 гг. Вегетационные периоды 2014–2017, 2019–2020 гг. характеризовались неравномерным распределением осадков и выраженным колебанием температуры воздуха.

3. ВИДОВЫЕ И СОРТОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОТОСИНТЕЗА, ТРАНСПИРАЦИИ И УСТЫЧНОЙ ПРОВОДИМОСТИ ЛИСТЬЕВ У ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

3.1. Видовые особенности фотосинтетической, транспирационной и устьичной активности листьев растений.

Активность реакций световой и темновой фазы фотосинтеза листьев. Исследование показало, что с понижением яруса листьев активность световых реакций растений яровой пшеницы уменьшается. Наибольшие КВФХ и ЭТЦ отмечаются у флаговых листьев культуры, в то время как у предфлаговых листьев значения данных показателей ниже на 25% и 22%, а у нижних листьев ниже на 38% и 39% соответственно.

Схожие экспериментальные данные и по активности темновой фазы фотосинтеза. В годы исследования ИФ флаговых листьев была на 35% и 63% выше, чем у предфлагового и нижерасположенного листьев, что тесно связано с донорно-акцепторными отношениями органов растений. Удаление у растений флагового листа приводило к увеличению интенсивности фотосинтеза предфлагового листа в среднем на 35,4%, а 3-го листа сверху – на 28,0%. Когда же флаговый лист оставался одним, а

остальные были удалены, то интенсивность ассимиляции им CO_2 увеличивалась лишь на 5,6%.

В онтогенезе растений высокая активность световых реакций фотосинтеза отмечается в начальные этапы развития с максимальным проявлением в фазе кущения. В фазе выхода в трубку происходит небольшой ее спад (в среднем на 24%), а затем повышение (в среднем на 16%) и постепенное затухание. ИФ листьев достигает максимума в фазе трубкования ($18,38 \text{ мкмоль CO}_2/\text{м}^2\text{с}$), а с фазы цветения начинает постепенно снижаться до молочно-восковой спелости зерновок – на 35%.

В течение дня характер изменения КВФХ и ЭТЦ сильно различается. К примеру, ЭТЦ заметно возрастает уже в утренние часы (с 7:00 и до 11:00), а затем равномерно снижается к вечеру, в то время, как квантовый выход флуоресценции хлорофилла, наоборот, вначале снижается (с 7:00 и до 13:00 в 2,4 раза), а затем (с 17:00 и 19:00) вновь восстанавливается (Рисунок 1).

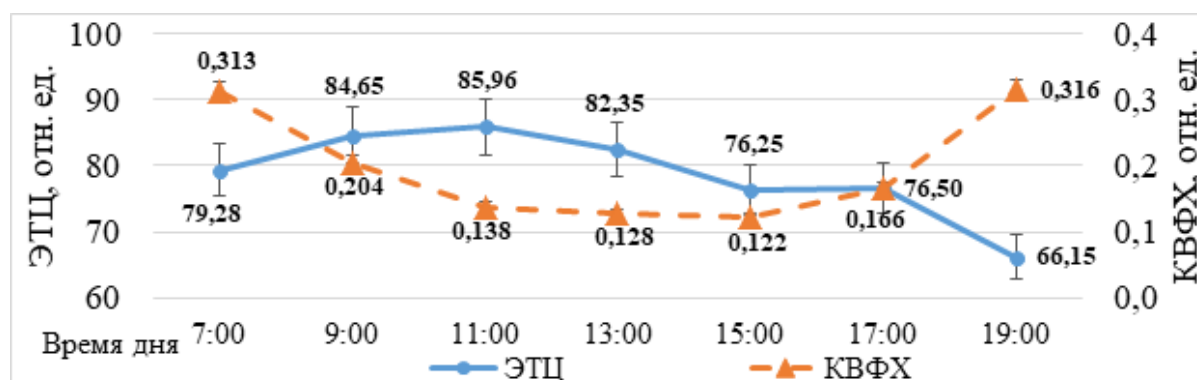


Рисунок 1 – Дневная динамика квантового выхода флуоресценции хлорофилла (КВФХ) и электронно-транспортной цепи (ЭТЦ) листьев у растений яровой пшеницы, 2018–2020 гг.

Транспирационная активность и ее влияние на фотосинтез листьев. В зависимости от условий вегетации ИТ растений яровой пшеницы изменялась в диапазоне от 3,62 до $8,08 \text{ ммоль H}_2\text{O}/\text{м}^2\text{с}$. Наибольшая ее величина зафиксирована в 2017 г., а наименьшая – в 2020 г. В условиях 2017 г. значение ИТ у растений было в среднем на 55,2%, в 2018 г. – на 30,4%, а в 2019 г. – на 32,1% больше по сравнению с 2020 г. При этом выявлена тесная связь между ИТ и ИФ листьев: коэффициент корреляции между показателями варьировал по годам от $-0,72$ до $+0,78$, а по фазам роста от 0,15 до 0,81. Наиболее высокая ИТ была отмечена у флаговых листьев в период цветения и образования плодов – в среднем $12,34 \text{ ммоль H}_2\text{O}/\text{м}^2\text{с}$.

На урожайность зерна ИТ листьев оказывала существенное положительное влияние лишь в отдельные фазы и в годы вегетации с относительно оптимальным увлажнением. В 2019 г. коэффициент корреляции между ИТ и урожайностью в период образования и массового налива зерновок достигал 0,71 (при $P \leq 0,05$), тогда как в засушливых

условиях вегетации 2018 г. повышенная ИТ отрицательно повлияла на формирование урожая.

Это обусловлено тем, что для получения высокого и стабильного урожая важное значение имеет не только ИТ листьями, без чего нельзя обойтись, но и ЭИВ растениями в процессе роста и развития (Chandler J.W. et al., 2003).

В нашем исследовании ЭИВ листьев варьировала в онтогенезе растений яровой пшеницы от 1,50 до 2,72 мкмоль CO_2 / ммоль H_2O . Ее рост связан в первую очередь с проявлением высокой ИФ на фоне умеренной или пониженной ИТ.

Устьичная проводимость и ее влияние на интенсивность фотосинтеза и транспирацию листьев растений. У флаговых листьев растений яровой пшеницы УП на 27% и 39% больше, чем у предфлагового и нижерасположенных, что положительно отражается на ИФ и ИТ (Рисунок 2).

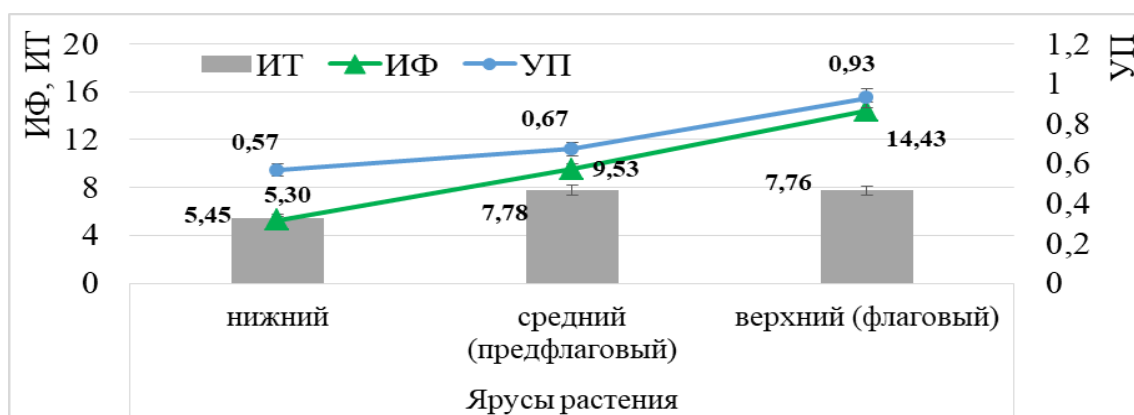


Рисунок 2 – Устьичная проводимость (УП, ммоль $\text{H}_2\text{O}/\text{m}^2\text{c}$), интенсивность транспирации (ИТ, ммоль $\text{H}_2\text{O}/\text{m}^2\text{c}$) и интенсивность фотосинтеза (ИФ, мкмоль $\text{CO}_2/\text{m}^2\text{c}$) листьев растений яровой пшеницы в зависимости от яруса, 2017–2020 гг.

Ярусная изменчивость показателей активности листьев во многом связана не только с возрастными изменениями листьев и плодовой на них нагрузкой, но и внешними условиями функционирования.

Влияние погодных условий на фотосинтез листьев растений. Наибольшая активность реакций световой и темновой фазы фотосинтеза отмечалась в относительно благоприятных по увлажнению 2019 и 2020 гг., тогда как в засушливых условиях 2018 г. величина ЭТЦ была на 2%, КВФХ на 35%, а ИФ на 5% меньше. При этом прослеживается отрицательная зависимость ИФ от температуры воздуха: коэффициент корреляции между показателями в среднем за вегетацию составлял $-0,25$. В то же время ИО благоприятно сказывалась на фотосинтетической активности листьев растений. Коэффициент корреляции между ИФ и ИО был высоким и варьировал в годы исследования от 0,90 до 0,94. Аналогичным образом меняется у растений и ЭТЦ, тогда как по КВФХ тенденция обратная.

Выявленные видовые особенности фотосинтетической и транспирационной активности листьев у растений яровой пшеницы, хотя целенаправленно не учитываются в селекции, тем не менее нашли яркое проявление в сортовой специфике создаваемых новых сортов.

3.2. Сортовая специфика фотосинтетической активности листьев у яровой пшеницы. Исследование показало, что генофонд культуры характеризуется широким полиморфизмом по показателям активности фотосинтеза листьев. В погодных условиях вегетации 2017 г. ИФ листьев по сортам менялась от 13,32 до 15,68 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$, а в 2019 г. – от 14,94 до 17,63 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$. Диапазон генотипической изменчивости ЭТЦ и КВФХ менее широкий: 0,134...0,307 отн. ед. В 2019 г. коэффициент корреляции между КВФХ и ИФ был равен 0,49, а между ЭТЦ и ИФ составлял 0,57 (при $P \leq 0,05$) (Рисунок 3).

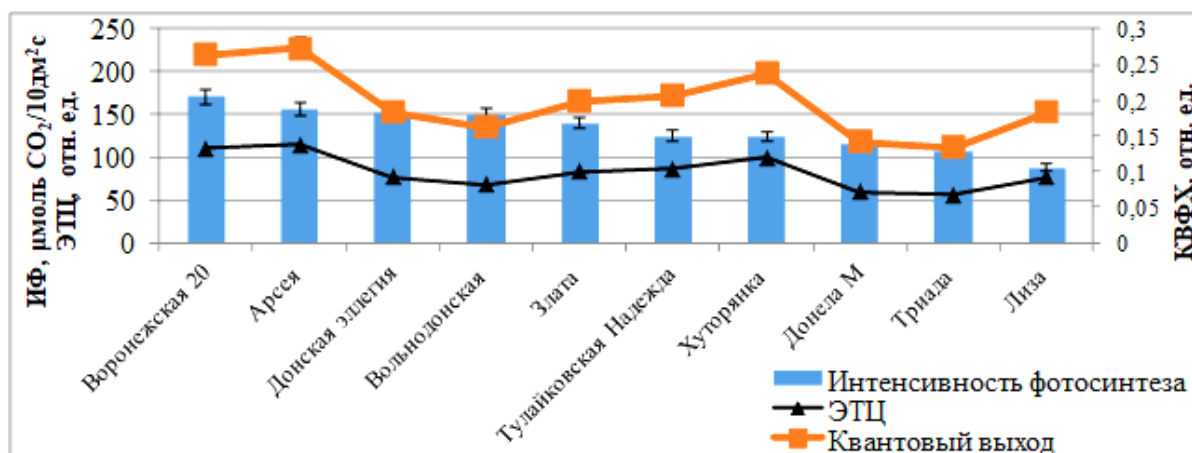


Рисунок 3 – Взаимосвязь интенсивности фотосинтеза (ИФ), квантового выхода (КВФХ) и электрон-транспортной цепи (ЭТЦ) листьев у сортов яровой пшеницы в фазе налива, 2019 г.

По активности реакций световой и темновой фазы фотосинтеза наиболее существенные генотипические различия проявлялись у растений на уровне листьев верхних ярусов, на которые ложится основная нагрузка в обеспечении формирующихся семян фотоассимилятами. Высокой ассимиляцией CO_2 флаговыми листьями выделялись сорта Ульяновская 105, Арсея и Злата.

В онтогенезе растений генотипические различия по показателям активности фотосинтеза начинают проявляться уже с ранних этапов развития. Максимальные значения ИФ отмечались у современных сортов культуры в фазе выхода в трубку, а значимые различия по данному показателю проявлялись в фазы кущения, выхода в трубку и молочной спелости зерна. В эти фазы роста сорта с высокой ИФ превосходили сорта с низкой ИФ в среднем на 11 и 20 % соответственно.

В течение дня генотипические различия по ИФ листьев наиболее выражены в период с 8:00 до 11:00 и с 13:00 до 15:00. При этом у сортов

Йолдыз, Дарья и Золотая в фазе молочно-восковой спелости отмечен один пик интенсивности фотосинтеза в 13:00, а у Любавы в 9:00, в то время как у сорта Ульяновская 101 два пика: первый в 9:00, а второй в 15:00. Исходя из этого, сделано заключение, что оценку исходного материала и отбор перспективных селекционных образцов по показателям фотосинтетической активности листьев следует проводить у яровой пшеницы в период формирования зерновок по флаговому листу с 8:00 до 11:00, а при необходимости и в 15:00 по московскому времени.

Весьма актуально для селекции проводить оценку исходного материала и по ИТ, которая является важным и необходимым физиологическим процессом, защищающим растения от перегрева и обезвоживания в сухую и жаркую погоду, обеспечивая передвижение поглощённых корнями минеральных веществ из почвы вверх по растению для использования в том числе и на нужды фотосинтеза (Davies, W.J., 2002; Fischer, R.A., 1998).

Транспирационная активность и особенности ее влияния на фотосинтез листьев у различных генотипов культуры. В годы исследования (2017–2020 гг.) ИТ листьев варьировала у сортов яровой пшеницы от 3,76 до 6,58 ммоль H_2O/m^2c , оказывая существенное влияние на ИФ и ЭИВ.

Значение ЭИВ варьировало по сортам от 2,16 до 3,32 мкмоль $CO_2/mмоль H_2O$. В онтогенезе наиболее значимые генотипические различия по данному показателю проявлялись в фазе кущения, а минимальные – во время цветения, что тесно было связано с УП листьев, которая регулирует как водный, так и углеродный обмен растений.

Генотипическая специфика проявления устьичной проводимости листьев у растений культуры. Коэффициент корреляции УП с ИФ и ИТ у яровой пшеницы составлял в фазе налива: в 2019 г. +0,81 и +0,99, а в 2017 г. +0,33 и +0,95 соответственно (при $P \leq 0,05$) (Рисунок 4).

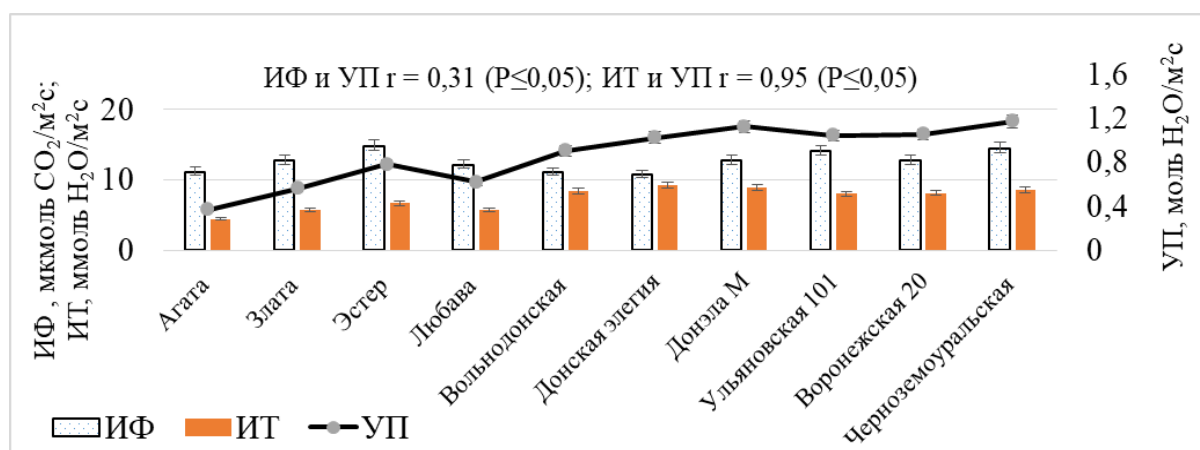


Рисунок 4 – Взаимосвязь интенсивности фотосинтеза (ИФ) и транспирации (ИТ) листьев с устьичной проводимостью (УП) листьев у различных сортов яровой пшеницы в фазу налива, 2017 г.

Поэтому оценивать генотипы по фотосинтетической активности и отбирать из них перспективные для селекции целесообразнее с учетом УП листьев, принимая во внимание условия вегетации, которые могут привносить существенные коррективы в работу.

Реакция фотосинтеза генотипов культуры на изменение погодных условий вегетации растений. В зависимости от погодных условий вегетации ИФ по сортам изменялась от 6,83 (2016 г.) до 13,79 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$ (2019 г.). Наиболее значимое влияние на фотосинтетическую активность генотипов яровой пшеницы оказывают температура воздуха, ИО и увлажнение почвы. В вегетационных опытах снижение влажности почвы с 70% до 30% от полной ее влагоемкости приводило у сортов культуры к падению интенсивности фотосинтеза листьев более чем в 15 раз.

Реакция фотосинтеза генотипов культуры на изменение светового режима вегетации растений. Установлено, что в зависимости от освещения ИФ листьев может меняться у сортов яровой пшеницы от 6,80 до 18,18 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$. Наибольшую отзывчивость проявляют те из них, которые формируют повышенную урожайность зерна. С возрастанием интенсивности света с 300 до 1800 мкмоль/ $\text{м}^2\text{с}$ у высоко- и среднеурожайных сортов культуры ИФ листьями растений увеличивается в среднем на 64,4%, тогда как у низкоурожайных всего на 47,4% (Рисунок 5).

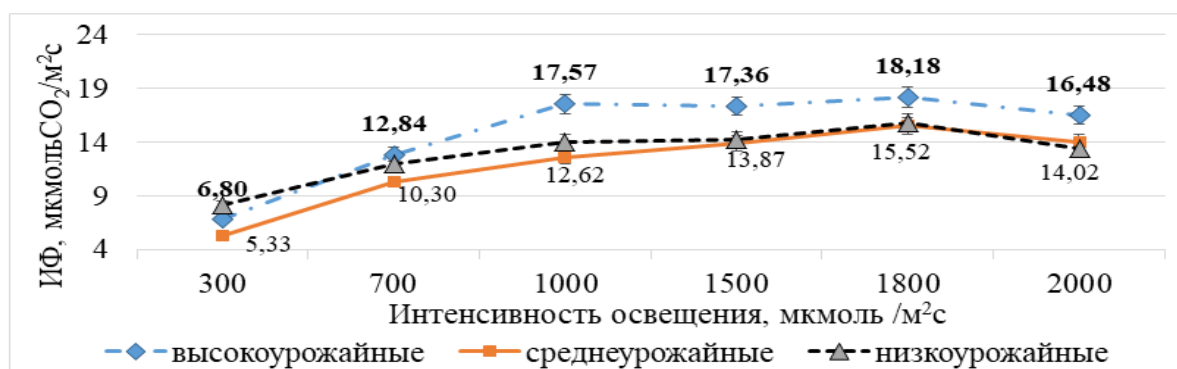


Рисунок 5 – Сортовая реакция интенсивности фотосинтеза листьев яровой пшеницы на изменение интенсивности освещения, 2017–2020 гг.

Сорта с выраженной реакцией на ИО будут лучше себя чувствовать прежде всего в регионах с высокой инсоляцией, что следует учитывать при их территориальном размещении, оптимизации нормы высева и при создании перспективных сортов для таких условий выращивания. С учетом этого нами разработан «Способ отбора светолюбивых генотипов яровой пшеницы» (патент РФ № 2685151 А 01 Н 1/04), который может быть использован и в селекции других культур.

В 2017 г. в Белгородском ГАУ в рамках совместного научного договора с Орловским ГАУ были начаты работы по созданию перспективного материала у яровой пшеницы на основе использования

показателей фотосинтетической активности листьев. Гибридизация проводилась по разработанной специальной схеме с использованием выделенных нами ранее источников высокой активности и эффективности фотосинтеза. В 2019 г. у 22 сформированных селекционных линий 3-х гибридных комбинаций (Кинельская Нива× Любава, Кинельская юбилейная × Кинельская Нива, Кинельская Нива × Дарья) в полевых условиях была проведена контрольная оценка ИФ и ИТ. По результатам этой оценки, из первой гибридной комбинации выделены 2 линии (105/2 и 105/5), из второй – четыре (106/4, 106/6, 106/7 и 106/8), а из третьей – две (157/5 и 157/10), имеющие преимущество по фотосинтетической активности перед родительскими формами.

4. ВИДОВЫЕ И СОРТОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОТОСИНТЕЗА, ТРАНСПИРАЦИИ И УСТЫЧНОЙ ПРОВОДИМОСТИ ЛИСТЬЕВ У ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

4.1. Видовые особенности фотосинтетической, транспирационной и устьичной активности листьев растений. У растений озимой пшеницы, как и у яровой, наибольшей активностью фотосинтеза отличаются листья верхних ярусов. Величина КВФХ флаговых листьев выше, чем предфлаговых и нижерасположенных в среднем на 40% и 63%, ЭТЦ – на 39% и 65%, а ИФ на 35,6% и 61,9% соответственно.

В онтогенезе наиболее высокая активность реакций световой фазы фотосинтеза отмечается у растений в фазе кущения, а затем наблюдается постепенный ее спад. ИФ меняется несколько иначе: ее значение вначале (с фазы кущения) заметно растет, достигая максимума в период «выход в трубку – цветение», а потом начинает выражено снижаться вплоть до молочно-восковой спелости зерновок, вопреки возрастанию спроса на ассимиляты.

В течение дня изменения КВФХ и ЭТЦ у растений озимой пшеницы существенно разнятся. ЭТЦ оставалась активной фактически на протяжении всего учетного времени светового дня. В то же время КВФХ был высоким лишь в утренние (7:00) и вечерние (19:00) часы, а в остальное время дня низким, особенно в период с 11:00 до 15:00. ИФ листьев наиболее активно проявляется у озимой пшеницы с 9:00 до 15:00, а затем резко снижается. В 19:00 ее значение у флаговых листьев растений было меньше чем в 13:00 в среднем на 43,3%.

Транспирационная активность и ее влияние на фотосинтез листьев. ИТ растений озимой пшеницы изменялась по годам вегетации от 2,99 до 9,32 ммоль Н₂О/м²с. Коэффициент корреляции в среднем за вегетацию между ИФ и ИТ у растений был значимым и варьировал от 0,45 до 0,55. Высокая сопряженность данных процессов отмечалась и по отдельным фазам роста, что оказывало значимое влияние на ЭИВ растениями, которая достигала максимальных значений в период

«цветение – молочно-восковая спелость». Между ЭИВ и ИФ корреляционная связь положительная, но слабо выражена ($r = 0,15$), а с ИТ она значима, но имеет отрицательный характер ($r = -0,66$). Это указывает на то, что ЭИВ в первую очередь зависит от ИТ растений, поэтому виды растений и генотипы сельскохозяйственных культур с умеренной ее активностью представляют наибольший интерес для производства в целом и для селекции в частности.

Устьичная проводимость и ее влияние на интенсивность фотосинтеза и транспирацию листьев растений. Связь УП с ИФ и ИТ листьев была положительной: коэффициент корреляции по годам вегетации составлял в фазе молочной спелости зерна 0,20 и 0,48 соответственно (Рисунок 6).

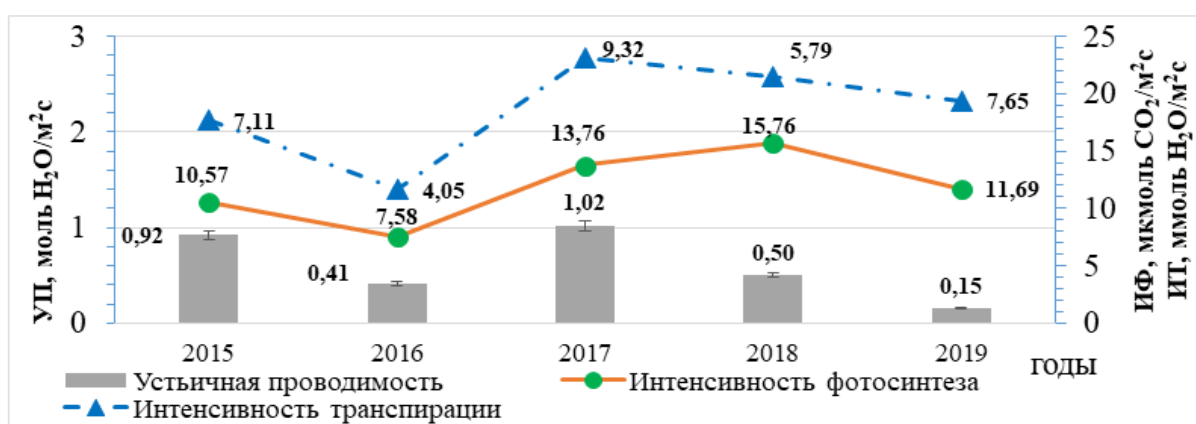


Рисунок 6 – Интенсивность фотосинтеза (ИФ), транспирации (ИТ) и устьичной проводимости (УП) листьев у растений озимой пшеницы

Заметное влияние УП на ИФ и ИТ отмечалось и в течение дня. Наиболее высокое ее значение фиксировалось в утренние часы – с 8:00 до 11:00 по московскому времени, а затем она постепенно снижалась. Аналогичным образом изменялись ИФ и ИТ (Рисунок 7).

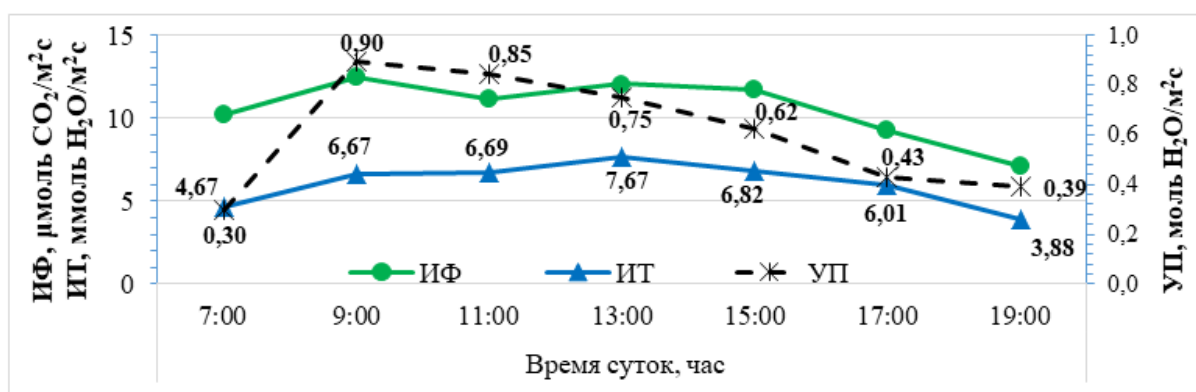


Рисунок 7 – Дневная динамика температуры воздуха, интенсивности фотосинтеза (ИФ), транспирации (ИТ) и устьичной проводимости (УП) листьев у растений озимой пшеницы, среднее за 2017–2018, 2020 гг.

Высокая зависимость ИФ и ИТ от УП отмечалось и по ярусам листьев. Коэффициент корреляции УП с ИФ у разных по расположению листьев достигал в годы исследования 0,97, а с ИТ 0,83.

Влияние погодных условий на фотосинтез листьев растений. Растениям озимой пшеницы, так же как и яровой, характерна высокая зависимость фотосинтеза от светового, температурного и водного режимов. В полевых условиях наибольшая активность световых реакций фотосинтеза листьев у растений культуры отмечалась в оптимальном по увлажнению 2019 г., а наименьшая – в относительно засушливых условиях вегетации 2018 г.

Данные по активности темновой фазы фотосинтеза несколько отличались. Наибольшая величина ИФ зафиксирована у растений культуры в 2017 и 2018 гг., тогда как в 2019 г. ее значение было в среднем на 25,0%, а в 2020 г. на 8,6% меньше, что было связано с неравномерным распределением осадков по вегетационному периоду.

Влияние интенсивности света на активность фотосинтеза листьев растений. Установлено, что у озимой пшеницы наибольший КВФХ достигается при освещенности 300 мкмоль/м²с, а затем резко снижается: при 700 мкмоль/м²с – в 2,6 раза, при 1500 мкмоль/м²с – в 4,3 раза, а при 2000 мкмоль/м²с – в 5,8 раза. Тогда как ЭТЦ при увеличении освещения с 300 до 700 мкмоль /м²с, наоборот, увеличивается (в среднем на 17,9%), оставаясь фактически на таком уровне при инсоляции в 1000 мкмоль/м²с, и лишь затем она начинает медленно снижаться: при достижении 1500 мкмоль/м²с – в среднем на 9%, а при 2000 мкмоль/м²с – на 14%.

Аналогичным образом меняется и ИФ листьев, значение которой увеличивалось почти в 2,0 раза при усилении ИО с 300 до 1000 мкмоль квантов/м²с, и лишь затем (при 1500 мкмоль квантов / м²с и выше) отмечается ее стабилизация с небольшим снижением. Коэффициент корреляции между ИФ и ИО составлял в онтогенезе 0,84, по разным ярусам листьев – 0,94, а в течение дня он был равен 0,65.

4.2. Сортовая специфика фотосинтетической активности листьев у озимой пшеницы. В годы исследования ИФ варьировала у сортов культуры от 11,69 до 15,93 мкмоль СО₂/м²с, КВФХ – от 0,122 до 0,152 отн. ед., ЭТЦ – от 51,40 до 63,64 отн. ед., УП – от 0,25 до 0,62 моль Н₂О/м²с, ЭИВ от 0,87 до 2,67 мкмоль СО₂/ ммоль Н₂О. Наиболее ярко различия между ними проявляются на уровне верхних (флаговых) листьев.

Коэффициент корреляции между ИФ и КВФХ был равен $r=0,32$, при $P \leq 0,05$. У сортов с высокой фотоактивностью листьев в среднем за вегетацию максимальное значение ИФ отмечалось в период массового налива зерновок, тогда как со средней фотоактивностью – во время цветения, а низкой – в фазе колошения.

Существенные различия по ИФ у сортов озимой пшеницы наблюдаются и в течение дня: отмечаются два пика ее активности – в 9:00

и 15:00 по московскому времени. Значение первого пика было в среднем на 6% больше, чем второго.

Экспериментальные данные свидетельствуют и о том, что активность и стабильность фотосинтеза сортов озимой пшеницы во многом связана с их происхождением. В относительно благоприятных метеоусловиях наибольшее значение интенсивности фотосинтеза (в среднем 25,63 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$) зафиксировано у сортов преимущественно южного происхождения, тогда как в более экстремальных погодных условиях большей интенсивностью фотосинтеза (18,41...18,16...16,57 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$) отличались сорта северного типа (Московского НИИСХ): Московская 40, Немчиновская 17 и Немчиновская 57.

Генотипическая специфика проявления транспирационной активности у растений культуры. В годы исследования связь между ИФ и ИТ изменялась у изученных сортов озимой пшеницы по фазам роста и периодам развития от отрицательной до положительной. Только в фазе молочко-восковой спелости она была достоверно положительной (r от 0,51 до 0,67). То есть не всегда высокой ИФ сорта соответствует активная ИТ и наоборот. К примеру, сорта Московская 39, Финезия, Глафира, Антонина, Бригада отличались высокой ИФ, но низкой ИТ.

Интервал генотипического варьирования показателя в среднем за вегетацию составлял в годы исследования 1,88...2,94 мкмоль $\text{CO}_2/\text{ммоль H}_2\text{O}$. Среди изученных сортов максимальным значением ЭИВ выделялись Московская 39, Донэра и Октава 15.

С урожайностью сорта данный показатель в среднем за вегетацию коррелировал не так сильно ($r = 0,37$). Более значимая связь ($r = 0,46$) отмечалась в фазе молочной спелости, когда между изучаемыми генотипами культуры проявляются наиболее выраженные различия по ЭИВ (Рисунок 8).

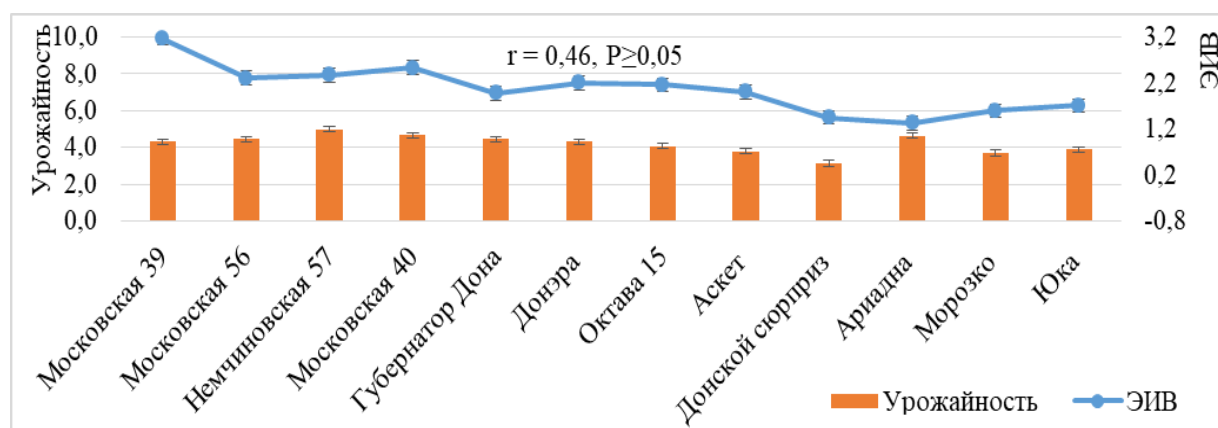


Рисунок 8 – Взаимосвязь урожайности (т/га) и эффективности использования воды (ЭИВ, мкмоль $\text{CO}_2/\text{ммоль H}_2\text{O}$) листьев у сортов озимой пшеницы в фазу молочной спелости, 2017–2019 гг.

Данные такого характера лишней раз подтверждают необходимость проведения оценки селекционного материала озимой пшеницы по ЭИВ.

Генотипическая специфика проявления устьичной проводимости листьев у растений культуры. В среднем за годы вегетации значение УП у сортов озимой пшеницы варьировало от 0,25 до 0,62 моль /м²с, оказывая положительное влияние на ИТ и ИФ. Коэффициент корреляции между УП и ИТ в фазе молочно-восковой спелости варьировал у опытных сортов по годам вегетации от 0,45 до 0,99. Влияние УП на ИФ листьев было слабее: коэффициент корреляции между показателями составлял в 2017 г. всего лишь 0,23; в 2018 г. он был равен 0,29, а в 2019 г. 0,23.

Реакция фотосинтеза генотипов культуры на изменение погодных условий вегетации растений. В зависимости от погодных условий вегетации среднее значение ИФ по сортам озимой пшеницы варьировала от 12,05 до 15,93 мкмоль СО₂/м²с. Значительные колебания по годам вегетации у сортов озимой пшеницы были обусловлены изменением температуры воздуха, влажности почвы и ИО. При этом проявляется ярко выраженная сортовая специфика. Наибольшими значениями ИФ в среднем за годы исследования характеризовались: Морозка (17,34 мкмоль СО₂/м²с), Московская 39 (16,81 мкмоль СО₂/м²с), Юка (16,22 мкмоль СО₂/м²с) и Ариадна (13,92 мкмоль СО₂/м²с), которые могут быть использованы в селекции культуры на повышение активности и эффективности фотосинтеза.

5. ВИДОВЫЕ И СОРТОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОТОСИНТЕЗА, ТРАНСПИРАЦИИ И УСТЬИЧНОЙ ПРОВОДИМОСТИ ЛИСТЬЕВ У ГОРОХА ПОСЕВНОГО

5.1. Видовые особенности фотосинтетической, транспирационной и устьичной активности листьев растений. У гороха посевного квантовый выход флуоресценции хлорофилла, активность электронно-транспортной цепи и интенсивность фотосинтеза верхних листьев в среднем на 11,4%, 12,1% и 2,8% выше по сравнению с листьями первого плодоносящего узла (средний ярус), и на 71,1%; 70,8% и 60,0% выше, чем у нижерасположенных, соответственно.

В онтогенезе наибольшая активность световых реакций фотосинтеза верхних листьев проявляется в период развития «9-10-и листьев – цветение», а затем (формирование и массовый налив бобов) заметно снижается (в среднем на 10,7%). Схожая динамика и ассимиляции СО₂ листьями. Ее активность вначале возрастает (в среднем на 19%) – до образования у растений плоского боба, а затем резко снижается – к фазе зеленой спелости бобов на 21,4%.

В онтогенезе ИФ листьев и прилистников резко возрастает при переходе растений к генеративному периоду развития, достигая максимума к концу цветения и массового образования плодов, что тесно

связано с их транспирацией: коэффициент корреляции был высоким и составлял 0,95 (достоверно при $P \leq 0,05$).

Транспирационная активность и ее влияние на фотосинтез листьев. В годы исследования ИТ листьев изменялась от 2,70 до 12,91 ммоль H_2O/m^2c , в том числе у листочков от 3,14 до 12,67 ммоль H_2O/m^2c , а у прилистников – от 2,25 до 13,45 ммоль H_2O/m^2c .

В онтогенезе растений ИТ листочками и прилистниками, как и ИФ, с началом вегетации увеличивается и устойчиво сохраняется вплоть до образования бобов, а затем постепенно снижается к фазе зеленой спелости бобов в 2,1 раза.

Во время дневного развития ИТ максимально проявляется в утренние и вечерние часы: в 8:00 ее значение у листочков составляет 6,04 ммоль H_2O/m^2c , а в 18:00 – 10,53 ммоль H_2O/m^2c ; у прилистников 5,62 и 5,41 ммоль H_2O/m^2c соответственно. Минимальные же значения активности процесса отмечались с 10:00 и до 16:00.

Особенности проявления устьичной проводимости листьев у растений культуры. УП листочков и прилистников растений гороха посевного по годам варьировала от 0,144 до 0,078 моль H_2O/m^2c . Наибольшая ее величина отмечалась у листьев генеративной сферы растений (0,11–0,12 моль H_2O/m^2c) в период массового плодообразования и налива семян, что тесно сопряжено с проявлением ИФ и ИТ.

В течение дня УП наиболее значима в утреннее время, что обеспечивает активное протекание и фотосинтеза, и транспирации (Рисунок 9).

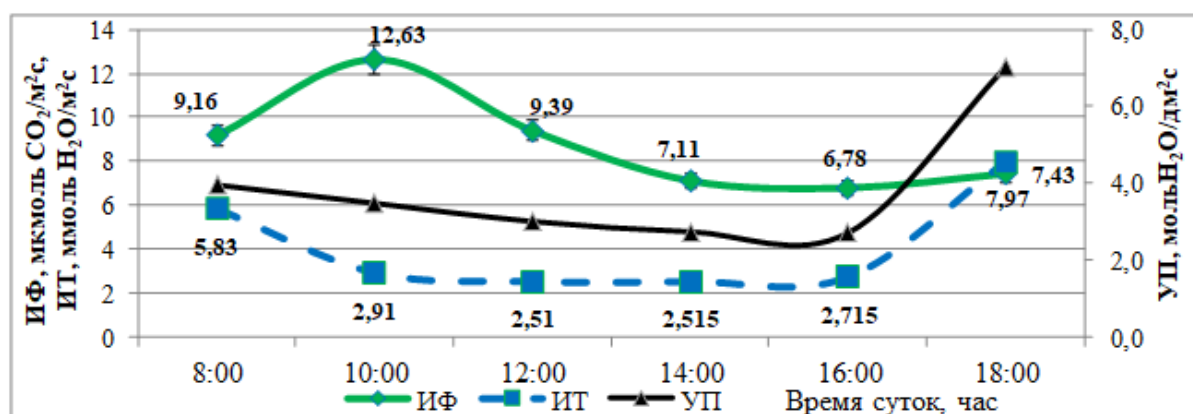


Рисунок 9 – Дневной ход устьичной проводимости, интенсивности фотосинтеза и транспирации прилистника и листочка у растений гороха посевного в фазе плоского боба, 2017–2020 гг.

То есть подтверждается, что УП листьев является у растений важным регулятором в поддержании баланса между ИФ и ИТ в постоянно меняющихся погодных условиях произрастания

Влияние погодных условий на активность фотосинтеза листьев растений. Значения КВФХ варьировало у растений гороха по годам вегетации – от 0,237 до 0,281 отн. ед., активности ЭТЦ – от 99,40 до 117,15

отн. ед., а ИФ – от 7,00 до 12,67 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$. Высокая вариабельность показателей фотосинтеза обусловлена их выраженной зависимостью от температурного, водного и светового режимов.

Влияние интенсивности света на фотосинтез листьев растений. Растения гороха посевного малотребовательны не только к теплу, но и к освещенности: в полевых условиях световое насыщение фотосинтеза листьев достигалось уже при ИО в 1000 мкмоль (квантов)/ $\text{м}^2\text{с}$. При этом наиболее отзывчивыми на увеличение ИО были у растений культуры прежде всего усики, ИФ которых увеличивалась в 4,4 раза и продолжала заметно расти вплоть до 1700 мкмоль/ $\text{м}^2\text{с}$. У листочков и прилистников при тех же изменениях ИО увеличение ИФ не так было выражено и составляло всего лишь 36,6% и 44,1% соответственно.

КВФХ был высоким только при низкой ИО: 300 мкмоль/ $\text{м}^2\text{с}$, а с ее повышением он резко убывал. ЭТЦ цепи, наоборот, при ИО 300 мкмоль/ $\text{м}^2\text{с}$ была самой низкой, а при ИО 1000-1500 мкмоль/ $\text{м}^2\text{с}$ – самой высокой.

Схожим образом изменялась ИТ и УП листьев. При изменении ИО с 300 до 1000 ммоль/ $\text{м}^2\text{с}$ наблюдалось возрастание ИТ у листочков и прилистников в среднем на 7,5%, а УП на 27,5%. При этом отмечаются существенные генотипические различия.

5.2. Сортовая специфика фотосинтетической активности листьев у гороха посевного. Показано, что у зернового гороха в результате селекции произошло значимое увеличение активности световых реакций фотосинтеза, в частности фотохимической активности хлоропластов (Амелин А.В., 2001). Аналогичные изменения нами выявлены и в селекции гороха полевого (пелюшки) (Чекалин Е.И., 2009; Амелин А.В. и др., 2018). Повышенной фотоактивностью хлоропластов отличаются и новые морфогенотипы «хамелеон» и «люпиноид». КВФХ в фазе плоского боба у «хамелеонов» и «люпиноидов» на 3,0 и 9,6 % выше, чем у безлисточковых (усатых) и листочковых морфогенотипов, соответственно. В годы исследования ИФ листьев варьировала по сортам культуры от 2,7 до 16,6 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$.

Генотипическая специфика проявления транспирационной активности листьев у растений культуры. У сортообразцов гороха посевного средняя величина ИТ изменялась в годы исследования от 2,25 до 7,39 ммоль $\text{H}_2\text{O}/\text{м}^2\text{с}$ у прилистников и от 3,14 до 5,48 ммоль $\text{H}_2\text{O}/\text{м}^2\text{с}$ у листочков. В онтогенезе растений наиболее выраженные генотипические различия по ИТ отмечались в период массового формирования плодов, когда ее активность достигает максимальных значений. При этом наиболее активно испаряют молекулы воды верхние листья растений, на уровне которых проявляются и наиболее выраженные генотипические различия.

Установлено, что ИТ листьев у сортов гороха посевного тесно связана с интенсивностью фотосинтеза ($r = 0,16...0,55$). Однако для производства важно создавать сорта культуры с высокой ЭИВ. Для этого в

качестве исходного перспективного материала важно использовать генотипы, характеризующихся высокой ИФ и умеренной ИТ. В 2018 г. такими свойствами отличались Инс-тип, Оптимус и Шеврон, а в 2019 г. Немчиновский 50, Шеврон и Таловец 70.

Генотипическая специфика проявления устьичной проводимости листьев у растений культуры. У сортов гороха посевного коэффициент корреляции УП с ИТ и ИФ в фазе плоского боба составлял +0,65 и -0,09 (при $P \leq 0,05$), соответственно.

Высокой УП характеризовались сорта Флагман 12 и Фрегат, которые могут быть рекомендованы для селекции на повышенную активность и эффективность фотосинтеза (Рисунок 10).

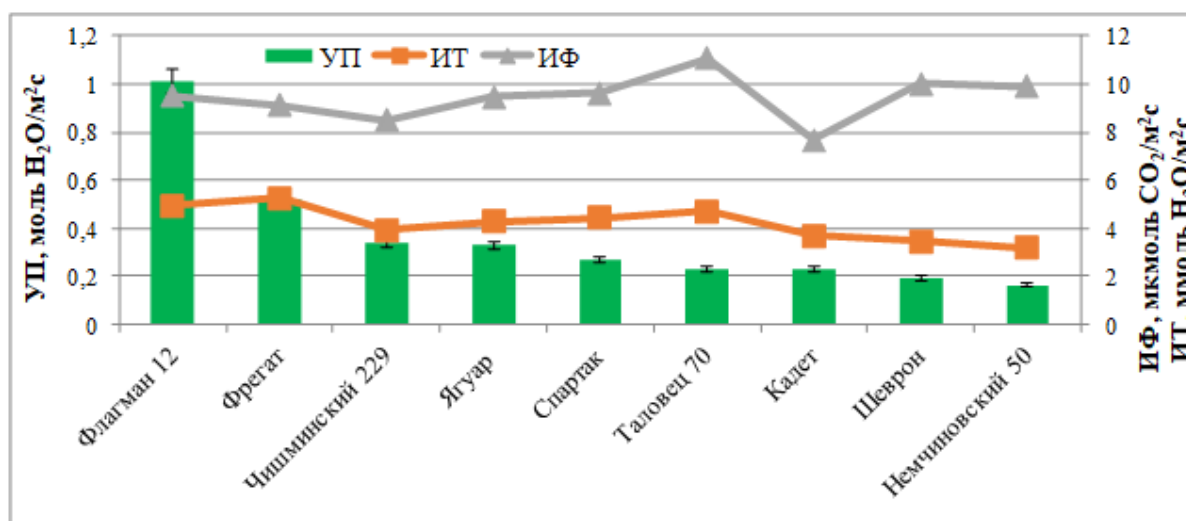


Рисунок 10 – Взаимосвязь устьичной проводимости (УП), интенсивности фотосинтеза (ИФ) и транспирации (ИТ) прилистников у различных сортов гороха в фазу плоского боба, по данным 2019 г.

Реакция фотосинтеза генотипов культуры на изменение погодных условий вегетации растений. ИФ листьев у сортообразцов гороха посевного является относительно зависимым признаком от погодных условий вегетации. В фазе плоского боба ее значение в 2011 г. было у изученных генотипов ниже, чем в 2010 и 2012 гг. в среднем на 25%.

Снижение ИФ листьев у сортов гороха посевного обусловлено прежде всего недостатком влаги и наличием высоких температур воздуха. Уменьшение влажности почвы с 70% до 30% от полной влагоемкости приводит к снижению ИФ у сортообразцов культуры в среднем 1,8 раза. При этом обычные листочковые сорта (Темп) отличаются более высокой стабильностью фотосинтетической активности листьев по сравнению с безлисточковыми (усатыми).

Реакция фотосинтеза генотипов культуры на изменение светового режима вегетации растений. Выраженная реакция фотосинтетической системы на ИО отмечалась у безлисточковых сортов

(Спартак и Гамбит): при усилении ИО с 300 до 1700 мкмоль/м²с ИФ прилистников увеличивается почти в 2 раза. Тогда как у обычных листочковых (Темп) ИФ листочков и прилистников возрастает только на 79%, а у морфотипа «хамелеон» – на 62%.

Наиболее выраженные различия между морфогенотипами гороха по реакции фотосинтеза на изменение инсоляции отмечаются при ИО 1000 мкмоль/м²с, когда начинает проявляться световое насыщение. У сортообразцов с усатой формой листа оно наступает при более высокой освещенности (по сравнению с традиционными листочковыми сортами).

6. ВИДОВЫЕ И СОРТОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОТОСИНТЕЗА, ТРАНСПИРАЦИИ И УСТЬИЧНОЙ ПРОВОДИМОСТИ ЛИСТЬЕВ У СОИ

6.1. Видовые особенности фотосинтетической, транспирационной и устьичной активности листьев растений. У культуры сои, так же как и у гороха посевного, более высокая активность фотосинтеза отмечается у листьев верхних ярусов растений (третьего сверху): КВФХ, ЭТЦ и ИФ были выше по сравнению с листьями средних ярусов в среднем на 33,1%; 47,3% и 41,1%, а нижних – на 83,0%; 83,1% и 78,5% соответственно.

Активность верхних листьев у растений культуры существенно возрастала по мере роста и развития растений, достигая пика во время формирования и массового налива плодов. В период развития «плоский боб – зеленая спелость бобов» КВФХ листьев был на 26,0% и 13,0%, а активность ЭТЦ на 14,4% и 6,4% выше, чем в фазе ветвления и цветения, соответственно.

Схожим путем в онтогенезе растений изменялась и ИФ листьями: вначале увеличивалась до образования у растений плоского боба (в среднем на 36,0%), а затем резко снижалась (в среднем на 43,2%) к фазе зеленой спелости бобов.

В течение дня КВФХ был высоким у растений лишь в утренние (8:00) и в вечерние (18:00) часы, а в остальное время (с 10:00 до 16:00) небольшим, ЭТЦ листьев оставалась высокой не только в утреннее и вечернее, но и в дневное время.

При этом ИФ листьев растений была слабо сопряжена с характером проявления световых реакций фотосинтеза: наблюдалось два пика ее активности – в 9:00 и 15:00 по московскому времени. Причем в 15:00 ИФ была в среднем на 7% выше.

Транспирационная активность листьев и ее влияние на фотосинтез. У растений сои ИТ листьев в фазе плоского боба варьировала по годам вегетации от 3,94 до 7,31 ммоль Н₂О/м²с. В онтогенезе ее активность резко возрастает при переходе растений к генеративному периоду развития, достигая максимума к фазе массового образования плодов, когда наиболее существенно протекают биосинтетические процессы. При переходе

растений от фазы бутонизации к фазе формирования плоского боба отмечается увеличение ИТ в среднем на 40,4%, а к моменту полного формирования семян в бобах (фаза зеленой спелости) ее величина, наоборот, снижалась на 48,2%.

При этом между ИТ и ИФ листьев установлена тесная положительная связь, которая четко проявляется на протяжении всего вегетационного периода развития растений. Коэффициент корреляции между двумя этими показателями составлял в среднем за вегетацию +0,91 (при $P \leq 0,05$). Наибольшей ИТ обладают листья, прежде всего расположенные в верхнем ярусе растений. В фазе плоского боба ИТ (3-4 узел главного побега сверху) в 2,2 раза выше по сравнению с ниже расположенными (5-й узел снизу).

В течение дня наибольшей ИТ листьев растений была с 9:00 до 13:00, в этот период ИТ на 19,9% выше, чем в утренние часы (с 7:00 до 8:00) и на 42,3% – в послеобеденное время (с 15:00 до 17:00). При этом выявлена тесная ее связь с ИФ листьев. Коэффициент корреляции между ИФ и ИТ листьев составлял +0,68 (при $P \leq 0,05$).

Устьичная проводимость и ее влияние на интенсивность фотосинтеза и транспирацию листьев растений. По экспериментальным данным вегетационных опытов, у растений вида *Glycine max* (L.) Merr. наиболее заметно проявляется активность устьица листьев в период плодообразования и массового налива семян, а затем начинает медленно снижаться, достигая минимальных значений к фазе зеленой спелости бобов, что тесно сопряжено с динамикой ИФ и ИТ.

Коэффициент корреляции УП с ИТ и УП с ИФ листьев составлял +0,78 и +0,63 соответственно, а в полевых опытах его значение по фазам роста варьировало от 0,48 до 0,62 (при $P \leq 0,05$).

В течение дня максимальные значения УП отмечаются в период между 8:00 и 10:00 по московскому времени, а затем устойчиво снижаются, достигая минимума к 17:00. Во многом схожим образом изменяются ИФ и особенно ИТ.

Влияние погодных условий на фотосинтез листьев растений. В зависимости от условий года вегетации активность световых реакций фотосинтеза листьев растений сои изменяется по-разному. Наибольший КВФХ (0,763 отн.ед.) зафиксирован в 2011 г. в фазе плоского боба, а наименьшее его значение (0,310 отн.ед.) отмечалось в 2018 г. В то же время ЭТЦ в 2011 г., наоборот, была минимальной (75,94 отн.ед.), а в 2018 г. максимальной (128,65 отн.ед.). ИФ от условий года зависела в меньшей степени и изменялась в пределах 20%. На ее варьирование значительное влияние оказывали не только температура воздуха и увлажнение ($r = -0,30$), но и освещенность.

Влияние интенсивности света на фотосинтез листьев растений. Показано, что с повышением ИО у растений сои резко растет и ИФ

листьев, а ее стабилизация наступает, когда ИО листьев достигает уровня 1700...2000 мкмоль/м²с. При этом значение КВФХ высокое только при низкой ИО: 300 мкмоль (квантов)/м²с, а с ее повышением резко убывает – в среднем на 79,6% при достижении ИО 2000 мкмоль (квантов)/м²с. Активность же ЭТЦ, наоборот, при освещенности 300 мкмоль (квантов)/м²с самая низкая, а при 1000 мкмоль (квантов)/м²с – самая высокая (увеличение составляет в среднем 43,1%), что тесно сопряжено с проявлением ИФ (Рисунок 11).

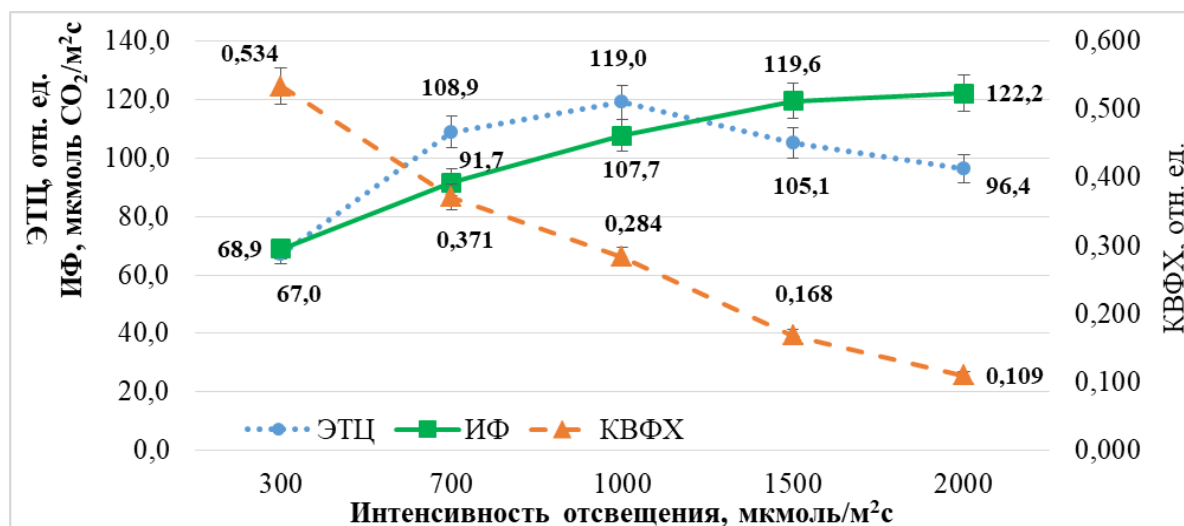


Рисунок 11 – Квантовый выход флуоресценции хлорофилла (КВФХ), интенсивности фотосинтеза (ИФ) и активность электронно-транспортной цепи (ЭТЦ) листьев сои в зависимости от режима освещения в фазе плоского боба, среднее за 2011, 2017–2018 гг.

В онтогенезе коэффициент корреляции между ИФ и ИО в фазе плоского боба был равен 0,69, а в течение дня его значение достигало 0,76. При этом отмечаются ярко выраженные генотипические различия.

6.2 Сортовая специфика фотосинтетической активности листьев у культуры сои. В годы исследования средняя величина ИФ по сортам изменялась от 1,65 до 16,75 мкмоль СО₂/м²с. В онтогенезе наиболее значимо проявлялись генотипические различия во время массового образования плодов на уровне верхних листьев растений, когда резко возрастает спрос на ассимиляты.

Значимые генотипические различия фиксируются и в дневной динамике фотосинтеза, которые наиболее ярко проявляются с 9:00 и до 15:00 по московскому времени.

Генотипическая специфика проявления транспирационной активности листьев у растений культуры. Значение ИТ варьировало по сортообразцам от 1,88 до 12,68 ммоль Н₂О/м²с. В онтогенезе генотипические различия по ИТ листьев проявлялись в фазе плоского боба. Самой высокой ИТ в это время отличались сорта рязанской и белорусской

селекции, по величине данного показателя они превосходили орловские, белгородские и воронежские сорта в среднем на 11%.

При этом установлено, что у сортообразцов сои между ИТ и ИФ листьев существует весьма высокая положительная связь (r от +0,83 до +0,98, при $P \leq 0,05$). Однако не всегда высокой ИФ соответствует высокая ИТ, что оказывает существенное влияние на ЭИВ. К примеру, в 2010 засушливом году сорт Окская и Магева имели повышенную ИФ при относительно небольшой ИТ, что позволяло им эффективно использовать воду в период налива бобов.

Генотипическая специфика проявления устьичной проводимости листьев у растений культуры. Интервал генотипического варьирования УП углекислого газа листьями растений сои находился в диапазоне от 0,07 до 1,42 моль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$. В онтогенезе УП листьев проявляется у сортообразцов по-разному: у одних (Белгородская 8, Самер 4) она наиболее активна в фазе ветвления, у других (Белгородская 48) – в фазе бутонизации, у третьих (Зуша) – в фазе цветения, у четвертых (Казачка, Белгородская 7) – в фазе плоского боба. Между УП и ИФ листьев у сортообразцов сои выявлена существенная положительная корреляция, которая изменялась по фазам роста от 0,48 до 0,62 (при $P \leq 0,05$).

В силу этого УП листьев оказывает значительное влияние и на важные полезно-хозяйственные признаки сортов сои, в частности на урожайность. У изученных 78 коллекционных образцов культуры коэффициент корреляции между УП и урожайностью семян был в годы исследования 0,54 (при $P \leq 0,05$), что указывает на важность использования данного показателя в селекции.

Реакция фотосинтеза генотипов культуры на изменение погодных условий вегетации растений. ИФ листьев в 2015 г. варьировала по сортам от 1,65 до 14,18 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$, в 2016 г. – от 2,96 до 16,75 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$, в 2017 г. – от 7,89 до 11,34 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$, а в 2018 г. – от 7,78 до 16,60 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$. Наиболее заметное влияние на показатели фотосинтетической активности листьев сортов сои оказывает прежде всего увлажнение: при изменении влажности почвы с 70% до 30% от полной влагоемкости у сортов культуры резко снижаются все показатели фотосинтеза и транспирации: ИФ в среднем на 50,9%; КВФХ – на 37,3%; ЭТЦ – на 35,8%; ФХТХ – на 24,3%; ИТ – на 22,0%.

Реакция фотосинтеза генотипов культуры на изменение светового режима вегетации растений. Показано, что среди генотипов сои есть сорта как с высокой отзывчивостью листьев на увеличение ИО, так и низкой. Генотипические различия начинают проявляться при ИО 700 мкмоль квантов света/ $\text{м}^2\text{с}$, а при дальнейшем ее повышении только усиливаются. Среди опытных сортов наиболее активно реагируют на ИО Ланцетная, Свапа, Мезенка, а самой сдержанной реакцией характеризуются Осмонь и Зуша. Причем у первых трех сортов полное

насыщение ИФ светом наступало при ИО 1500 квантов света/м²с, тогда как у двух других при 1000 квантов света/м²с

Положительно реагируют сорта сои и на увеличение концентрации углекислоты: 2-кратное ее увеличение от нормального уровня (0,033%) приводило к удвоению ИФ их листьев. Среди изученных сортов наибольшей отзывчивостью на повышение концентрации молекул углекислоты выделяется сорт Магева (Рисунок 12).

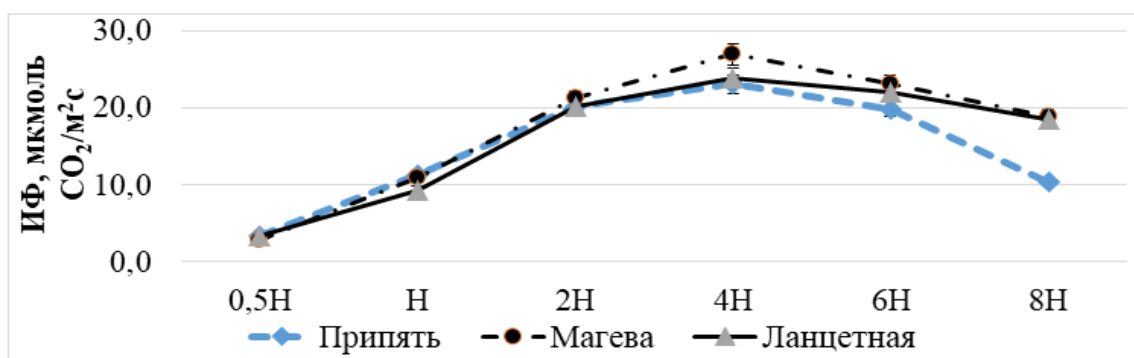


Рисунок 12 – Зависимость интенсивности фотосинтеза (ИФ) сортов сои от концентрации CO₂ в воздухе, 2011–2012 гг.

Итак, генофонд культуры сои характеризуется широким генетическим полиморфизмом показателей фотосинтетической активности, что дает возможность проводить по ним целенаправленный отбор. При оценке исходного материала в обязательном порядке следует учитывать фазу роста, ярусную изменчивость и время суток. Также необходимо учитывать и зависимость показателей фотосинтетической активности листьев от погодных условий вегетации, которые заметно влияют на их проявление.

6.3. Фотосинтетическая активность листьев у растений кормовых бобов и чечевицы обыкновенной

Кормовые бобы. В годы исследования значение КВФХ в фазе зеленой спелости бобов варьировало по сортообразцам от 0,377 до 0,747 отн. ед., а ФХТХ – от 0,379 до 0,749 отн. ед. По КВФХ выделялись образцы к-1736, сРиге, сорта Пикантные и Винздорские, а по ИФ листьев образец к-1463. Между ИФ и ИТ коэффициент корреляции положительный и составляет 0,56.

Чечевица обыкновенная. По величине КВФХ генотипы чечевицы обыкновенной различались в диапазоне от 0,37 до 0,73 отн. ед. Из них наиболее высокой КВФХ характеризуются образцы 192/08 и 199/08, а по ФХТФХ – 192/08 и 199/08. Между КВФХ и ФХТФХ установлена высокая корреляционная связь: $r=0,92$ (при $P \leq 0,05$). Интервал генотипического варьирования ИФ листьев находился в диапазоне от 2,31 до 10,01 мкмоль CO₂/м²с. Коэффициент корреляции между ИФ и ИТ составляет 0,61 (при $P \leq 0,05$).

7. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ, СПОСОБЫ ОЦЕНКИ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА И ОТБОРА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ФОРМ

Анализ литературных данных и результатов собственных экспериментов дают основание заключить, что накопленные научные знания и достигнутые результаты самой селекцией позволяют в настоящее время проводить целенаправленную селекцию на повышение активности и эффективности фотосинтеза, в котором скрыты огромные потенциальные резервы.

Для этого необходимо владеть научно обоснованными методическими подходами и эффективными способами их учета при оценке исходного материала и отборе из него перспективных форм.

7.1. Отбор перспективного исходного материала по показателям фотосинтетической активности. При схожих свойствах фотосинтетической системы растений у сельскохозяйственных культур проявляются выраженные видовые различия, которые необходимо учитывать в селекции. В частности, растения зернобобовых культур на единицу листовой поверхности более активно поглощают, переносят и преобразуют кванты света, но хуже ассимилируют молекулы CO_2 из воздуха, по сравнению с зерновыми. Но из-за формирования площади листьев в 2–3 раза (горох) и в 5–8 раз (соя) больше, чем у зерновых культур, потенциальные возможности их растений значительно выше не только по КВФХ и ЭТЦ, но и ИФ. Вероятнее всего, это связано с тем, что в семенах бобовых образуется больше энергоемких веществ (у гороха белка в 1,4 раза; у сои белка в 2,4 раза, а жира в 12–15 раз), чем в зерне яровой и озимой пшеницы. К тому же зернобобовые культуры обладают способностью симбиотической азотфиксации, на которую также дополнительно тратится большое количество энергии (Кретович В.Л., 1987), что следует учитывать как в технологии возделывания культур по регионам, так и в селекции.

Световые и темновые реакции фотосинтеза листьев у зерновых и у зернобобовых культур имеют широкий интервал варьирования и высокую генотипическую обусловленность, что позволяет эффективно проводить по ним целенаправленную селекционную работу. По ЭТЦ генотипы озимой и яровой пшеницы, сои и гороха посевного различаются в среднем в 2 раза, по КВФХ – в 2–3 раза, по ИФ – в 2–4 раза, по ИТ – в 3–12 раз, по УП – в 3–10 раз, по ЭИВ – в 2–10 раз.

Наиболее существенные генотипические различия по активности реакций световой и темновой фазы фотосинтеза проявляются на уровне листьев верхних ярусов, на которые ложится основная нагрузка в обеспечении формирующихся семян фотоассимилятами. В онтогенезе наиболее значимые сортовые различия по ИФ отмечаются в период формирования и массового налива зерновок, когда спрос на фотоассимиляты достигает максимальных значений. В течение дня генотипические различия у

зерновых культур наиболее выражены в основном с 8:00 до 11:00, а у зернобобовых с 9:00 до 15:00 по московскому времени.

На основании вышеизложенного предлагается следующий методический порядок проведения оценки исходного материала по показателям фотосинтеза и вовлечения его в селекцию (Таблица 1).

Таблица 1 – Методический порядок проведения оценки исходного материала по показателям фотосинтеза

Параметры условий	Горох посевной	Соя	Пшеница озимая	Пшеница яровая
Для оценки в полевых условиях используют интактные типичные растения без видимых повреждений листьев				
Положение листа на растении	лист на первом плодоносящем узле	3 лист сверху генеративной части главного стебля	флаговый лист	флаговый лист
Фаза роста	плодообразование			
Время измерения (по местному времени)	с 8:00 до 11:00 часов	с 9:30 до 12:30 часов	с 8:00 до 11:00 часов	с 8:00 до 11:00 часов
Интенсивность освещения, мкмоль/м ² с	1000			
Количество растений, шт	5-7			

Для проведения данной работы предлагается ряд оригинальных способов оценки генофонда и отбора перспективного исходного материала.

Отбор по интенсивности фотосинтеза листьев (патент РФ № 2626586). Работа осуществляется в полевых условиях на интактных растениях с помощью переносного газоанализатора. Измерения проводятся на листьях, расположенных на первом плодоносящем узле, в фазе плодообразования с 8:00 до 11:00 по местному времени. Предлагаемый способ дает возможность за один прием оценить экспресс-методом 50-60 образцов.

Отбор по устьичной проводимости (патент РФ № 2685151). Изобретение основано на связи УП листьев с ИФ и ИТ листьев и, как следствие, с урожайностью. Коэффициент корреляции между УП и урожайностью семян у сорта составлял + 0,54 (при $P \leq 0,05$).

Отбор на светолюбивость (патент РФ № 2694197). Предлагаемый способ отбора основан на определении предельных значений ИФ растений культуры в зависимости от изменения ИО. Оценку исходного материала осуществляют в фазе молочной спелости зерновок. Измерение ИФ листьев проводят при 3-х режимах ИО: низком – 300, оптимальном – 1000 и высоком – 1800 мкмоль квантов/м²с. Для измерения отбирают 5–7 типичных для генотипа растений, произрастающих в середине делянки, у

которых листья не имеют повреждений вредителями и поражений болезнями.

Отбор по эффективности использования воды рекомендуется проводить на основе «Способа отбора генотипов пшеницы озимой с повышенным содержанием в зерне белка и клейковины по эффективности использования воды» (патент РФ № 2720426). Предлагаемый способ основан на оценке генотипов озимой пшеницы по ЭИВ методом расчета соотношения ИФ к ИТ и отборе генотипов с повышенным содержанием в зерне белка и клейковины. Между ЭИВ и качеством зерна установлена существенная положительная корреляция: 0,60 – с белком и 0,41 – с клейковиной (при $P \leq 0,05$).

Отбор на повышенное содержание углекислого газа в воздухе (патент РФ № 2740216). В основе изобретения лежит оценка и отбор генотипов, отзывчивых на повышенное содержание углекислого газа, путем определения предельных значений ИФ растений в зависимости от концентрации углекислого газа в воздухе. Коэффициент корреляции между ИФ и концентрацией CO_2 в воздухе изменяется от 0,78 до 0,87.

Данный способ, как и предыдущие, можно успешно применять при оценке генетических ресурсов и отборе перспективных форм и у других сельскохозяйственных культур.

7.2. Перспективный селекционный материал и источники высокой активности и эффективности использования энергии фотосинтеза.

Озимая пшеница. В качестве перспективного исходного материала рекомендуются следующие сортообразцы: на повышенную ИФ – Бригада, Джангаль, Лютесценс 3608, Глафира, Немчиновская 17, Черноземка 115, Морозко; на повышенную активность первичных реакций фотосинтеза – Аскет, Ариадна и Московская 56; на повышенную эффективность фотосинтеза – Октава 15, Черноземка 130; на повышенную ЭИВ – Московская 39, Финезия, Глафира, Антонина, Бригада; на качество урожая зерна – Московская 39, Московская 40, Аскет, Бригада.

Яровая пшеница. В качестве перспективного исходного генетического материала рекомендуются следующие сортообразцы: на повышенную ИФ – Йолдыз, Добрыня, Хайкар, Злата, Золотая; на повышенную активность первичных реакций фотосинтеза – Арсея и Воронежская 20; на высокую ЭИВ растениями на фотосинтез листьев – Арсея и Воронежская 20; на повышенную УП листьев – Воронежская 20, Вольнодонская, Донская элегия.

Горох посевной. В качестве перспективного исходного материала рекомендуются следующие сортообразцы: на высокую фотосинтетическую активность листьев – листочковая форма Рас 657/7, сорта Витязь, Ягуар, Кадет и Таловец 70, а также безлисточковые Гамбит, Фараон, Клеопатра, Спартак; на высокую эффективность фотосинтеза – Инс-тип, Оптимус, Шеврон; на повышенную УП листьев – Инс-тип, Оптимус, Шеврон,

Немчиновский 50, Шеврон и Таловец 70; на высокую, стабильную и качественную урожайность в условиях глобального изменения климата – Спартак, Фараон, Гамбит.

Соя. В качестве перспективного исходного материала рекомендуется следующие сортообразцы: на высокую фотосинтетическую активность листьев Самер 5, Зуша, Славяночка, Самер 4, Белгородская 7, Светлая, Окская, Белгородская 48, Ланцетная, Георгия, Мезенка; на высокую эффективность фотосинтеза: Мезенка, Зуша, Ланцетная, Георгия и Самер 2, Лада, Алтом, MON-21, Envy, Свапа; на повышение устьичной проводимости – Белгородская 7, Белгородская 8, Мезенка, Ланцетная, Зуша, Самер 2; на адаптивность – Свапа, Самер–4, Припять, Белгородская 7; на высокую урожайность семян – Белгородская 48, Воронежская 31, Свапа, Окская, Зуша; с высоким содержанием белка и жира – Самер 2, Зуша, Шатиловская 17, Мезенка, Ланцетная и Свапа.

Чечевица обыкновенная и кормовые бобы. В селекции чечевицы обыкновенной на повышенную активность первичных реакций фотосинтеза и ИФ в качестве перспективного исходного материала рекомендуются образцы 192/08 и 199/08.

В селекции кормовых бобов на повышенную фотосинтетическую активность листьев в качестве источников высокой интенсивности первичных реакций предлагаются сортообразцы Пикантные, сPire, к-1736 и Винздорские белые, а источниками высокой ИФ листьев могут служить сорта Омар, Огонек, Янтарные и образец к-1463.

7.3. Связь производственно-экономических показателей сорта с фотосинтетической деятельностью растений зерновых и зернобобовых культур. Селекционная работа по созданию новых высокоурожайных сортов должна базироваться на глубоких знаниях внутренней физиолого-биохимической природы продукционного процесса, который тесно связан с эффективностью фотосинтеза зеленых растений (Ничипорович А.А., 1979; Николаева Е.К., 1983; Ort D. et al., 2015).

Взаимосвязь урожайности и качества зерна с показателями фотосинтеза растений. Изучение показателей фотосинтеза у растений культуры гороха посевного показало тесную взаимосвязь ИФ с урожайностью генотипов ($r = 0,567$). У современных сортов сои выявлена тесная корреляционная связь между урожайностью и УП листьев, которая составляла в годы исследования 0,54, а между урожайностью и ИФ имеет среднюю, но положительную связь на уровне от 0,31 до 0,60 (при $P \leq 0,05$).

Таким образом, для создания сортов сельскохозяйственных растений, формирующих высокий и стабильный урожай в разных условиях выращивания, значение имеет эффективное использование культурными растениями энергии солнечного света. А выделение генотипов и сортов для целенаправленной селекции позволит более эффективно использовать

биологический потенциал культуры и биоклиматические ресурсы зоны ее производства.

Экономическая и социальная значимость полученных результатов исследования. Экономическая оценка показала, что прибавка урожая у сортов гороха посевного с высокой ИФ может достигать 18% или 0,55 т/га. В условиях производства это позволяет получить прибыль от реализации товарного зерна на 66%, а от реализации семян на 24% больше. У сортов сои с высокой УП прибавка урожая может достигать 38,0%, а рентабельность производства 70,3%, прибыль от реализации товарного зерна увеличивается на 91,0%, а от реализации семян на 48%. Сорты озимой пшеницы с высокой ЭИВ формировали урожай с более высоким содержанием белка (на 1,35%) и с большим содержанием клейковины (на 3,63%), что позволит производителям увеличить прибыль от реализации товарного зерна на 59%, а рентабельность производства – на 23%.

В целом, целенаправленная селекция зерновых и зернобобовых культур на повышение активности и эффективности фотосинтеза растений даст возможность повысить их урожайность на 15–20%, а разработанные способы и методы отбора позволят существенно сократить время и трудоемкость самого селекционного процесса: период создания новых сортов сократится на 1–2 года.

Внедрение результатов исследований в селекцию, производство и образование. С целью практической реализации идеи проекта по созданию высокопродуктивных генотипов гороха с принципиально новым физиологическим статусом и для определения особенностей наследования физиологических признаков выделенные образцы были вовлечены в гибридизацию по стандартной методике. Всего проведено 8 комбинаций парных скрещиваний. Полученные гибриды отличались высокой интенсивностью фотосинтеза в интервале от 7 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$ у Фараон х Спартак и до 9,5 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$ – у Пап 485/4 х Фараон. По эффективности поглощения энергии света интервал варьирования КВФХ составил 0,64–0,73. Совместная работа по оценке и изучению перспективного генетического материала по показателям фотосинтетической деятельности, а также по показателям продуктивности и биохимическому качеству зерна позволила создать и зарегистрировать сорт гороха посевного Оптимус (авторское свидетельство №61033), районированный по Северо-Западному, Западно-Сибирскому регионам страны.

В рамках работы по сое совместно с селекционером ФГБНУ ФНЦ ЗБК Зайцевым В.Н. была оценена коллекция перспективных сортов и генотипов культуры по показателям качества зерна и фотосинтетической деятельности растений, что послужило основой для выведения сорта сои Мезенка (авторское свидетельство №61032).

В результате проведенной оценки перспективных сортов озимой пшеницы нами были выделены истоки по комплексу полезно-хозяйственных признаков. Была предложена схема скрещивания выделенных генотипов для создания адаптивных сортов совместно с селекционерами Белгородского ГАУ. В результате скрещивания данных сортов были получены гибриды, которые в настоящий момент находятся в селекционной проработке. Оценка перспективного генетического материала Белгородского ГАУ по яровой пшенице показала широкое варьирование генотипов по показателям фотосинтеза, позволила выделить родительские формы и составить схемы скрещивания. Из них выделены гибридные линии, которые по активности и эффективности фотосинтеза превышают или не уступают родителям. Их можно рекомендовать для дальнейшей селекции культуры по созданию сортов нового поколения – с повышенной активностью и эффективностью фотосинтеза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Фотосинтетическая активность листьев растений зерновых и зернобобовых культур по многим параметрам проявляется схожим образом: в онтогенезе вначале возрастает, а затем падает. При переходе растений к генеративному развитию интенсивность фотосинтеза листьев увеличивается в среднем на 19%, а к фазе восковой спелости снижается в среднем на 52%. При этом наиболее активно фотосинтезируют верхние листья растений: по активности первичных реакций фотосинтеза и ассимиляции молекул CO_2 они превосходят нижерасположенные у зерновых культур в среднем на 60,2% и 38,0%, а у зернобобовых – на 64,5% и 9,5% соответственно.

2. Наиболее высокая фотосинтетическая активность листьев растений у зерновых и зернобобовых культур отмечается в оптимальных погодных условиях вегетации, тогда как при их ухудшении она снижается в среднем на 34%, что указывает на необходимость повышения адаптивных свойств возделываемых сортов.

3. Из факторов среды наиболее негативное воздействие на фотосинтетическую активность листьев растений зерновых и зернобобовых культур оказывают увлажнение почвы и температура воздуха. Снижение влажности почвы с 70% до 30% от полной ее влагоемкости приводит к падению интенсивности фотосинтеза листьев: у сортов яровой пшеницы более чем в 1,5 раз; у озимой пшеницы в полевых условиях на 33,6–52,7%; у гороха посевного – в среднем в 1,8 раза; у сортов сои – в среднем на 50,9%. Коэффициент корреляции между интенсивностью фотосинтеза и температурой воздуха варьировал у яровой пшеницы и озимой пшеницы от –0,31 до –0,56; у сои и гороха посевного: от –0,66 до –0,23.

4. Повышение интенсивности света и концентрации углекислоты в воздухе благоприятно сказывается на активности фотосинтеза. Коэффициент корреляции между интенсивностью фотосинтеза и

интенсивностью освещения был равен: у озимой пшеницы +0,90; у яровой пшеницы +0,82; у гороха посевного +0,85; у сои + 0,82.

5. Из эндогенных факторов на проявление активности фотосинтеза у зерновых и зернобобовых культур значительное влияние оказывают транспирация и устьичная проводимость листьев. В годы исследования коэффициент корреляции между интенсивностью фотосинтеза и интенсивностью транспирации был положительным и изменялся у зерновых культур от 0,30 до 0,67, а у зернобобовых от 0,36 до 0,91; с устьичной проводимостью его значение варьировало у зерновых культур от 0,20 до 0,97; у зернобобовых от 0,48 до 0,65.

6. Видовые различия по фотосинтетической активности листьев выражаются в том, что по интенсивности протекания реакций световой фазы фотосинтеза зернобобовые культуры существенно превосходят зерновые: в среднем за вегетацию по квантовому выходу флуоресценции хлорофилла листьев соя и горох посевной превышают яровую и озимую пшеницу на 62,0%, а по активности электронно-транспортной цепи на 26,8%. Превосходство зернобобовых культур над зерновыми сохраняется на протяжении всего периода вегетации, но наиболее ярко проявляется в период генеративного развития.

7. Зернобобовые культуры, особенно соя, выделяются активным поглощением и эффективным усвоением энергии квантов света и в течение дня. Их превосходство над зерновыми культурами наиболее значимо проявляется у сои с 8:00 до 18:00, а у гороха посевного с 14:00 до 18:00 по московскому времени.

8. По интенсивности фотосинтеза на единицу поверхности листьев зернобобовые культуры существенно уступают зерновым: в фазе цветения в среднем на 34%, а в фазе налива на 14%. Но вследствие формирования у растений большей площади листьев (у гороха в 2-3 раза, у сои в 5-8 раз) по сравнению с зерновыми они имеют значительно более высокие потенциальные возможности не только поглощать и усваивать кванты солнечного света (в среднем на 41%), но и ассимилировать CO_2 из воздуха (в среднем на растение на 93%).

9. Зерновые культуры характеризуются и повышенной реакцией фотосинтеза на усиление инсоляции. При освещенности в $1000 \text{ мкмоль/м}^2\text{с}$ интенсивность фотосинтеза листьев в фазе плодообразования у них была на 74%, а при $1700 \text{ мкмоль/м}^2\text{с}$ на 76% выше, чем у зернобобовых культур. У зерновых наиболее отзывчива на повышение интенсивности света яровая пшеница, а у зернобобовых – соя, что указывает на их высокую светолюбивость и на необходимость учета этого в их селекции и при размещении по регионам возделывания.

10. У зерновых и зернобобовых культур показатели фотосинтетической активности листьев растений характеризуются широким генетическим полиморфизмом, что дает возможность эффективно

проводить по ним целенаправленную селекционную работу. В среднем за вегетационный период диапазон генотипической изменчивости активности электронно-транспортной цепи составлял: у озимой пшеницы 50,2–119,3; яровой пшеницы 56,3–128,9; гороха посевного 78,5–160,6; у сои 101,8–151,2 отн. ед. Значение квантового выхода флуоресценции хлорофилла варьировало по сортам: у озимой пшеницы от 0,120 до 0,284; у яровой пшеницы от 0,134 до 0,307; у гороха посевного от 0,100 до 0,383; у сои от 0,260 до 0,357 отн. ед. Интенсивность фотосинтеза изменялась по сортам: у яровой пшеницы от 8,73 до 17,15; у озимой пшеницы от 10,97 до 25,63; у гороха от 7,27 до 21,38; у сои от 6,12 до 14,38; у чечевицы от 2,31 до 10,01; у кормовых бобов от 1,35 до 4,19 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$.

11. В онтогенезе сортовые различия по активности реакций фотосинтеза у зерновых и зернобобовых культур отмечаются уже на ранних этапах развития и наиболее значимо проявляются в период генеративного развития растений, когда спрос на фотоассимиляты существенно возрастает, а приход ФАР в регионе достигает максимального значения. В период формирования и налива семян интенсивность фотосинтеза на единицу площади листьев растений у сортов зерновых культур варьировала в диапазоне от 8,73 до 25,63, а у зернобобовых от 6,12 до 21,38 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$.

12. В течение дня генотипические различия по интенсивности фотосинтеза наиболее выражены у зерновых культур с 8:00 до 11:00, а у зернобобовых культур: у гороха посевного – с 8:00 до 11:00, у сои – с 9:30 до 12:30 по московскому времени. У сортов зерновых культур наблюдается 2 пика активности: один в 9:00, а другой – в 13:00. В то же время у сортов сои второй пик активности самый высокий и приходится на 15:00, а у гороха он один и отмечается в 9:00, что следует учитывать при оценке селекционного материала.

13. В зависимости от ярусного расположения, сортовые различия по активности реакций фотосинтеза более всего проявляются у сельскохозяйственных культур на уровне верхних листьев, на которые ложится основная зерновая нагрузка. У сортов зерновых культур интенсивность фотосинтеза флаговых листьев изменялась от 13,65 до 14,43 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$, у зернобобовых культур ее значение у верхних листьев (3-4-й сверху) варьировало от 10,50 до 11,11 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$. Сорта с высокой интенсивностью фотосинтеза верхних листьев, как правило, характеризуются повышенной активностью и нижерасположенных.

14. На урожайность сорта наиболее значимое влияние оказывают интенсивность фотосинтеза, интенсивность транспирации и эффективность использования воды. У озимой пшеницы наиболее тесная связь урожайности отмечена с интенсивностью фотосинтеза (r варьировал по годам от 0,01 до 0,30) и с эффективностью использования воды (в фазе молочной спелости $r = 0,46$); у яровой пшеницы – с интенсивностью транспирации в период образования и массового налива зерновок ($r = 0,71$); у гороха посевного – с

интенсивностью фотосинтеза (от 0,33 до 0,56); у сои – с интенсивностью фотосинтеза ($r = 0,72$) и устьичной проводимостью ($r = 0,54$).

15. Между эффективностью использования воды и интенсивностью фотосинтеза связь положительная (у зерновых культур коэффициент корреляции варьировал от 0,35 до 0,76, а у зернобобовых – от 0,42 до 0,81), а с интенсивностью транспирации отрицательная (у зерновых культур коэффициент корреляции варьировал от 0,07 до –0,68, а у зернобобовых от –0,57 до –0,88). При выборе перспективных форм для селекции необходимо ориентироваться на генотипы с высокой интенсивностью фотосинтеза и умеренной транспирацией.

16. Генотипы с высокими показателями фотосинтетической деятельности растений формируют более высокую урожайность зерна. Сорта гороха посевного с высокой интенсивностью фотосинтеза листьев формировали на 18,0% большую урожайность семян, это позволяет получить прибыль от реализации зерна на 66,0% больше. У сортов сои с высокой устьичной проводимостью урожайность была на 38,0% больше, это позволит увеличить прибыль от реализации зерна на 91,0%, а рентабельность производства на 70,3%.

17. Сорта озимой пшеницы с высокой эффективностью использования воды формируют урожай зерна с более высоким содержанием белка (на 1,35%) и клейковины (на 3,63%), что позволяет увеличить прибыль от реализации товарного зерна на 59%, а рентабельность производства на 23%.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Для создания сортов зерновых (озимая и яровая пшеницы) и зернобобовых (горох, соя, кормовые бобы, чечевица) культур с повышенной активностью и эффективностью фотосинтеза листьев рекомендуется оценку исходного материала проводить в соответствии с разработанным методическим порядком. В частности, у зерновых культур по флаговому листу в период массового налива зерновок с 8:00 до 11:00, а у зернобобовых – по листьям 1-го плодоносящего узла в фазе плоского боба с 8:00 и до 11:00 у гороха, и с 9:30 до 12:30 у сои на 3 сверху листе главного стебля.

2. В селекции зерновых и зернобобовых культур на повышение активности и эффективности фотосинтеза листьев отбор перспективных образцов следует проводить с помощью применения запатентованных способов: патент РФ 2626586, патент РФ 2685151, патент РФ 2694197, патент РФ 2720426 и патент РФ 2740216.

3. В качестве ценных источников повышенной активности фотосинтеза могут служить: у озимой пшеницы сорта Московская 40, Немчиновская 57, Немчиновская 17; у яровой пшеницы – Арсея, Триада, Воронежская 20, Вольнодонская, Золотая; у гороха посевного – Спартак,

Фараон, Приазовский; у сои – Белгородская, 48, Припять, Ланцетная, Мезенка и Зуша; у кормовых бобов – Янтарные, Омар, Огонек, к-1463; у чечевицы – Аида, Веховская 1, 246/08.

4. В качестве ценных источников высокой эффективности использования воды предлагаются: у озимой пшеницы сорта Московская 39, Московская 40; у яровой пшеницы – Злата, Арсея, Аль-Варис, Вольнодонская; у гороха посевного – Рас 657/7, Фараон и Спартак; у сои – Свапа, Белгородская 8, Мезенка, Ланцетная, Зуша; у кормовых бобов – к-1463, к-1731, Пикантные, Янтарные; у чечевицы – Аида, Образцов Чифлик 7, 192/08.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оптимизация фотосинтетической деятельности растений сельскохозяйственных культур остается актуальной задачей как в растениеводстве, так и селекции современных сортов. Поэтому дальнейшая работа по использованию результатов исследования будет направлена на организацию целенаправленной селекции по созданию сортов с повышенной активностью и эффективностью фотосинтетической деятельности растений; на выделение и отбор перспективных генотипов с высокими показателями фотосинтеза растений сельскохозяйственных культур и на разработку новых способов оценки и отбора перспективного генетического материала и вовлечение его в селекцию, а также для оптимизации технологий выращивания сортов с высокой активностью и эффективностью фотосинтетической деятельности растений.

СПИСОК НАУЧНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Чекалин, Е.И. Содержание пигментов в листьях и прилистниках у разных по степени окультуренности сортообразцов гороха полевого / Е.И. Чекалин, А.В. Амелин, И.В. Кондыков / Вестник ОрелГАУ. – 2010. – №3(24). – С. 2–4.

2. Чекалин, Е.И. Изменение показателей архитектоники, роста и развития растений гороха полевого в процессе селекции на высокую урожайность семян / Е.И. Чекалин, А.В. Амелин, И.В. Кондыков / Вестник ОрелГАУ. – 2010. – №5(26). – С. 56–58.

3. Янова, А.А. Архитектоника растений современных сортов чечевицы в связи с устойчивостью их агроценозов к полеганию / А.А. Янова, И.В. Кондыков, Е.И. Чекалин, А.В. Амелин, Н.М. Державина / Вестник ОрелГАУ. – 2011. – №2(29). – С. 9–12.

4. Амелин А.В. Особенности фотосинтеза в онтогенезе различных по эколого-географическому происхождению сортов сои / А.В. Амелин, И.И. Кузнецов, Е.И. Чекалин / Вестник ОрелГАУ. – 2011. – №3(30). – С. 2–4.

5. Лысенко, Н.Н. Влияние фунгицида пропиконазол на растения яровых зерновых культур в условиях засухи и патогенеза / Н.Н. Лысенко, Е.Г. Прудникова, Н.Л. Хилкова, Е.И. Чекалин / Вестник ОрелГАУ. – 2011. – №3(30). – С. 58–64.

6. Амелин, А.В. Скрининг признаковой коллекции образцов гороха с многоцветным апикальным цветоносом (морфотип люпиноид) / А.В. Амелин, И.В. Кондыков, В.Н. Уваров, *Е.И. Чекалин*, Н.А. Бутримова, Л.Н. Кузнецова / Вестник ОрелГАУ. – 2011. - №5(32). – С. 104–108.
7. Кондыков, И.В. Интенсивность ростовых процессов на ранних этапах онтогенеза у контрастных по продуктивности образцов чечевицы / И.В. Кондыков, А.А. Янова, *Е.И. Чекалин*, Н.А. Бутримова, А.В. Амелин / Вестник ОрелГАУ. – 2012. – №1(34). – С. 38–42.
8. Амелин А.В. Активность световых и темновых реакций фотосинтеза у генотипов чечевицы обыкновенной / А.В. Амелин, *Е.И. Чекалин*, И.В. Кондыков, Е.А. Дмитриева / Вестник ОрелГАУ. – 2012. – №2(35). – С. 102–105.
9. Амелин, А.В. Генетические и физиологические аспекты селекции чечевицы / А.В. Амелин, И.В. Кондыков, А.В. Иконников, Н.Н. Кондыкова, *Е.И. Чекалин*, Е.А. Дмитриева / Вестник ОрелГАУ. – 2013. – №1(40). – С. 31–38.
10. Лысенко, Н.Н. Активность фотосинтеза и транспирация в листьях кормовых бобов при патогенезе и использовании средств защиты / Н.Н. Лысенко, *Е.И. Чекалин*, С.М. Пожарский / Вестник ОрелГАУ. – 2013. – №1(40). – С. 70–76.
11. Амелин, А.В. Влияние интенсивности света на активность газообмена листьев и прилистников у сортов гороха посевного зернового использования / А.В. Амелин, *Е.И. Чекалин*, В.В. Заикин, А.М. Задорин // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2018. – № 4 (28). – С. 15–18.
12. Амелин, А.В. Биохимические показатели качества зерна у современных сортов яровой пшеницы / А.В. Амелин, *Е.И. Чекалин*, В.В. Заикин, В.И. Мазалов, В.Т. Городов, Р.А. Икусов // Вестник аграрной науки. – 2019. – № 2 (77). – С. 3–11.
13. *Чекалин, Е.И.* Особенности устойчивости растений пелюшки к стрессовым факторам среды в аспекте селекции на адаптивность / *Е.И. Чекалин*, А.В. Амелин // Аграрная наука. – 2019. – Т. 1. – С. 86–90.
14. *Чекалин, Е.И.* Особенности транспирации у растений *Pisum sativum L.* / *Е.И. Чекалин*, А.В. Амелин // Вестник аграрной науки. – 2019. – № 4 (79). – С. 31–38.
15. Амелин, А.В. Отзывчивость современных сортов яровой пшеницы на различную интенсивность освещения / А.В. Амелин, *Е.И. Чекалин*, В.В. Заикин, Р.А. Икусов // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2020. – № 84. – С. 26–31.
16. *Чекалин, Е.И.* Влияние селекции на морфотип, рост, развитие, продуктивность и гормональный статус растений сортов гороха посевного / *Е.И. Чекалин*, А.В. Амелин, В.И. Панарина // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2020. – № 85. – С. 284–289.
17. Амелин, А.В. Интенсивность фотосинтеза листьев у растений озимой пшеницы / А.В. Амелин, *Е.И. Чекалин*, В.В. Заикин, В.И. Мазалов, Р.А. Икусов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 9. – С. 41–48.
18. Икусов, Р.А. Полиморфизм показателей начального роста у современных сортов яровой пшеницы / Р.А. Икусов, А.В. Амелин, В.В. Заикин, *Е.И. Чекалин*, В.И. Мазалов // Вестник аграрной науки. – 2020. – № 6. – С. 3–11.
19. Миуц, О.А. Транспирация растений фасоли обыкновенной зернового типа в онтогенезе / О.А. Миуц, *Е.И. Чекалин* // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2020. – № 3 (35). – С. 84–92.

20. Амелин, А.В. Генотипические особенности фотосинтетической активности листьев растений яровой пшеницы в связи с селекцией сортов нового типа / А.В. Амелин, *Е.И. Чекалин*, В.В. Заикин, Р.А. Икусов // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 3. – С. 9–13.

21. Амелин, А.В. Адаптивные возможности современных сортов яровой пшеницы / А.В. Амелин, Р.А. Икусов, *Е.И. Чекалин*, В.В. Заикин, А.С. Шишкин, В.И. Мазалов // Вестник аграрной науки. – 2022. – № 4 (97). – С. 3–8.

22. Амелин, А.В. Интенсивность транспирации листьев растений у современных сортов яровой пшеницы / А.В. Амелин, *Е.И. Чекалин*, В.В. Заикин, Р.А. Икусов, А.С. Шишкин // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 6. – С. 6–12.

23. Амелин, А. В. Структурно-функциональные особенности листовой системы растений у сортов яровой пшеницы, различающихся урожайностью зерна / А.В. Амелин, Р.А. Икусов, *Е.И. Чекалин*, В.В. Заикин, А.С. Шишкин, В.И. Мазалов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 1. – С. 28-35.

Патенты на изобретения и авторские свидетельства

24. Патент № 2626586 Российская Федерация, МПК А01Н 1/04 (2006.01), А01Н 5/00 (2006.01). Способ оценки селекционного материала гороха посевного на интенсивность фотосинтеза: № 2016104162: заявл. 09.02.2016: опубл. 28.07.2017 / Амелин А.В., *Чекалин Е.И.*, Кондыкова Н.Н.; заявитель ФГБОУ ВО Орловский ГАУ. – 8 с.: ил.

25. Патент № 2685151 Российская Федерация, МПК А01Н 1/04 (2006.01). Способ оценки и отбора высокоурожайных генотипов сои по устьичной проводимости паров воды: № 2017143264: заявл. 11.12.2017: опубл. 16.04.2019 / Амелин А.В., *Чекалин Е.И.*, Сальникова Н.Б.; заявитель ФГБОУ ВО Орловский ГАУ. – 8 с.: ил.

26. Патент № 2694197 Российская Федерация, МПК А01Н 1/04 (2006.01). Способ отбора светолюбивых генотипов яровой пшеницы: № 2018128808: заявл. 06.08.2018: опубл. 09.07.2019 / Амелин А.В., *Чекалин Е.И.*, Заикин В.В., Городов В.Т., Кулишова И.В.; заявитель ФГБОУ ВО Орловский ГАУ. – 11 с.: ил.

27. Патент № 2720426 Российская Федерация, МПК А01Н 1/04 (2006.01). Способ отбора генотипов пшеницы озимой с повышенным содержанием в зерне белка и клейковины по эффективности использования воды: № 2019127731: заявл. 02.09.2019: опубл. 29.04.2020 / Амелин А.В., *Чекалин Е.И.*, Заикин В.В., Городов В.Т., Кулишова И.В., Икусов Р.А.; заявитель ФГБОУ ВО Орловский ГАУ. – 11 с.: ил.

28. Патент № 2740216 Российская Федерация, МПК А01Н 1/04 (2006.01). Способ отбора генотипов гречихи и сои, отзывчивых на повышенное содержание углекислого газа в воздухе: № 2020122565: заявл. 02.07.2020: опубл. 12.01.2021 / Амелин А.В., Фесенко А.Н., *Чекалин Е.И.*, Заикин В.В.; заявитель ФГБОУ ВО Орловский ГАУ. – 7 с.: ил.

29. Авторское свидетельство № 61033. Горох посевной Оптимус: № 8757054: заявл. 30.11.2012: опубл. 19.03.2015 / Амелин А.В., Безуглый И.Н., Бобков С.В., Борзенкова Г.А., Голопятов М.Т., Гуринович С.О., Кондыков И.В., Кондыкова Н.Н., Корниенко Н.Н., Кузнецова Л.Н., Уварова О.В., Чекмаров Д.С., *Чекалин Е.И.*; заявитель ФГБНУ ВНИИ ЗБК.

30. Авторское свидетельство № 61032. Соя Мезенка: № 8757058: заявл. 30.11.2012: опубл. 11.08.2016 г. / Акулов А.С., Борзенкова Г.А., Васильчиков А.Г.,

Гришечкин В.В., Зайцев В.Н., Зайцева А.И., Кондыков И.В., Родионова Т.Н., Чекалин Е.И.; заявитель ФГБНУ ВНИИ ЗБК.

31. Авторское свидетельство № 68891. Гречиха Даша: № 8457824: заявл. 30.11.2015: опубл. 17.04.2018 г. / Амелин А.В., Бирюкова О.В., Бузуева В.И., Заикин В.В., Игнатова И.В., Парахин Н.В., Попрядухина С.А., Фесенко А.Н., Фесенко И.Н., Фесенко Н.Н., Шипулин О.А., Чекалин Е.И.; заявитель ФГБНУ ВНИИ ЗБК, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

Публикации в рецензируемых изданиях Scopus

32. Amelin, A.V. Features of adaptation of photosynthesis of winter wheat plant leaves to growing conditions / A.V. Amelin, E.I. Chekalin, V.V. Zaikin, R.A. Ikusov // Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: Current Issues, Achievements and Innovations E3S Web of Conferences: International Scientific and Practical Conference, FARBA 2021» (Orel, 24–25 февраля 2021 г.). – V. 254. – Orel, 2021. DOI 10.1051/e3sconf/202125402013.

33. Amelin, A.V. Donor-acceptor relations influence on the modern spring wheat varieties photosynthetic system activity / A.V. Amelin, E.I. Chekalin, V.V. Zaikin, V.I. Mazalov, R.A. Ikusov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering (Krasnoyarsk, 16–19 июня 2021 г.). – Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd, 2021. – V. 839. – P. 42026. DOI 10.1088/1755-1315/839/4/042026.

34. Amelin, A.V. Biochemical grain quality indicators and photosynthetic rate of leaves in modern varieties of winter wheat / A.V. Amelin, E.I. Chekalin, V.V. Zaikin, V.I. Mazalov, R.A. Ikusov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering (Volgograd, 17–18 июня 2021 г.). – Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd, 2021. – V. 848. – P. 12096. – DOI 10.1088/1755-1315/848/1/012096.

Публикации в рецензируемых изданиях, входящие в международные реферативные базы данных и системы цитирования

35. Амелин, А.В. Селекция на повышение фотоэнергетического потенциала растений и эффективность его использования, как стратегическая задача в обеспечении импортозамещения и продовольственной безопасности России / А.В. Амелин, Е.И. Чекалин // Вестник ОрелГАУ. – 2015. – № 6(57). – С. 38–41.

36. Чекалин, Е.И. Интенсивность фотосинтеза хлорофиллсодержащих органов растений у старых и новых сортов гороха посевного / Чекалин Е.И., Амелин А.В. // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 66. – С. 237–242.

37. Амелин, А.В., Интенсивность фотосинтеза листьев у сортов сои в зависимости от фазы роста и ярусного расположения / А.В. Амелин, Е.И. Чекалин, В.В. Заикин, В.И. Мазалов, Н.Б. Сальникова // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2017. – № 4(24). – С. 53–58.

Монография

38. Амелин, А.В. Морфофизиологический потенциал *Pisum sativum* ssp. *arvense* L. и селекционные аспекты его реализации / А.В. Амелин, И.В. Кондыков, Е.И. Чекалин, Н.Н. Кондыкова. – Орел: Изд-во Картуш, 2018. – 180 с.

Публикации в других научных изданиях

39. Янова, А.А. Анатомическое строение стебля чечевицы в связи с устойчивостью к полеганию / А.А. Янова, *Е.И. Чекалин*, И.В. Кондыков // Инновационный потенциал молодых ученых – АПК Орловской области: материалы Региональной науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов, посвященной 35-летию Орловского государственного аграрного университета (Орел, 16–19 марта 2010 г.). – Орел: Изд-во ОрелГАУ, 2010. – С. 365–368.

40. Амелин, А.В. Кормовые достоинства современных зернофуражных сортов пелюшек / А.В. Амелин, И.В. Кондыков, *Е.И. Чекалин*, Н.А. Шипилова // Развитие инновационного потенциала агропромышленного производства: сб. статей по материалам Всероссийской науч.-практ. конф. (Орел, 24 ноября 2010 года). – Орел: Изд-во Орел ГАУ, 2010. – С. 10–13.

41. Амелин, А.В. О необходимости и возможностях использования показателей фотосинтеза в селекции сельскохозяйственных культур / А.В. Амелин, А.Н. Фесенко, И.В. Кондыков, *Е.И. Чекалин*, В.И. Панарина, И.И. Кузнецов, Т.В. Бойко, С.Н. Шепелева // Физиология растений – фундаментальная основа экологии и инновационных биотехнологий: материалы докладов VII Съезда Общества физиологов растений России: в 2 ч. (Нижний Новгород, 4-10 июля 2011 г.). – Нижний Новгород: Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2011. – Часть I. – С. 49.

42. Кузмичева, Ю.В. Связь азотфиксации и фотосинтеза в условиях эффективного симбиоза / Ю.В. Кузмичева, С.Н. Петрова, *Е.И. Чекалин* // Физиология растений – фундаментальная основа экологии и инновационных биотехнологий: материалы докладов VII Съезда Общества физиологов растений России: в 2 ч. (Нижний Новгород, 4-10 июля 2011 г.). – Нижний Новгород: Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2011. – Часть I. – С. 390.

43. *Чекалин, Е.И.* Особенности продукционного процесса и фотосинтетической деятельности у современных растений пелюшек / *Е.И. Чекалин*, И.В. Кондыков, А.В. Амелин // Физиология растений – фундаментальная основа экологии и инновационных биотехнологий: материалы докладов VII Съезда Общества физиологов растений России: в 2 ч. (Нижний Новгород, 4-10 июля 2011 г.). – Нижний Новгород: Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2011. – Часть II. – Нижний Новгород, 2011. – С. 738–739.

44. *Чекалин, Е.И.* Устойчивость гороха посевного и полевого к экстремальным факторам погоды / *Е.И. Чекалин*, И.В. Кондыков, А.В. Амелин // Новые сорта сельскохозяйственных культур – составная часть инновационных технологий в растениеводстве: сборник научных материалов Шатиловских чтений, посвященных 115-летию Шатиловской СХОС (Орел, 12–13 июня 2011 г.). – Орел: ГНУ ВНИИЗБК РАСХН, 2011. – С. 297–303.

45. Лысенко, Н.Н. Особенности физиолого-биохимических процессов в растениях яровой пшеницы при обработке фунгицидом / Н.Н. Лысенко, Е.Г. Прудникова, Н.Л. Хилкова, *Е.И. Чекалин* // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки. – 2012. – № 6-1. – С. 385–388.

46. *Чекалин, Е.И.* Интенсивность фотосинтеза растений зерновых сортов гороха посевного / *Е.И. Чекалин*, А.В. Амелин, И.В. Кондыков // Материалы Международной дистанционной конференции «Фотосинтетическая деятельность и продукционные

процессы фитоценозов» (Тульский НИИСХ, 12.03.2014 г.). – Орел. – 2014. – С. 132–136.

47. Каталог источников и доноров хозяйственно-полезных признаков масличных культур. Пособие для практического использования в селекции / А.В. Амелин, И.В. Аксенов, Н.Б. Сальникова, *Е.И. Чекалин*, В.В. Заикин. – Орел: Изд-во ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2016. – 5 с.

48. Амелин, А.В. Активность фотосинтеза культурных растений в связи с селекцией / А.В. Амелин, *Е.И. Чекалин* // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: материалы VIII Международной науч.-практ. конф. «ИнформАгро-2016» (Москва, 25-27 мая 2016 г.). – Москва, ФГБОУ ВО «РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева», 2016. – С. 288–292.

49. *Чекалин, Е.И.* Интенсивность фотосинтеза генотипов сои в условиях Центрального региона России / *Е.И. Чекалин*, А.В. Амелин, Н.Б. Сальникова // Вавиловские чтения – 2016: сборник статей международной науч.-практ. конф., посвященной 129-й годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова (Саратов, 24–25 ноября 2016 г.). – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2016. – С. 148–152.

50. Амелин, А.В. Фотосинтез – основа сортов будущего / А.В. Амелин, *Е.И. Чекалин* // Сельскохозяйственные вести. – 2016. – № 4. – С. 14.

51. Амелин, А.В. Фотоэнергетический потенциал – «Клондайк» в селекции / А.В. Амелин, А.Н. Фесенко, *Е.И. Чекалин*, В.В. Заикин, А.М. Задорин, В.Т. Городов, И.В. Кулешова // Селекция, семеноводство и генетика. – 2016. – № 6. – С. 36–38.

52. *Чекалин, Е.И.* Фотосинтетические возможности генофонда гороха посевного и перспективы их использования в селекции // *Чекалин Е.И.*, Амелин А.В. / Успехи современной науки. – 2017. - № 10. – Т. 2. – С. 168–175.

53. *Чекалин, Е.И.* Влияние температуры, увлажнения и фазы роста на интенсивность фотосинтеза листочков и прилистников растений гороха посевного / *Е.И. Чекалин*, А.В. Амелин, И.В. Кондыков // Вестник аграрной науки. – 2017. – № 5(68). – С. 12–18.

54. Амелин, А.В. Интенсивность фотосинтеза и транспирации листьев у растений *Glycine Max (L.) Merr.* / А.В. Амелин, *Е.И. Чекалин*, В.В. Заикин, Н.Б. Сальникова // Вестник аграрной науки. – 2017. – № 6(69). – С. 3–8.

55. Амелин, А.В. Интенсивность транспирации листьев *Glycine max (L.) Merr.* в зависимости от фазы роста и ярусного расположения на растении / А.В. Амелин, *Е.И. Чекалин*, В.В. Заикин, Н.Б. Сальникова // Овощи России. – 2018. – № 1. – С. 47–49.

56. Амелин, А.В. Генотипические особенности проявления фотоактивности листьями озимой пшеницы / А.В. Амелин, *Е.И. Чекалин*, В.В. Заикин, И.В. Кулешова, В.И. Мазалов, А.В. Сагин // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 11. – С. 18–23.

57. *Чекалин, Е.И.* Адаптивные возможности растений пелюшки к биотическим стрессам / *Е.И. Чекалин*, А.В. Амелин // Механизмы устойчивости растений и микроорганизмов к неблагоприятным условиям среды: сб. материалов Годичного собрания Общества физиологов растений России, Всероссийской науч. конф. с международным участием и школы молодых ученых: в 2 ч. (Иркутск, 10–15 июля 2018 г.). – Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, 2018. – Часть I. – С. 804-808. DOI 10.31255/978-5-94797-319-8-804-808.

58. Амелин, А.В. Адаптивные возможности растений пелюшки к абиотическим стрессам и селекционные аспекты их реализации / А.В. Амелин, *Е.И. Чекалин* //

Механизмы устойчивости растений и микроорганизмов к неблагоприятным условиям среды: сб. материалов Годичного собрания Общества физиологов растений России, Всероссийской науч. конф. с международным участием и школы молодых ученых: в 2 ч. (Иркутск, 10–15 июля 2018 г.). – Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, 2018. – Часть I. – С. С. 76-80. DOI 10.31255/978-5-94797-319-8-76-80.

59. Амелин, А.В. Потенциал продуктивности и качества зерна у современных сортов пшеницы озимой в условиях Орловской области / А.В. Амелин, *Е.И. Чекалин*, В.В. Заикин, Р.А. Икусов, В.И. Мазалов, А.В. Сагин, И.В. Кулишова // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2018. – № 72. – С. 28–33.

60. *Чекалин, Е.И.* Урожайность зерна пшеницы яровой в условиях Орловской области и особенности ее формирования современными сортами / *Е.И. Чекалин*, А.В. Амелин, В.В. Заикин, Р.А. Икусов, В.И. Мазалов, А.В. Сагин, В.Т. Городов // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2018. – № 72. – С. 369–372.

61. Амелин, А.В. Продуктивность и качество зерна у современных сортов яровой пшеницы в условиях экологического испытания на Шатиловской СХОС / А.В. Амелин, В.И. Мазалов, *Е.И. Чекалин*, В.В. Заикин, Р.А. Икусов, В.Т. Городов // Вавиловские чтения - 2018: сб. статей Международной научно-практической конференции, посвященной 131-ой годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова (Саратов, 28–29 ноября 2018 г.). – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2018. – С. 32–38.

62. *Chekalin, E.I.* Rate of transpiration of plants of *Pisum sativum* L. for grain use / *E.I. Chekalin*, A.V. Amelin // The International Conference « Scientific research of the SCO countries: synergy and integration» Part 2, Beijing, China 25-26 March 2019. Beijing P.159–166.

63. Амелин, А.В. Накопление сухой массы надземными органами растений у разных по географическому происхождению коллекционных образцов сои / А.В. Амелин, *Е.И. Чекалин*, В.В. Заикин, Н.Б. Сальникова // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 1. – С. 112–116.

64. Городов, В.Т. Повышение фотоактивности листьев растений яровой пшеницы селекционным путем / В.Т. Городов, А.В. Амелин, *Е.И. Чекалин*, В.В. Заикин, Р.А. Икусов // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2020. – № 2(26). – С. 151–162.

65. *Чекалин, Е.И.* Общие и частные особенности фотосинтеза растений у зерновых, зернобобовых и крупяных культур / *Е.И. Чекалин*, А.В. Амелин // Вавиловские чтения - 2020: сб. статей Международной науч.-практ. конф., посвященной 100-летию открытия закона гомологических рядов и 133-летию со дня рождения академика Н.И. Вавилова (Саратов, 24–25 ноября 2020 г.). – Саратов: Изд-во Общество с ограниченной ответственностью «Амирит», 2020. – С. 268-275.

66. Амелин, А.В. Влияние экзо- и эндогенных факторов на интенсивность транспирации листьев у растений озимой пшеницы / А.В. Амелин, *Е.И. Чекалин*, В.В. Заикин, В.И. Мазалов, Р.А. Икусов // Эпоха науки. – 2020. – № 24. – С. 7–13.

67. *Чекалин, Е.И.* Роль показателей фотосинтеза в современной селекции растений гороха посевного // Продовольственная безопасность как фактор повышения качества жизни: материалы Национальной (Всероссийской) науч.-практ. конф. (Орел, 29 сентября 2021 г.). – Орел: Изд-во Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, 2021. – С. 466–472.

68. *Chekalin, E.I.* Rate of photosynthesis and activity of photosystem ii of plants Glycine max (L.) Merr. depending on the phase of growth and tier of leaves / *E.I. Chekalin* // Наука без границ и языковых барьеров: материалы Всероссийской науч.-практ. конф. (Орел, 02–03 июня 2022 г.). – Орел: Изд-во Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, 2022. – С. 403–406.

69. Амелин, А.В. Полиморфизм показателей активности реакций световой и темновой фаз фотосинтеза листьев у сортов озимой пшеницы / А.В. Амелин, *Е.И. Чекалин*, В.В. Заикин // Клеточная биология и биотехнология растений: тезисы докладов III Международной науч.-практ. конф. (Минск, 24–27 мая 2022 г.). – Минск: Изд-во Белорусский государственный университет, 2022. – С. 83.

70. Амелин, А.В. Что необходимо знать о сорте, чтобы создать эффективное производство?: методические рекомендации / А.В. Амелин, *Е.И. Чекалин*, В.В. Заикин, Р.А. Икусов. – Орёл: Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, 2022. – 42 с.

71. *Чекалин, Е.И.* Горох пелюшка - ценная кормовая и сырьевая культура для отрасли животноводства в ЦЧР России / *Е.И. Чекалин* // Биология в сельском хозяйстве. – 2022. – № 4(37). – С. 40–43.

72. *Чекалин, Е.И.* Сортовой полиморфизм показателей фотосинтетической активности листьев у растений сои и возможности его использования в селекции / *Е.И. Чекалин*, В.В. Заикин, А.В. Амелин // Агронаука. – 2023. – Т. 1, № 2. – С. 61–70. DOI 10.24412/2949-2211-2023-1-2-61-70.

73. Амелин, А.В. Видовые особенности фотосинтетической активности листьев у растений сои и гороха посевного в условиях Центрально-Черноземного района Российской Федерации / А.В. Амелин, *Е.И. Чекалин*, В.В. Заикин // Агронаука. – 2023. – Т. 1, № 2. – С. 71-80. DOI 10.24412/2949-2211-2023-1-2-71–80.

74. Солдатова, Н.Е. Реакция растений генотипов гороха посевного на изменение освещенности листьев / Н.Е. Солдатова, Е.М. Оболенская, Р.А. Икусов, *Е.И. Чекалин* // Научный журнал молодых ученых. – 2023. – № 5(35). – С. 7–11.

75. Солдатова, Н.Е. Экономическая эффективность выращивания сортов гороха посевного с повышенной активностью и эффективностью фотосинтетической деятельности растений / Н.Е. Солдатова, Е.М. Оболенская, *Е.И. Чекалин*, Р.А. Икусов // Научный журнал молодых ученых. – 2024. – № 2(37). – С. 40–45.

Подписано в печать 05.02.2025 г. Формат 60×84 1/16
Печать цифровая. Бумага офсетная. Гарнитура Times
Объём 2,0 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 24

Лицензия ПД № 8-0023 от 25.09.2000 г.
Отпечатано с готового оригинал-макета в авторской редакции
в ООО Полиграфическая фирма «Картуш»
г. Орел, ул. 2-я Посадская, 26. Тел.: (4862) 44-51-46.
E-mail: kartush.orel@yandex.ru www.kartush-orel.ru