

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора биологических наук Федулова Юрия Петровича на диссертационную работу Шестаковой Елены Олеговны «Влияние технологических приемов выращивания на фотосинтетическую деятельность, вегетационный индекс NDVI посевов и урожайность озимой пшеницы на черноземе обыкновенном Центрального Предкавказья», представленную к защите на соискание в диссертационный совет Д 220.062.03 при ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» на соискание учёной степени кандидата сельскохозяйственных наук по специальности 06.01.01 – общее земледелие, растениеводство.

Актуальность темы диссертационного исследования. Теория фотосинтетической продуктивности посевов А.А.Ничипоровича дала общее понимание принципов продукционного процесса посевов сельскохозяйственных культур. Однако её применение в практическом растениеводстве было ограничено из-за трудоёмкости подходов в определении отдельных параметров продукционного процесса агроценоза.

С появлением методов дистанционной оценки состояния растительных покровов появилась возможность очень быстро получать данные о спектральных свойствах посевов, которые формализуются в виде вегетационных индексов. В настоящее время для оценки растительных покровов Земли известно более 160 таких вегетационных индексов, которые в своём большинстве являются просто эмпирическими формулами, на опирающимися на какие-либо биологические закономерности.

С другой стороны, с расширением доступности техники для дистанционного получения данных от агроценозов, в том числе малогабаритных беспилотных летальных аппаратов, всё более острым становится потребность в знаниях о связи дистанционно получаемых данных с параметрами посева, которые характеризуют его состояние, его потенциальные возможности, изменение параметров агроценоза при изменении условий среды.

В связи с этим, исследования Е.О. Шестаковой, посвящённые изучению влияния элементов технологии возделывания озимой пшеницы на комплекс параметров фотосинтетической деятельности, вегетационный индекс NDVI и продуктивность посевов озимой пшеницы, является весьма актуальными и современными и представляют большой интерес как для науки, так и для сельскохозяйственного производства.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что автором на черноземе обыкновенном Центрального Предкавказья на наборе современных сортов озимой пшеницы, выведенных для данной зоны, впервые в многофакторном полевом опыте изучено влияние элементов технологии выращивания на комплекс показателей фотосинтетической деятельности озимой пшеницы, что позволило дать оценку значимости каждого показателя для продуктивности посевов. Выявлено влияние фотосинтетической деятельности на особенности динамики вегетационного индекса NDVI, что дало возможность

понять механизмы связи данных дистанционного зондирования Земли с урожайностью озимой пшеницы.

Значимость результатов исследований заключается в том, что экспериментально доказано, что такие элементы технологии выращивания как предшественник, минеральные удобрения, срок сева, норма высева и сорт оказывают достоверное влияние не только на показатели фотосинтетической продуктивности, но и на вегетационный индекс NDVI посевов озимой пшеницы. Установлена взаимосвязь между вегетационным индексом NDVI посевов озимой пшеницы и рядом показателей фотосинтетической продуктивности.

Практическая значимость работы. Полученные результаты являются научной основой совершенствования технологии возделывания озимой пшеницы, будут способствовать разработке методов оперативного контроля и управления продукционным процессом в агроценозах, а также позволять делать ранние прогнозы их продуктивности. Кроме того, проведенные исследования и установленные закономерности будут способствовать цифровизации сельскохозяйственного производства.

Материалы диссертационной работы могут быть использованы в учебном процессе при подготовке агрономов.

Апробация результатов исследований была проведена в ООО СХП «Темужбекское» Новоалександровского района Ставропольского края в 2018 году на общей площади 240 га. Была получена прибавка урожая в пределах 5,2-11,7 ц/га, что составило 13,4-30,2 %.

Апробация работы. Материалы диссертации ежегодно (2016-2018 гг.) докладывались на методических комиссиях и Ученых советах ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», а также были представлены на международных (Краснодар, 2017; Ялта, 2018; Ставрополь, 2018) и всероссийской (Москва, 2015) научно-практических конференциях. По материалам диссертации опубликовано 15 работ, из них в журналах Scopus и Web of Science – 2, из перечня ВАК – 5.

Краткая характеристика работы. Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения, предложений производству, библиографического списка, включающего 167 источников, 17 из которых зарубежные, и 18 приложений. Общий объем работы 177 страниц машинописного текста, из которых собственно содержание работы занимает 137 страниц. Диссертация содержит 38 таблиц и 29 рисунков.

Во введении на 5 страницах автор убедительно обосновал актуальность исследований, четко указал цель и экспериментальные задачи, отметил научную новизну работы, оценил её практическую значимость, представил данные об апробации работы и изложил основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе на 27 страницах автор представил обстоятельный аналитический обзор литературы отечественных и зарубежных авторов по теме своих исследований, в котором рассмотрел биологические особенности озимой пшеницы и основные элементы технологии её возделывания, вопросы фотосинтетической продуктивности растений озимой пшеницы, радиационный режим

посевов, а также использование данных дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве

Во второй главе описаны почвенно-климатические условия места проведения опытов и подробно изложены погодные условия в период вегетации пшеницы за каждый год. Автор описал особенности четырёх сортов озимой пшеницы, на которых проводились исследования, схемы трёх полевых опытов, технологическую карту возделывания пшеницы по предшественникам чёрный пар и озимая пшеница, а также методики определения фотосинтетической поверхности отдельных органов растений, оценки содержания хлорофиллов, радиационного режима посевов.

В третьей главе рассматривается фотосинтетическая деятельность изучаемых сортов озимой пшеницы. Проведённый анализ показал, что различные элементы технологии возделывания озимой пшеницы оказывают существенное влияние на развитие фотосинтетического аппарата и продолжительность его функционирования. На предшественнике пар, по сравнению с предшественником озимая пшеница, значения листового индекса больше на 31,5 %, площадь ассимиляционной поверхности – на 26,8 %, а поверхностный фотосинтетический потенциал выше на 30,5 %. Применение минеральных удобрений по пару увеличило показатели этих величин соответственно на 55,2, 44,3, 49,3 %, а по озимой пшенице на 84,7, 67,2, 61,1 %. Выявлено также влияние на эти параметры сроков сева: при оптимальных сроках сева значения листового индекса, площади ассимиляционной поверхности и поверхностного фотосинтетического потенциала выше, чем при ранних и поздних сроках сева. Сравнение изученных сортов по этим показателям показало, что сорт Ставка формирует на единицу площади посева наибольшую площадь как листьев ($3,18 \text{ м}^2/\text{м}^2$), так и ассимиляционной поверхности ($6,20 \text{ м}^2/\text{м}^2$).

Анализ влияния изученных агротехнологических факторов на суммарное содержание хлорофилла показал, что в среднем по сортам за годы исследований его концентрация в растениях озимой пшеницы по предшественнику пар выше, чем по предшественнику озимая пшеница, на 9,4 %. Применение минеральных удобрений по пару способствовало увеличению количества зеленых пигментов на 38,1 %, а по озимой пшенице, на 14,0 %

В среднем по сортам относительное содержание хлорофилла в растениях озимой пшеницы было больше на позднем сроке сева, чем на раннем и оптимальном, на 10,5 и 3,7 % соответственно.

Следует подчеркнуть важную особенность этого раздела работы: автор определил не только относительное содержание хлорофиллов (отнесённое к единице ассимиляционной поверхности растения), но и абсолютное содержание суммарного хлорофилла на единицу площади посева, что непосредственно характеризует потенциальную мощность фотосинтетического аппарата посева. Автор показал, что в среднем по сортам за годы исследований значение этого параметра по предшественнику пар было выше, чем по предшественнику озимая пшеница на 45,0 %, а улучшение условий минерального питания по пару увеличивало его значение на 73,4 %. Аналогичная закономерность

была отмечена и на растениях, возделываемых по предшественнику озимая пшеница.

Другой особенностью работы является использование для описания работы фотосинтетического аппарата посева хлорофиллового фотосинтетического потенциал (ХФСП), который характеризует не только количество хлорофилла, но и время его активного функционирования за весь период роста и развития растений. Автор не только подробно изучил влияние факторов агротехники на этот показатель, но и определил, что на долю листьев в структуре ХФСП в среднем по сортам приходится 53,7-65,4 %, стеблей – 25,2-35,5 %, а колосьям принадлежит всего 8,7-10,8 %.

Величину чистой продуктивности фотосинтеза автор определял как по отношению к единице площади ассимиляционной поверхности (ЧПФ_s, 1 м²), так и по отношению к единице количества хлорофилла (ЧПФ_{chl}, 1 г). Автор выявил, что изученные агротехнические факторы оказывают достоверное влияние на чистую продуктивность фотосинтеза: значения обоих показателей снижаются при улучшении условий выращивания. При поздних сроках сева значения ЧПФ в расчете на единицу площади выше, чем при ранних и оптимальных, тогда как значения ЧПФ в расчете на единицу хлорофилла выше при оптимальных сроках сева.

При этом проявляются сортовые особенности: максимальные значения как ЧПФ_s, так и ЧПФ_{chl} у сорта Арсенал отмечается для оптимального срока сева, а у сорта Зустрич – для позднего.

Автор выявил достоверную обратную связь между значениями фотопотенциала и чистой продуктивностью фотосинтеза (коэффициент корреляции – -0,59 для поверхностного фотопотенциала и -0,70 – для хлорофиллового). Проведенный дисперсионный анализ выявил, что на ЧПФ в расчете на единицу площади и единицу хлорофилла в наибольшей степени оказывают влияние взаимодействие всех изученных факторов (более 40 %).

В четвёртой главе, посвящённой радиационному режиму посевов, автор проанализировал структуру посевов изучаемых сортов озимой пшеницы, рассмотрев влияние агротехнических факторов на динамику стеблестоя стеблестоя и высоту растений. На основе изучения распределения светового потока в посевах автор выявил, что в период колошения в среднем по сортам на уровне колоса посева поглощали 10,1 % приходящей солнечной радиации, на уровне флаг-листа – 28,1 %, 2-го сверху листа – 30,3 %, а 3-го – 31,5 % от приходящей фотосинтетически активной радиации (ФАР). Автор показал, что посева разных сортов отличались по характеру поглощения ФАР по ярусам, а на значения коэффициентов поглощения солнечной радиации посевами озимой пшеницы достоверно и закономерно влияли агротехнические факторы. Автор также выявил сортовые особенности в поглощении солнечной радиации.

Анализ накопления энергии посевами позволил автору рассчитать для всех сортов коэффициент использования энергии ФАР (КПД ФАР) на формирование урожая, который за весь период вегетации находился в пределах 1,63-

3,04%, а также изучить зависимость этого показателя от изучаемых агротехнических факторов. Анализ полученных данных позволил автору сделать обоснованный вывод, что при выборе сортов озимой пшеницы и соответствующих агротехнических приемов выращивания можно оптимизировать посев таким образом, чтобы он был способен поглощать фотосинтетически активную радиацию с наибольшим КПД, тем самым увеличивая общую фотосинтетическую продуктивность.

В пятой главе диссертант привёл полученные им данные по динамике величины вегетационного индекса NDVI для посевов изученных сортов, по влиянию на этот показатель факторов агротехники, а также проанализировал связь этого индекса с параметрами, характеризующими фотосинтетическую деятельность посевов. Автор выявил, что между вегетационным индексом NDVI и показателями фотосинтетической деятельности посевов озимой пшеницы существует тесная корреляционная связь. Максимальное ее проявление отмечается между наибольшим значением NDVI за весь период вегетации и ПФСП, коэффициент корреляции в этом случае составляет 0,74. Используя метод пошаговой множественной регрессии, автор показал, что на максимальную за вегетацию величину NDVI оказывают влияние (в порядке убывания значимости) коэффициент поглощения посева, поверхностный фотосинтетический потенциал, площадь листьев и относительное содержание хлорофилла в листьях и отдельно в растениях.

В шестой главе диссертант проанализировал влияние технологических приемов выращивания на урожайность озимой пшеницы. Показано, что применение минеральных удобрений на предшественнике пар способствовало увеличению урожайности озимой пшеницы в среднем по сортам на 44,1 %, а на предшественнике озимая пшеница – на 55,3 %. Наибольшая урожайность по предшественнику пар на удобренном фоне отмечена у сорта Ставка (7,5 т/га), на контрольном варианте – у сорта Арсенал (5,3 т/га). По предшественнику озимая пшеница на удобренном фоне максимальная урожайность была сформирована также у сорта Арсенал (5,3 т/га), а на контрольном варианте у сорта Зустріч (3,4 т/га)

Дисперсионный анализ урожайных данных позволил определить степень влияния изученных элементов технологии возделывания на урожайность посевов озимой пшеницы. Влияние сортовых особенностей на урожайность составило 42,7 %, что обусловлено выбором новых сортов, которые адаптированы к условиям выращивания в зоне исследования. Степень влияния минерального питания составила 17,1%, предшественника – 15,1%, сроки сева – 8,2%, взаимодействие изучаемых факторов и прочие факторы – по 8,3%, норма высева 0,3%.

Анализ связи урожая с показателями фотосинтетического аппарата посевов показали, что максимальный коэффициент корреляции урожая, 0,81, был получен с хлорофилловым фотосинтетическим потенциалом. Это логично, поскольку этот показатель включает в себя как ассимиляционную поверхность, так и содержание фотосинтетических пигментов.

Особое внимание в этом разделе работы было уделено рассмотрению связи урожая с величиной NDVI, в результате чего выявлены условия, при которых наблюдается наиболее высокая связь этого параметра с урожаем. Автомом были проанализированы не только данные NDVI, полученные им ручным сканером самостоятельно на опытных делянках, но и большой объём спутниковых данных о полях Ставропольского края. Это позволило уточнить модель прогнозирования урожая на основании регистрации вегетационного индекса NDVI.

В седьмой главе проведена оценка экономической эффективности изучаемых элементов технологии возделывания озимой пшеницы на основе учёта урожайности и качества получаемого зерна. Показано, что наибольший уровень рентабельности был получен на вариантах с применением минеральных удобрений по предшественнику чистый пар, в среднем по сортам этот показатель составил 85,4 %, что выше, чем на неудобренном фоне на 22,9 %, и больше, чем на предшественнике озимая пшеница на удобренном фоне на 22,0 %, а на неудобренном – на 45,1 %. Наиболее прибыльно выращивание озимой пшеницы в оптимальные сроки сева – 30 сентября – 5 октября. Более высокий доход обеспечили посеы с нормой высева 4 миллиона всхожих семян на гектар.

Достоинства и недостатки по содержанию и оформлению диссертации. Особенностью данной работы является то, что она находится на перекрёстке трёх трендов развития растениеводства. Во-первых, это теория фотосинтетической продуктивности с задачей сформировать в фитоценозе условия для наиболее эффективного преобразования энергии света в энергию органических соединений. Во-вторых, адаптивное растениеводство – «вписать» наилучшим образом сорт и технологию его возделывания в конкретные условия среды (А.А.Жученко), и, в-третьих, интенсивно развивающееся дистанционное зондирование растительных покровов, от которого мы многого ожидаем.

Поэтому рецензируемая работа представляет большой интерес. К её достоинствам следует отнести её системный характер. Фактически предметом исследования Е.О. Шестаковой был агроценоз озимой пшеницы. Автор исследовал его не только на уровне надорганизменной системы, на уровне ценоза, но и изучил его составляющие на уровне отдельных растений и на уровне отдельных физиологических процессов, тесно связанных с формированием его продуктивности. Автор использовал весьма трудоёмкие методики и собрал большой объём оригинального экспериментального материала, который подробно проанализировал. С использованием различных математических подходов и программного обеспечения диссертант обработал полученные материалы, выявил корреляционные связи между изученными параметрами, провёл статистический анализ, поэтому достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. Диссертация оформлена в соответствии с предъявляе-

мыми требованиями, изложена хорошим научным языком, текст сопровождается качественными иллюстрациями. Автореферат диссертации полно отражает основное содержание диссертации.

В то же время работа не лишена недостатков.

1. В описание сортов не включено описание их габитуса, в частности расположение листьев – угол их отклонения от стебля, что существенно влияет на характер распределения приходящего светового потока, однако в анализе результатов поглощения ФАР отдельными сортами фактор расположения листа относительно стебля не упоминается и не учитывается

2. В описании технологии возделывания озимой пшеницы по чёрному пару после боронования идёт 2 лущения стерни, непонятно зачем.

3. В тексте диссертации указано, что площадь опытной делянки составляла 25 кв. м. Однако из схемы опыта на рис.2, с 47, следует что площадь опытных делянок равна 56 кв.м.

4. В описании методик исследования не указано, как рассчитывали количество запасаемой энергии, коэффициент использования ФАР и КПД использования ФАР, а также отсутствует ссылка на соответствующие методики.

5. В методической части работы достаточно подробно описано распределение температур и осадков в течение вегетации, однако отсутствуют данные о приходящей радиации, её количество различалось по годам?

6. В таблицах 26 и 27 не указано к какому периоду исследований относятся приводимые данные – среднее за годы исследований или за какой-то один год? Если были данные по отдельным годам, то их следовало бы привести и проанализировать отдельно с учётом пришедшей в этот год ФАР.

7. На странице 77 диссертации автор пишет, что «чистая продуктивность фотосинтеза ассимиляционной поверхности (ЧПФ_S) посевов озимой пшеницы различных сортов, в среднем за вегетацию на удобренном фоне по предшественнику пар выше, чем на контрольном на 20,5 %, а по предшественнику озимая пшеница – на 11,2 % (таблица 22)». Однако из приведённых в указанной таблице данных следует, что для обоих предшественников ЧПФ_S на удобренном фоне ниже, чем в контрольном.

8. Кривая динамики NDVI в вегетацию 2016 года, приведённая в Приложении 7, резко отличается от кривых, описывающих динамику этого индекса в 2017 и 2018 годов. В работе не обсуждаются возможные причины этого, хотя в тексте работы динамике индекса NDVI уделено достаточно много внимания.

9. К сожалению, в тексте диссертации имеются опечатки и неудачные выражения.

Заключение. Указанные замечания не снижают значимости и ценности рецензируемой работы. Диссертация Е.О.Шестаковой является серьёзным системным исследованием продукционного процесса агроценозов озимой пшеницы, имеющим большое методологическое, научное и практическое значение.

Полученные диссертантом экспериментальные данные достоверны, подтверждены математической обработкой и экономическими расчётами.

