

Н. Г. Зубко¹, ✉
Т. В. Долженко^{2, 3}

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Российская Федерация

² Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

³ ООО «ИЦЗР», Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ sacura0@yandex.ru

Поступила в редакцию:
18.08.2022

Одобрена после рецензирования:
29.10.2022

Принята к публикации:
23.11.2022

Natalya G. Zubko¹, ✉
Tatyana V. Dolzhenko^{2, 3}

¹ All-Russian Research Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russian Federation

² St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Russian Federation

³ ICZR LLC, St. Petersburg, Russian Federation

✉ sacura0@yandex.ru

Received by the editorial office:
18.08.2022

Accepted in revised:
29.10.2022

Accepted for publication:
23.11.2022

Действие фунгицидов на содержание фотосинтетических пигментов в растениях пшеницы яровой

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Количество научных работ, рассматривающих вопросы косвенного действия применения фунгицидов в период вегетации на урожайность пшеницы посредством их влияния на физиологические процессы и пигментный состав растений этой культуры, немногочисленно. Существует только несколько отечественных и зарубежных работ по этому вопросу. Необходимость проведения исследований влияния обработок препаратами фунгицидного действия на пигментный состав растений продиктована тем, что современные химические средства защиты растений, являясь физиологически активными веществами, могут оказывать определённое влияние на растения путём торможения или усиления их физиологических и биохимических процессов.

Методы. Материалом для лабораторных и полевых исследований были пять фунгицидов («Амистар Трио, КЭ» (125 г/л пропиконазола + 100 г/л азоксистробина + 30 г/л ципроконазола); «Триада, ККР» (140 г/л пропиконазола + 140 г/л тебуконазола + 72 г/л эпоксиконазола); «Фоликур, КЭ» (250 г/л тебуконазола); «Эвито Т, КЭ» (250 г/л тебуконазола + 180 г/л флуоксастробина); «Солигор, КЭ» (224 г/л спирокарбама + 148 г/л тебуконазола + 53 г/л протиоконазола)), используемых для защиты пшеницы яровой от болезней в период вегетации. Для изучения их действия на содержание пигментов в листовом аппарате нами были проведены обработки этими препаратами пшеницы яровой сортов Дарья и Ленинградская 6 в максимальной норме применения. Количество пигментов в опытных и контрольных вариантах определяли спектрофотометрическим методом с последующей статистической обработкой полученных данных с помощью дисперсионного анализа.

Результаты. Препарат «Триада, ККР» при его однократном применении на 4-е сутки после обработки растений яровой пшеницы сорта Дарья привёл к существенному снижению содержания хлорофиллов и общего количества пигментов в листовом аппарате. Существенные изменения в сторону увеличения содержания фотосинтетических пигментов выявлены на 8-е сутки после 2-й обработки препаратом «Солигор, КЭ» в полевых опытах на сорте Дарья.

Ключевые слова: фунгициды, фотосинтетические пигменты, хлорофилл а, хлорофилл b, каротиноиды, пропиконазол, тебуконазол

Для цитирования: Зубко Н.Г., Долженко Т.В. Действие фунгицидов на содержание фотосинтетических пигментов в растениях пшеницы яровой. *Аграрная наука*. 2022; 365 (12): 110–118. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-365-12-110-118>

© Зубко Н.Г., Долженко Т.В.

The effect of fungicides on the content of photosynthetic pigments in spring wheat plants

ABSTRACT

Relevance. The number of scientific papers dealing with the indirect effect of the use of fungicides during the growing season on wheat yield through their effect on physiological processes and pigment composition in plants of this crop is not numerous. There are only a few domestic and foreign works on this issue. The need to conduct research on the effect of treatments with fungicidal preparations on the pigment composition in plants is dictated by the fact that modern chemical plant protection products, being physiologically active substances, can have a certain effect on plants by inhibiting or enhancing their physiological and biochemical processes.

Methods. The material for laboratory and field studies were five fungicides («Amistar Trio, CE» (125 g/l propiconazole + 100 g/l azoxystrobin + 30 g/l ciproconazole); «Triada, CSC» (140 g/l propiconazole + 140 g/l tebuconazole + 72 g/l epoxiconazole); «Folicur, CE» (250 g/l tebuconazole); «Evito T, CE» (250 g/l tebuconazole + 180 g/l fluoxastrobin); «Soligor, CE» (224 g/l spiroxamine + 148 g/l tebuconazole + 53 g/l prothioconazole)), that are used to protect spring wheat from diseases during the growing season. To study their effect on the content of pigments in the leaf apparatus, we carried out treatments with these preparations of spring wheat varieties Daria and Leningradskaya 6 in the maximum application rate. The amount of pigments in the experimental and control variants was determined by the spectrophotometric method followed by statistical processing of the data obtained using a computer program for dispersion analysis "Diana 1".

Results. The preparation "Triada, CSC" on the 4th day after single application on spring wheat plants of the Daria variety led to a significant decrease in the content of chlorophylls and the total amount of pigments in the leaf apparatus. Significant changes in the direction of increasing the content of photosynthetic pigments were detected on the 8th day after the 2nd treatment with "Soligor, CE" used in field experiments on the Daria variety.

Key words: fungicides, photosynthetic pigments, chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids, propiconazole, tebuconazole

For citation: Zubko N.G., Dolzhenko T.V. The effect of fungicides on the content of photosynthetic pigments in spring wheat plants. *Agrarian science*. 2022; 365 (12): 110–118. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-365-12-110-118> (In Russian).

© Zubko N.G., Dolzhenko T.V.

Введение / Introduction

Химическая защита растений является на сегодняшний день одним из самых распространённых и эффективных методов, применяемым при возделывании сельскохозяйственных культур во всем мире, при этом борьбе с различными грибными заболеваниями уделяется особое внимание, так как они не только снижают урожай, но и представляют опасность для человека и животных [1, 2]. При возделывании сортов интенсивного типа на высоком уровне азотного питания получение высоких и стабильных урожаев без защиты растений от болезней невозможно [3, 4].

Основными требованиями к ассортименту химических средств защиты растений на сегодняшний день является высокая биологическая эффективность, низкие нормы применения, безопасность для защищаемых растений и окружающей среды и наличие высокоточных методов контроля остаточных количеств действующих веществ пестицидов и их метаболитов [5, 6].

Эффективности фунгицидов в отношении основных болезней сельскохозяйственных культур и их безопасности для окружающей среды посвящено большое количество статей и методических рекомендаций [7–9]. Количество же научных работ, рассматривающих вопросы косвенного действия применения фунгицидов в период вегетации на урожайность пшеницы посредством их влияния на физиологические процессы и пигментный состав в растениях этой культуры, немногочисленно, и информация, содержащаяся в них, до сих пор имеет противоречивый характер. Существует только небольшой ряд отечественных и зарубежных работ по этому вопросу.

Необходимость проведения такой научной работы была высказана еще в работе Ж.Л. Лукпанова (1973). Он обосновал это тем, что современные химические средства защиты растений, являясь физиологически активными веществами, могут оказывать определённое влияние на растения путём торможения или усиления их физиологических и биохимических процессов [10]. Важность этого аспекта изучения продиктована ещё и тем фактом, что процесс фотосинтеза является ключевым в формировании продуктивности агрофитоценоза и уровень потенциального урожая во многом зависит от величины листовой поверхности посевов, а также от интенсивности фотосинтетических процессов, проходящих в растениях [11]. Целью применения фунгицидов на пшенице является увеличение продолжительности жизни листьев и замедление старения флагового листа, который обладает самым высоким вкладом фотосинтетических ассимилятов в рост зерна [12].

В исследованиях А.А. Иванова, Н.И. Шабновой, Ю.С. Дунаевой и А.А. Кособрюхова (2013) при обработке фунгицидом «Амистар Трио, концентрат эмульсии (КЭ)» (125 г/л пропиконазола + 100 г/л азоксистробина + 30 г/л ципроконазола) пшеницы сорта Иволга препарат увеличивал длительность функционирования листьев растений с поддержанием повышенной интенсивности фотосинтеза и активности нитратредуктазы и усиливал водный обмен за счёт увеличения скорости транспирации [13].

В Орловской области Н.Н. Лысенко, Е.Г. Прудниковой, Н.Л. Хилковой и Е.И. Чекалиным (2011) на производственных посевах пшеницы яровой сорта Дарья в присутствии засухи и болезней было отмечено, что в фазу налива зерна через 5 дней после обработки фунгицидом «Титул 390, концентрат коллоидного раствора (ККР)» (390 г/л пропиконазола) различий по эффективности

поглощения и использования квантов света хлорофиллом между контролем и опытом не обнаружено [14]. В работе Lucia D. Moreyra, Daniela S. Garanzini, Sandra Medici не обнаружено влияния на содержание пигментов в листовом аппарате *Bidens laevis* (L.) при применении и другого триазола (тебуконазола) [15].

Также было изучено влияние применения средств защиты растений на фотосинтетическую активность посевов озимой пшеницы сорта Мироновская 808 в Орловской области. Обработка фунгицидом «Тилт, КЭ» (250 г/л пропиконазола) способствовала увеличению продолжительности активной деятельности листьев, особенно флаг-листа, в среднем на 7–9 дней, при этом листовая поверхность сохранялась в этом варианте до конца восковой спелости. Общий фотосинтетический потенциал за период вегетации при обработке фунгицидом был также выше, чем в вариантах без его применения [16, 17]. Аналогичные исследования были проведены Н.А. Квасовым (1999) в Ставропольском крае [18].

В работе Ю.В. Карпец, Ю.Е. Колупаевой, Т.О. Ястреб и др. (2016) было показано, что обработка седаксаном в концентрации 0,1 мг/мл не влияла на рост растений и содержание фотосинтетических пигментов в листьях озимой пшеницы сортов Досконала, Новокиевская и Бунчук при нормальном увлажнении, но способствовала сохранению содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях растений, подвергнутых засухе [19].

Согласно информации, приведённой в монографии Е.И. Кошкина (2016), контактные препараты, содержащие медь, негативно влияют на ультраструктуру хлоропластов, вызывая перекисное окисление липидов в их мембранах, что впоследствии оказывает негативный эффект на световые реакции фотосинтеза, особенно связанные с фотосистемой II (ФС II), вызывая ингибирование выделения кислорода. У ячменя медь тормозит синтез хлорофилла и его интеграцию в фотосистемы. Стробилурины (в частности пираклостробин) при применении их на озимой пшенице, не влияя на состав пигментов в листовом аппарате, снижали индекс фотосинтеза и транспирации, но замедляли старение листьев за счёт уменьшения количества активных форм кислорода и содержания этилена в них, удлиняя тем самым период активного фотосинтеза. Бензимидазолы ингибируют фотосинтез в растениях многих сельскохозяйственных культур. Вызывая снижение содержания хлорофиллов, дезорганизуя структуру хлоропластов, ингибируя электронный транспорт и инактивируя ФС II, они повышают содержание каротиноидов для включения механизмов фотопротекции, уменьшая тем самым негативные последствия от применения этой группы препаратов на фотосинтез. При обработке этими фунгицидами наблюдается увеличение флуоресценции хлорофилла.

Представители фунгицидов класса триазола, имеющие разные действующие компоненты, могут как ингибировать, так и стимулировать фотосинтез в случае повышения содержания хлорофиллов и внутриклеточной концентрации CO_2 при фотосинтезе. Отмечена также интересная особенность этой группы фунгицидов – они активируют биосинтез хлорофиллов и ускоряют дифференциацию хлоропластов за счёт увеличения в листьях растений содержания цитохинонов. Отдельным пунктом в книге отмечено также, что сохранение листьев зелёными во второй половине вегетации, что положительно сказывается на урожайности, связано не только с влиянием действующих веществ на физиологические

процессы, но и с прямым действием самого препарата, то есть подавлением патогенов [20]. Подробно действие триазолов на физиологические процессы в растениях описано также в обзоре Т.П. Побежимовой, А.В. Корсукова, Н.В. Дорофеева (2019), в котором указано, что применение фунгицидов на основе триазолов увеличивают содержание хлорофилла и других пигментов в растениях, сопровождаясь накоплением крахмала и подавлением активность α -амилазы, фруктанэзогидролазы [1]. Негативное действие флудиоксонила, бензимидазолов и триадимефона, принадлежащего к химическому классу триазолов, на фотосинтетический аппарат растений упоминается в обзоре E.V. Baibakova, E.E. Nefedjeva, Małgorzata Suska-Malawska, Mateusz Wilk, G.A. Sevriukova, V.F. Zheltobriukhov (2019) [21]. Снижение содержания фотосинтетических пигментов при обработке пшеницы дифеноконазолом описано в статье Liu R., Li J., Zhang L., Feng T., Zhang Z., Zhang B. (2021) [22].

Сведения о влиянии триазоловых фунгицидов на содержание пигментов в листовом аппарате пшеницы содержатся также в монографии В.М. Юрина, А.И. Соколика, А.П. Кудряшова и др. (2011). Ростретардантный эффект при применении триазолов теоретически, как пишут авторы, должен быть обусловлен увеличением синтеза хлорофиллов после проведения обработок. Однако было показано, что применение таких фунгицидов приводило к снижению содержания этих пигментов в листьях озимой пшеницы на единицу сухого веса [23].

В исследовании, проведённом Е.В. Байбаковой (2022) на проростках пшеницы, не установлено снижение содержания фотосинтетических пигментов при применении препаратов на основе ципроконазола, флудиоксонила, азоксистробина, протиоконазола и прохлораза [24]. В ряде исследований было установлено, что повреждённые болезнями листья имеют более низкое содержание хлорофилла. Применение фунгицидов в оптимальных нормах применения и соотношениях действующих веществ при этом приводило к увеличению содержания хлорофиллов в листьях пшеницы и ячменя в связи с тем, что увеличивалось количество здоровых растений. Таким образом, фунгициды продемонстрировали свою эффективность, и подтвердилась необходимость их применения. В ряде случаев было также отмечено, что смеси некоторых действующих веществ, например таких как ципроконазол и флудиоксонил, в этом аспекте обладают преимуществами перед индивидуальными действующими веществами [25–28].

В работе С.А.В. Agudelo (2014) отмечается значительное повышение содержания хлорофилла при обработке препаратами на основе бикафена (125 г/л) при норме применения 1 л/га; флуоксастробина (100 г/л) при норме применения 2 л/га; протиоконазола (250 г/л) при применении в норме 0,8 л/га и смеси бикафена и протиоконазола (75 + 150 г/л) в норме применения 1,25 л/га на всех ярусах листьев озимой пшеницы сорта Ритмо в фазы середины молочной спелости (ВВСН 75) и середины восковой спелости (ВВСН 85). Обработки препаратами на основе спироксамина (500 г/л) в норме применения 0,75 л/га, боскалида (500 г/кг) при применении в норме 1 кг/га и смеси спироксамина и протиоконазола (300 + 160 г/л) в норме применения 1,25 л/га к существенному изменению в составе пигментов не приводили [29].

В исследованиях китайских учёных, которые были проведены в 2006–2007 г., при однократном применении в фазе 59 по Задоксу (полное колошение) однокомпонентных фунгицидов содержащих 375 г/л карбендазима, 125 г/л тебуконазола и 250 г/л азоксистробина,

было отмечено значительно большее содержание хлорофиллов а и b на флаг-листьях в фазе развития озимой пшеницы 80 по Задоксу (начало восковой спелости) после обработки этими препаратами по отношению к контролю. В более ранние фазы развития растений после обработки значительных различий по содержанию хлорофиллов не наблюдалось [30].

Бразильскими учёными было изучено в условиях теплицы влияние двукратной обработки (в стадиях по Задоксу: 30 – начало удлинения стебля и 45 – конец фазы выхода в трубку) комбинированным зарегистрированным в этом государстве фунгицидом «Приори Экстра, СК» (200 г/л азоксистробина + 80 г/л ципроконазола) на состав фотосинтетических пигментов в растениях пшеницы сорта Кварцо. Под действием фунгицида происходило уменьшение количества пигментов в листьях пшеницы [31].

В работе литовских учёных по многоаспектному исследованию на посевах озимой пшеницы фунгицидов на основе действующих веществ из классов триазолы и стробилурины отмечено более высокое содержание хлорофиллов в вариантах с применением препаратов на основе стробилуринов, чем триазолов [32]. Китайскими учёными также было установлено более высокое содержание фотосинтетических пигментов в проростках пшеницы, обработанных азоксистробином, по отношению к контролю [33].

Канадские учёные в своих исследованиях выявили положительное влияние фунгицидов на основе паклобутразола, пропиконазола и тетраконазола на пигментный состав пшеничных проростков, предварительно обработанных паракватом. Фунгициды на основе паклобутразола и тетраконазола нивелировали отрицательное действие параквата, увеличивая содержание хлорофиллов и каротиноидов в растениях. Пропиконазол при этом таким эффектом не обладал [34].

Коллективом индийских учёных было выявлено отрицательное влияние высоких норм применения фунгицидов на основе карбендазима на количество фотосинтетических пигментов в растениях [35].

Материал и методы исследования / Materials and method

В качестве базовой методики определения пигментов в листьях растений яровой пшеницы была взята методика С.В. Трифонова (2011) [36]. Модификация методики была проведена с использованием патента «Способ определения хлорофилла в растениях гречихи», авторами которого являются сотрудники Орловского государственного аграрного университета (ОГАУ) В.Т. Лобков и Г.В. Наполова (2003) [37].

Для исследования в лабораторных условиях были взяты 2 трёхкомпонентных препарата с содержанием пропиконазола: «Триада, ККР» (140 г/л пропиконазола + 140 г/л тебуконазола + 72 г/л эпоксиконазола) и «Амистар Трио, КЭ» (125 г/л пропиконазола + 100 г/л азоксистробина + 30 г/л ципроконазола), которые применяли однократно в фазу 37 развития культуры по Задоксу (флаг-лист) в максимальной норме применения, рекомендуемой Государственным каталогом пестицидов и агрохимикатов, разрешённых для применения на территории Российской Федерации: 0,6 л/га («Триада, ККР») и 1,0 л/га («Амистар Трио, КЭ») в условиях отсутствия болезней.

Для проведения исследований растения пшеницы яровой сортов Дарья и Ленинградская 6 выращивали в искусственных климатических условиях. Растения

выращивали в пластиковых горшочках в климатостате «КС-200 СПУ» при ночной температуре 18 °С и дневной – 22 °С с продолжительностью дня и ночи по 12 часов. В качестве грунта была использована готовая садовая смесь с содержанием основных элементов питания $N_{120}P_{230}K_{300}$ и микроэлементов (железа, серы, бора, марганца, меди, молибдена и цинка), рН солевой суспензии ($pH_{КС}$) 5,8 и влажностью не более 60%. В каждый горшочек засыпали по 1 кг этого грунта и высевали по 10 зёрен. Опыт в климатостате был заложен в трёхкратной повторности. Полив осуществляли водой комнатной температуры через каждые 1–2 дня. В зависимости от влажности почвы в каждый горшочек добавляли от 100 до 150 мл воды при каждом поливе. Освещённость в климатостате была 4200 лк. Параллельно с опытными выращивали контрольные варианты.

Отбор проб в трёхкратной повторности на анализ после однократной обработки препаратом «Триада, ККР» на пшенице яровой сортов Дарья и Ленинградская 6 проводили на 4-е сутки после обработки; после однократной обработки препаратом «Амистар Трио, КЭ» – на 8-е и 17-е сутки.

Затем, после лабораторных экспериментов, в Гатчинском районе Ленинградской области на посевах пшеницы яровой сорта Дарья нами было проведено изучение влияния применения фунгицидов на пигментный состав в динамике в полевых условиях на естественном инфекционном фоне. Предшественником этой культуры являлась пшеница озимая, почва при этом была дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая с содержанием гумуса 2,5% и рН 4,6. Было проведено предпосевное внесение азотоса (125 кг/га) и подкормка аммиачной селитрой (150 кг/га).

В исследования были взяты: в качестве однокомпонентного препарата на основе тебуконазола – «Фоликур, КЭ» (250 г/л тебуконазола); двухкомпонентный препарат «Эвито Т, КЭ» (250 г/л тебуконазола + 180 г/л флуоксастробина) и трёхкомпонентный препарат «Солигор, КЭ» (224 г/л спирокарбамата + 148 г/л тебуконазола + 53 г/л протиоконазола). Эти фунгициды применяли двукратно в фазах развития культуры по Задоксу 33 (появление 3-го узла) и 49 (выдвижение колоса) в нормах применения соответственно: два первых – по 1 л/га, а последний – при первой обработке 0,4 л/га; при второй – 0,8 л/га.

Отбор проб на анализ пигментного состава осуществляли в четырёхкратной повторности на 8-е, 15-е и 30-е сутки после второй обработки. Параллельно с этим отбором брали образцы в варианте без обработок. В анализ брали только флаг-лист с 5 случайно выбранных растений из каждой повторности.

Для средней пробы выбирали только флаг-листья пшеницы яровой. По проведённой нами модификации навеску материала брали в количестве 200 мг, измельчали ножницами и закладывали в мерные пробирки на 15 мл со шлифом 14/23. Заливали 10 мл 96%-ного спирта, плотно закрывали притёртыми пробками и оставляли экстрагироваться на 48 часов в холодильнике.

Анализ полученных экстрактов на содержание хлорофилла и каротиноидов проводили на спектрофотометре «ПромЭкоЛаб ПЭ-5400УФ» в стеклянных кюветках с рабочей длиной кюветы 10 мм. В кювету сравнения заливали 96%-ный спирт. Анализировали контрольные и опытные образцы по каждой повторности. Кюветы помещали в кюветную камеру и определяли оптическую плотность (D) вытяжки при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения хлорофилла а и в

и каротиноидов. Коэффициенты экстинкции измеряли при длинах волн, на которых происходит максимум поглощения: для каротиноидов – при 440,5 нм, хлорофилла а – 665 нм, хлорофилла b – 649 нм. Исходный экстракт разбавляли в 6 раз для получения достоверных коэффициентов экстинкции.

Концентрации хлорофилла а и b в экстрактах в 96%-ном спирте рассчитывали по формулам:

$$C_a \text{ (мг/л)} = 13,70 \cdot D_{665} - 5,76 \cdot D_{649},$$

$$C_b \text{ (мг/л)} = 25,80 \cdot D_{649} - 7,60 \cdot D_{665},$$

где C_a и C_b – концентрации хлорофилла а и b в мг/л [38].

Для определения концентрации каротиноидов (мг/л) в суммарном экстракте пигментов была использована формула Ветштейна:

$$C_{кар} = 4,695 \cdot D_{440,5} - 0,268 (C_{a+b}),$$

где C_{a+b} – суммарное содержание хлорофиллов а и b в растворе (мг/л) [39].

Установив концентрацию пигментов в экстракте, определяли их содержание в исследуемом материале с учётом объёма вытяжки и навески пробы по формуле:

$$A = V \cdot C / (P \cdot 1000),$$

где C – концентрация пигментов в мг/л; V – объём вытяжки в мл; P – навеска растительного материала в г; A – содержание пигмента в растительном материале в мг/г сухой массы [36].

Получив данные по вышеуказанным критериям по каждой повторности, выводили средние значения этих показателей. По ним и проводили сравнение между опытными и контрольными образцами по влиянию обработок изучаемыми препаратами на содержание основных пигментов в листьях яровой пшеницы сортов Дарья и Ленинградская 6. Статистическую обработку полученных результатов по оценке существенности различий в пигментном составе проводили с помощью дисперсионного анализа.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Нами была выявлена тенденция к уменьшению количества пигментов на 8-е сутки после опрыскивания под действием обработки фунгицидом «Амистар Трио, КЭ», содержащим в составе пропиконазол, ципроконазол и азоксистробин, в растениях яровой пшеницы сортов Дарья и Ленинградская 6 по отношению к контролю. По результатам статистической обработки это уменьшение носило несущественный характер (табл. 1).

Препарат «Триада, ККР», содержащий пропиконазол, тебуконазол и эпоксиконазол, при его однократном применении на 4-е сутки после обработки растений яровой пшеницы сорта Дарья привёл к существенному снижению содержания хлорофиллов ($HC_{P_{05}} = 3,80$ мг/г) и общего количества пигментов в листовом аппарате ($HC_{P_{05}} = 4,27$ мг/г). Изменение содержания хлорофиллов и пигментов в сторону уменьшения в листовом аппарате яровой пшеницы сорта Ленинградская 6 носило несущественный характер. На содержание каротиноидов применение этих препаратов влияния не оказывало.

В процессе наших исследований в полевых условиях были получены данные по влиянию фунгицидов на состав хлорофиллов (по каждому пигменту) яровой пшеницы сорта Дарья, представленные в табл. 2. В первой колонке указаны не названия изученных препаратов, а комбинации их действующих веществ. Согласно

Таблица 1. Влияние однократной обработки фунгицидами на суммарное содержание пигментов в листовом аппарате яровой пшеницы (2014 г.)

Table 1. The effect of a single treatment with fungicides on the total content of pigments in the leaf apparatus of spring wheat (2014)

Сорт	Вариант	Содержание пигментов в листовом аппарате, мг/г сухой массы	
		Хлорофилл а+b	Хлорофилл а+b + каротиноиды
«Амистар Трио, КЭ»			
Дарья	8-е сутки после обработки	10,62	12,06
	контроль	11,59	13,11
Ленинградская 6	8-е сутки после обработки	10,11	11,51
	контроль	11,32	12,65
Дарья	HCP ₀₅	4,92	5,79
	17-е сутки после обработки	7,82	9,53
	контроль	8,59	9,76
Ленинградская 6	HCP ₀₅	4,85	5,52
	17-е сутки после обработки	7,96	8,97
	контроль	8,22	9,29
«Триада, ККР»			
Дарья	4-е сутки после обработки	11,30	13,35
	контроль	16,22	18,88
Ленинградская 6	HCP ₀₅	3,80	4,27
	4-е сутки после обработки	9,05	11,03
	контроль	9,82	11,80

Таблица 2. Влияние двукратной обработки фунгицидами на содержание хлорофиллов а и b в листовом аппарате яровой пшеницы сорта Дарья

Table 2. Influence of double treatment with fungicides on the content of chlorophylls a and b in the leaf apparatus of spring wheat variety Darya

Комбинации действующих веществ фунгицидов	Содержание хлорофилла а на n-е сутки после 2-й обработки, мг/г сухой массы			Содержание хлорофилла b на n-е сутки после 2-й обработки, мг/г сухой массы		
	8-е	15-е	30-е	8-е	15-е	30-е
Тебуконазол (250 г/л)	8,50	8,52	7,38	5,05	5,17	3,63
Тебуконазол (250 г/л) + флуоксастробин (180 г/л)	7,94	9,12	7,04	4,52	5,61	3,56
Тебуконазол (148 г/л) + протиоконазол (53 г/л) + спироksamин (224 г/л)	8,58	8,98	8,43	5,45	5,36	4,05
Контроль (без обработки)	7,16	8,97	8,16	4,03	5,60	3,92
HCP ₀₅	1,47	1,54	1,44	1,49	1,97	1,40

данным этой таблицы, на 8-е сутки после обработок наименьшее содержание хлорофиллов отмечалось в контроле, а наибольшее – в варианте с применением препарата на основе спироksамина, тебуконазола и протиоконазола. К 15-м суткам после проведения обработки во всех вариантах опыта произошло увеличение содержания хлорофиллов, а на 30-е сутки после обработки снижение – их содержания в листовом аппарате пшеницы яровой.

На рис. 1 представлен график изменения содержания каротиноидов в листовом аппарате яровой пшеницы сорта Дарья под действием фунгицидов в динамике.

Обработки препаратом на основе тебуконазола практически не приводили к изменению содержания каротиноидов в листовом аппарате яровой пшеницы на всём протяжении проведения эксперимента. Применение двухкомпонентного препарата на основе флуоксастробина и тебуконазола к 15-м суткам после проведения

обработок привело к увеличению содержания каротиноидов, а к 30-м – к его падению. Количество каротиноидов в листовом аппарате яровой пшеницы непрерывно росло после проведения обработок препаратом «Солигор, КЭ» по аналогии с контролем, но в контроле оно было ниже. HCP₀₅ на 8-е, 15-е и 30-е сутки после 2-й обработки составляла соответственно 0,21; 0,39 и 0,26 мг/г в пересчёте на сухое вещество.

Результаты статистической обработки данных по оценке влияния применения фунгицидов на содержание пигментов (по группам) показали, что вышеобозначенные тенденции носили несущественный характер.

Тенденции как в отношении к суммарным показателям хлорофиллов а и b, так и в отношении к общему содержанию пигментов после обработок фунгицидами носят одинаковый характер. Данные, приведённые на рис. 2, отражают закономерность изменения содержания пигментов под действием обработок фунгицидами по аналогии

Рис. 1. Содержание каротиноидов в растениях яровой пшеницы сорта Дарья, двукратно обработанных фунгицидами

Fig. 1. The content of carotenoids in plants of spring wheat of the Daria variety, twice treated with fungicides

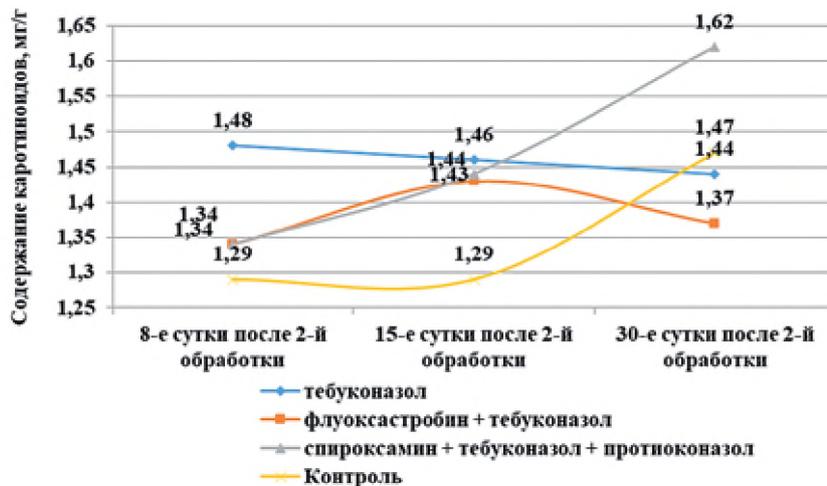
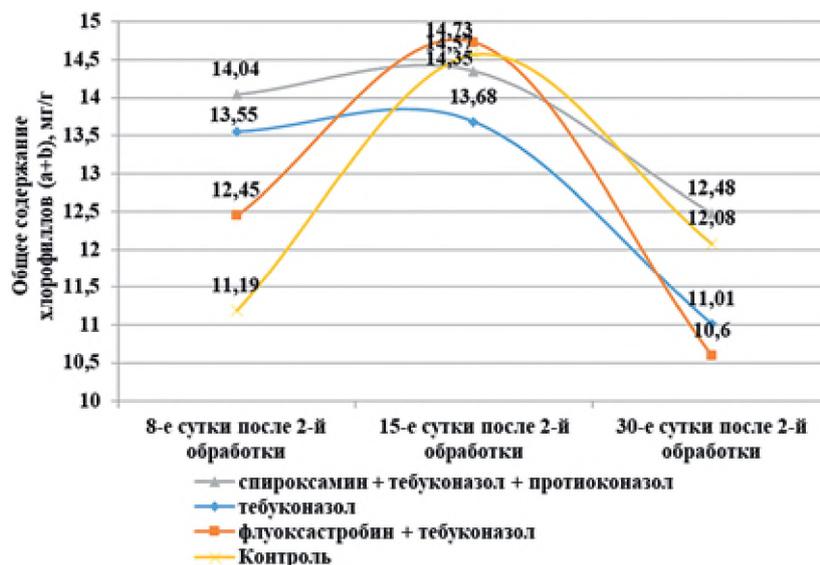
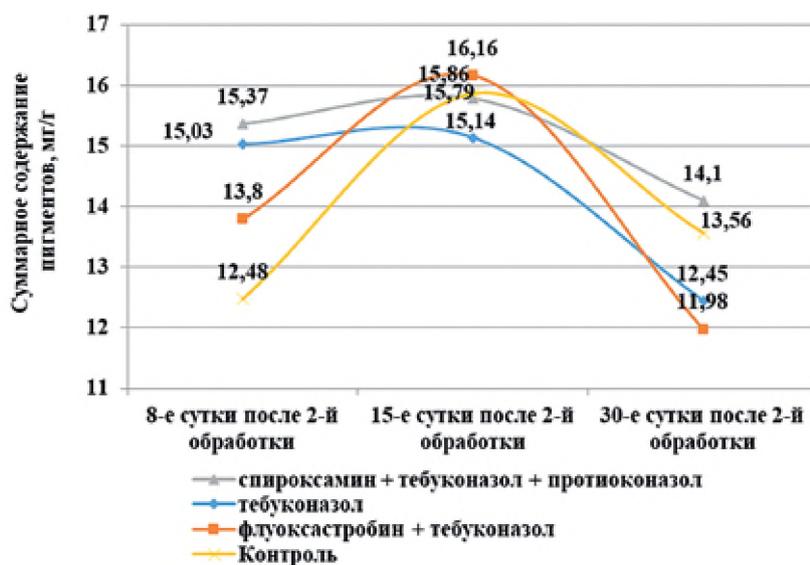


Рис. 2. Суммарное содержание пигментов в растениях яровой пшеницы сорта Дарья, двукратно обработанных фунгицидами

Fig. 2. The total content of pigments in plants of spring wheat of the Darya variety, twice treated with fungicides



с закономерностями изменения количества хлорофиллов по отдельности (а и b). Однако, стоит отметить, что применение препарата «Солигор, КЭ» на основе спирокамина, тебуконазола и протиоконазола на 8-е сутки после проведения обработки привело к существенно статистически достоверному увеличению содержания пигментов (содержание хлорофиллов а+в и общий пигментный состав) в листовом аппарате яровой пшеницы сорта Дарья по отношению к контролю (НСР₀₅ по сумме хлорофиллов – 2,84 мг/г; НСР₀₅ по суммарному содержанию пигментов – 2,76 мг/г сухой массы).

Данные по эффективности против возбудителей мучнистой росы и септориозно-пиренофорозной пятнистости, зафиксированных в 2015 году в качестве основных возбудителей болезней вегетирующих растений, свидетельствуют о высокой биологической эффективности препарата «Фоликур, КЭ»: 97,4–100% против мучнистой росы и 89,8–98,5% против пятнистостей. Препарат «Эвито Т, КС» обеспечивал снижение развития мучнистой росы на 97,9–100%; пятнистостей – на 89,0–97,0%. Биологическая эффективность трёхкомпонентного препарата «Солигор, КЭ» против мучнистой росы составила 100% и против пятнистостей – 91,4–100%. Развитие болезней в контроле – до 16,3% (мучнистая роса) и до 24,5% (пятнистости).

Результаты опытов по оценке влияния фунгицидов на урожайность яровой пшеницы сорта Дарья приведены в табл. 3.

Согласно этим сведениям, наибольшую статистически достоверную прибавку урожайности относительно контроля обеспечивало применение трёхкомпонентного препарата «Солигор, КЭ». По массе зерна с 1 колоса существенные различия между контролем и опытом выявлены только в варианте с применением препарата «Фоликур, КЭ». По массе 1000 зерен отмечены существенные различия между контролем и опытом у всех изучаемых препаратов.

В связи с тем, что биологическая эффективность трёх изучаемых фунгицидов против мучнистой росы и септориозно-пиренофорозной пятнистости была высокой (89–100%) и примерно одинаковой во всех вариантах опыта, возможно, что наибольшие по-

Таблица 3. Влияние обработок фунгицидами на урожайность яровой пшеницы сорта Дарья в Ленинградской области
Table 3. The effect of fungicide treatments on the yield of spring wheat of the Darya variety in the Leningrad region

№ п/п	Комбинация действующих веществ	Норма применения, л/га	Кратность обработок	Масса 1000 зёрен, г	Урожайность		Масса зерна с 1 колоса, г
					ц/га	% к контролю	
1	Тебуконазол (250 г/л)	1,0	2	43,2	56,5	122,0	1,26
2	Тебуконазол (250 г/л) + флуоксастробин (180 г/л)	1,0	2	44,3	59,7	128,7	1,10
3	Тебуконазол (148 г/л) + протиокназол (53 г/л) + спирокарсамин (224 г/л)	0,4 + 0,8	2	44,8	64,8	142,3	1,13
4	Контроль (без обработки)	–	–	39,6	46,3	–	0,90
			НСР ₀₅	3,4	9,6	–	0,30

казатели массы 1000 зёрен и прибавки урожайности при применении препарата «Солигор, КЭ» являются следствием не только его высокой биологической эффективности, но и его влияния на пигментный состав в листовом аппарате яровой пшеницы через неделю после проведения второй обработки. Прибавки по показателям массы 1000 зёрен и урожайности по двум остальным препаратам стоит объяснить прежде всего их высокой биологической эффективностью, так как в ходе проведения опыта было выявлено незначительное влияние на пигментный состав в листовом аппарате яровой пшеницы.

Согласно исследованиям В.Г. Ладыгина и Г.Н. Ширшиковой (2006), каротиноиды в растениях выполняют ряд важнейших функций, а именно: фотозащитную, светособирающую, структурную, а также принимают непосредственное участие в процессах фотосистем I и II. Светособирающая функция, которую выполняют ряд каротиноидов, заключается в передаче поглощённой энергии света на хлорофилл b. Фотозащитная функция заключается в том, что при избыточном освещении в присутствии кислорода каротиноиды ксантофилловых циклов предохраняют хлорофиллы и липиды фотосинтетических мембран от фотодеструкции [40]. В наших исследованиях применение препарата «Солигор, КЭ» приводило пусть к незначительному, но увеличению этих важных для растения пигментов, что способствовало лучшему сохранению хлорофиллов в листовом аппарате растений пшеницы яровой сорта Дарья, вследствие чего деятельность фотосинтетического аппарата сохранялась дольше, чем при обработках препаратами

«Фоликур, КЭ» и «Эвито Т, КС». Более того, в варианте с применением наблюдалось существенное начальное увеличение продуктивности фотосинтеза в фазе колошения – налива зерна, что, вероятно, привело к более интенсивному накоплению полезных веществ будущего урожая. В связи с этим сильное влияние на урожайность обработок этого препарата можно объяснить не только его высокой биологической эффективностью против болезней пшеницы яровой, но и его косвенным положительным действием на фотосинтетические процессы в растениях, отвечающие за продуктивность.

Выводы / Conclusion

В результате проведённых лабораторных исследований фунгицида «Амистар Трио, КЭ» было установлено, что существенного влияния на пигментный состав листьев яровой пшеницы сортов Дарья и Ленинградская 6 он не оказал. Препарат «Триада, ККР» на 4-е сутки после обработки снижал общее содержание хлорофиллов (11,30 мг/г – опыт; 16,22 мг/г – контроль, при НСР₀₅ 3,80 мг/г сухой массы) и общее содержание фотосинтетических пигментов (13,35 мг/г – опыт; 18,88 мг/г – контроль, при НСР₀₅ 4,27 мг/г сухой массы) в листовом аппарате пшеницы яровой только сорта Дарья. Существенные изменения в сторону увеличения содержания фотосинтетических пигментов выявлены на 8-е сутки после 2-й обработки препаратом «Солигор, КЭ» в полевых опытах на сорте Дарья. Содержание хлорофиллов и общее содержание пигментов в опыте было соответственно 14,04 и 15,37 мг/г сухой массы; в контроле – 11,19 и 12,48 мг/г сухой массы при НСР₀₅ 2,84 и 2,76 мг/г.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Побежимова Т.П., Корсукова А.В., Дорофеев Н.В., Грабельных О.И. Физиологические эффекты действия на растения фунгицидов триазольной природы. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2019; Т. 9; 3: 461–475
2. Sharma, A.; Kumar, V.; Thukral, A.; Bhardwaj, R. Responses of Plants to Pesticide Toxicity: An Overview. *Planta Daninha*. 2019. 37: e019184291, Doi: 10.1590/S0100-83582019370100065.
3. Санин С.С., Сандухадзе Б.И., Мамедов Р.З., Карлова Л.В., Корнева Л.Г., Рулева О.М., Санин Ст.С. Технологии интенсивного зернопроизводства и защита растений. *Защита и карантин растений*. 2021. 5: 9–16. DOI 10.47528/102658634_2021_5_9
4. Шпанёв А.М., Смук В.В. Влияние азотного питания на фитосанитарное состояние посевов озимой пшеницы в Северо-Западном регионе РФ. *Агрохимия*. 2019. 1: 58–65 DOI: 10.1134/S0002188119010101
5. Долженко В.И., Сухорученко Г.И., Лаптев А.Б. Развитие химического метода защиты растений в России. *Защита и карантин растений*. 2021. 4: 3–13, DOI 10.47528/102658634_2021_4_3

REFERENCES

1. Pobezhimova T.P., Korsukova A.V., Dorofeev N.V., Grabel'nyh O.I. Physiological effects of triazole fungicides on plants. *Izvestiya vuzov. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2019; T. 9; 3: 461–475 (In Russian.)
2. Sharma, A.; Kumar, V.; Thukral, A.; Bhardwaj, R. Responses of Plants to Pesticide Toxicity: An Overview. *Planta Daninha*. 2019. 37: e019184291, Doi: 10.1590/S0100-83582019370100065.
3. Sanin S.S., Sanduhadze B.I., Mamedov R.Z., Karlova L.V., Korneva L.G., Ruleva O.M., Sanin St.S. Technologies of intensive grain production and plant protection. *Plant protection and quarantine*. 2021. 5: 9–16 (In Russian.)
4. Shpanyov A.M., Smuk V.V. Influence of nitrogen nutrition on the phytosanitary state of winter wheat crops in the North-West region of the Russian Federation. *Agrochemistry*. 2019. 1: 58–65 (In Russian.)
5. Dolzhenko V.I., Suhoruchenko G.I., Laptiev A.B. Development of the chemical method of plant protection in Russia. *Plant protection and quarantine*. 2021. 4: 3–13 (In Russian.)

6. Гришечкина Л.Д., Долженко В.И., Кунгурцева О.В., Ишкова Т.И., Здрозжевская С.Д. Развитие исследований по формированию современного ассортимента фунгицидов. *Агрохимия*. 2020. 9: 32–47 (In Russian.)
7. Гришечкина Л.Д. Агробиологическое и экотоксикологическое обоснование формирования ассортимента фунгицидов для защиты пшеницы. В автореф. диссертации на соискание учёной степени доктора сельскохозяйственных наук. Санкт-Петербург-Пушкин. 2018: 15–34
8. Говоров Д.Н., Живых А.В., Шабельникова А.А. Применение пестицидов. Год 2020-й. *Защита и карантин растений*. 2021. 6: 3–4. DOI 10.47528/1026\$8634_2021_6_3
9. Крупенько Н. А., Одицова И. Н. Особенности действия и ретроспективный анализ эффективности фунгицидов для защиты пшеницы мягкой озимой от болезней листового аппарата. *Вестник защиты растений*. 2020. 103(4): 224–232 doi.org/10.31993/2308-6459-2020-103-4-13741
10. Лукпанов Ж.Л. Изменение основных физиологических и биохимических показателей пшеницы под влиянием пестицидов. *Защита зерновых культур от вредителей, болезней и сорняков. Труды Казахского научно-исследовательского института защиты растений*. Алма-Ата; 1973; Т. XII: 202–207
11. Федулов Ю.П., Подушин Ю.В. *Фотосинтез и урожай. В кн. Фотосинтез и дыхание растений: учеб. пособие*. Краснодар: КубГАУ. 2019. 51–57
12. Tsialtas J.T., Theologidou G.S., Karaoglanidis G.S. Effects of pyraclostrobin on leaf diseases, leaf physiology, yield and quality of durum wheat under Mediterranean conditions. *Crop Protection*. 2018. 113: 48–55.
13. Иванов А.А., Шабнова Н.И., Дунаева Ю.С., Кособрюхов А.А. Увеличение продолжительности жизни листьев пшеницы при обработке растений фунгицидом. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2013; Т. 45; 2: 164–172
14. Лысенко Н.Н., Макеева Т.Ф., Прудникова Е.Г., Прудникова Н.Л. Влияние удобрений и фунгицидов на фитосанитарное, физиологическое состояние и продуктивность зерновых культур. *Вестник Орловского государственного аграрного университета*. 2012; 4 (37): 14–20
15. Moreyra L.D., Garanzini D.S., Medici S., Menone M.L. Evaluation of growth, photosynthetic pigments and genotoxicity in the wetland macrophyte *Bidens laevis* exposed to tebuconazole. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2019; Vol. 102; 3: 353–357. DOI: 10.1007/s00128-019-02539-8.
16. Макаров В.И. Эффективность применения удобрений и пестицидов в интенсивной технологии возделывания озимой пшеницы на серых лесных почвах. *Удобрения и мелиоранты в интенсивном земледелии Центрально-Чернозёмной зоны. Сборник научных трудов Воронежского сельскохозяйственного института имени К.Д. Глинки*. Воронеж; 1989: 78–82 (In Russian.)
17. Макаров В.И., Коломейченко В.В. Влияние удобрений и средств химической защиты растений на фотосинтетическую деятельность и урожай озимой пшеницы. *Удобрения и мелиоранты в интенсивном земледелии Центрально-Чернозёмной зоны. Сборник научных трудов Воронежского сельскохозяйственного института имени К.Д. Глинки*. Воронеж; 1989: 59–68
18. Квасов Н.А. Влияние комплексного применения средств химизации на формирование урожая озимой пшеницы по различным предшественникам. *Пути повышения качества зерна сельскохозяйственных культур. Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института сельского хозяйства*. Ставрополь; 1999: 117–130
19. Карпец Ю.В., Колупаев Ю.Е., Ястреб Т.О., Луговая А.А., Заряная Е.Ю. Влияние фунгицида седаксан на устойчивость растений пшеницы (*Triticum aestivum* L.) различных экотипов к почвенной засухе. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія Біологія*. 2016; 3(39): 39–47
20. Кошкин Е.И. Физиологические эффекты фунгицидов и гербицидов. В кн. *Патофизиология сельскохозяйственных культур: учеб. пособие*. Москва: Проспект. 2016. 87–106
21. Baibakova E.V., Nefedjeva E.E., Matgorzata Suska-Malawska, Mateusz Wilk, Seviukova G.A., Zheltobriukhov V.F. Modern Fungicides: Mechanisms of Action, Fungal Resistance and Phytotoxic effects. *Annual Research & Review in Biology*. 2019. 3(32): 1–16.
22. Liu, R.; Li, J.; Zhang, L.; Feng, T.; Zhang, Z.; Zhang, B. Fungicide Difenoconazole Induced Biochemical and Developmental Toxicity in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plants*. 2021. 10: 2304, doi.org/10.3390/plants10112304.
23. Юрин В.М., Соколик А.И., Кудряшов А.П., Дитченко Т.И., Яковец О.Г., Крытынская Е.Н. Пестициды и растения: влияние на ион-транспортные системы плазматической мембраны: монография. Минск: Изд. Центр БГУ. 2011. 23–30
24. Байбакова Е.В. Физиологические аспекты повышения устойчивости проростков пшеницы и ячменя к ретардантному действию фунгицидов. Диссертация на соискание учёной степени кандидата сельскохозяйственных наук. Волгоград; 2022. 59–61, 111–116
25. Baybakova E. V., Nefedjeva E. E., Suska-Malawska M. The influence of cyproconazole, fludioxonil and preparations on their basis on the growth of wheat and barley, and grains contamination with fungal diseases. Conference: *The All-Russian Scientific Conference with International Participation and Schools of Young Scientists "Mechanisms of resistance of plants and microorganisms to unfavorable environmental"*. 2018: 102–105.
6. Grishechkina L.D., Dolzhenko V.I., Kungurceva O.V., Ishkova T.I., Zdrozhevskaya S.D. Development of research on the formation of a modern range of fungicides. *Agrochemistry*. 2020. 9: 32–47 (In Russian.)
7. Grishechkina L.D. Agrobiological and ecotoxicological substantiation of the formation of an assortment of fungicides for the protection of wheat. *Abstract dissertations for the degree of doctor of agricultural sciences*. Sankt-Peterburg-Pushkin. 2018: 15–34 (In Russian.)
8. Govorov D.N., Zhivyh A.V., SHabel'nikova A.A. Application of pesticides. Year 2020. *Plant protection and quarantine*. 2021. 6: 3–4 (In Russian.)
9. Krupen'ko N. A., Odincova I. N. Peculiarities of action and retrospective analysis of the effectiveness of fungicides for the protection of soft winter wheat from leaf diseases. *Herald of plant protection*. 2020. 103(4): 224–232 (In Russian.)
10. Lukpanov Zh.L. Changes in the basic physiological and biochemical parameters of wheat under the influence of pesticides. *Proceedings of the Kazakh Research Institute of Plant Protection harvest*. Alma-Ata; 1973; T. XII: 202–207 (In Russian.)
11. Fedulov YU.P., Podushin YU.V. *Photosynthesis and rotection of crops from pests, diseases and weeds. In Photosynthesis and respiration of plants*. Krasnodar: KubGAU. 2019. 51–57 (In Russian.)
12. Tsialtas J.T., Theologidou G.S., Karaoglanidis G.S. Effects of pyraclostrobin on leaf diseases, leaf physiology, yield and quality of durum wheat under Mediterranean conditions. *Crop Protection*. 2018. 113: 48–55.
13. Ivanov A.A., Shabnova N.I., Dunaeva Yu.S., Kosobryuhov A.A. Increasing the lifespan of wheat leaves when treating plants with a fungicide. *Physiology and biochemistry of cultivated plants*. 2013; T. 45; 2: 164–172 (In Russian.)
14. Lyсенко N.N., Makeeva T.F., Prudnikova E.G., Prudnikova N.L. The effect of fertilizers and fungicides on the phytosanitary, physiological state and productivity of grain crops. *Bulletin of the Oryol State Agrarian University*. 2012; 4 (37): 14–20 (In Russian.)
15. Moreyra L.D., Garanzini D.S., Medici S., Menone M.L. Evaluation of growth, photosynthetic pigments and genotoxicity in the wetland macrophyte *Bidens laevis* exposed to tebuconazole. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2019; Vol. 102; 3: 353–357. DOI: 10.1007/s00128-019-02539-8.
16. Makarov V.I. The effectiveness of fertilizers and pesticides in intensive winter wheat cultivation technology on gray forest soils. *Fertilizers and ameliorants in intensive agriculture of the Central Chernozem zone. Collection of scientific papers of the Voronezh Agricultural Institute named after K.D. Glinka*. Voronezh; 1989: 78–82 (In Russian.)
17. Makarov V.I., Kolomejchenko V.V. The effect of fertilizers and chemical plant protection products on photosynthetic activity and winter wheat yield. *Fertilizers and ameliorants in intensive agriculture of the Central Chernozem zone. Collection of scientific papers of the Voronezh Agricultural Institute named after K.D. Glinka*. Voronezh; 1989: 59–68 (In Russian.)
18. Kvasov N.A. The effect of the complex application of chemicalization agents on the formation of the winter wheat crop according to various precursors. *Ways to improve the quality of grain crops. Collection of scientific papers of the Stavropol Research Institute of Agriculture*. Stavropol; 1999: 117–130 (In Russian.)
19. Karpec Yu.V., Kolupaev Yu.E., Yastreb T.O., Lugovaya A.A., Zayaynaya E.Yu. The effect of sedaxan fungicide on the resistance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) of various ecotypes to soil drought. *Visnik of Kharkiv National Agrarian University. Series Biology*. 2016; 3(39): 39–47 (In Ukrainian)
20. Koshkin E.I. Physiological effects of fungicides and herbicides. In *Pathophysiology of agricultural crops*. Moscow: *Prospekt*. 2016. 87–106 (In Russian.)
21. Baibakova E.V., Nefedjeva E.E., Matgorzata Suska-Malawska, Mateusz Wilk, Seviukova G.A., Zheltobriukhov V.F. Modern Fungicides: Mechanisms of Action, Fungal Resistance and Phytotoxic effects. *Annual Research & Review in Biology*. 2019. 3(32): 1–16.
22. Liu, R.; Li, J.; Zhang, L.; Feng, T.; Zhang, Z.; Zhang, B. Fungicide Difenoconazole Induced Biochemical and Developmental Toxicity in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plants*. 2021. 10: 2304, doi.org/10.3390/plants10112304.
23. Yurin V.M., Sokolik A.I., Kudryashov A.P., Ditchenko T.I., Yakovets O.G., Krytynskaya E.N. Pesticides and plants: influence on ion transport systems of plasma membrane: monograph. Minsk: *Izd. Centr BGU*. 2011. 23–30 (In Russian.)
24. Bajbakova E.V. Physiological aspects of increasing the resistance of wheat and barley seedlings to the retardant action of fungicides. Dissertation for the degree of candidate of agricultural sciences. Volgograd; 2022. 59–61, 111–116 (In Russian.)
25. Baybakova E. V., Nefedjeva E. E., Suska-Malawska M. The influence of cyproconazole, fludioxonil and preparations on their basis on the growth of wheat and barley, and grains contamination with fungal diseases. Conference: *The All-Russian Scientific Conference with International Participation and Schools of Young Scientists "Mechanisms of resistance of plants and microorganisms to unfavorable environmental"*. 2018: 102–105.

26. Байбакова Е.В., Нефедьева Е.Э. Анализ эффективности и фитотоксичности нового трёхкомпонентного фунгицида. *Аграрная наука*. 2019. 2: 160–164. doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-2-160-164
27. Байбакова Е.В., Нефедьева Е.Э., Белопухов С.Л., Зорькина О.В., Желтобрюхов В.Ф., Колотова О.В., Могилевская И.В. Физиологические особенности действия флудиоксонила и ципроконазола на прорастание зерновок пшеницы. *Электронный научно-производственный журнал «АгроЭкоИнфо»*. 2021. 45(3): 1–19
28. Нефедьева Е.Э. Зорькина О.В., Гераскин С.А., Белопухов С.Л. Влияние различных соотношений азоксистробина, пропиконазола и прохлораз на токсигенные свойства фитопатогенных грибов. *Буллеровские сообщения*. 2021. Т.65; 1: 98–104. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/21-65-1-98
29. Agudelo C.A.B. Effects of fungicides on physiological parameters and yield formation of wheat assessed by non-invasive sensors, Inaugural. Dissertation zur Erlangung des Grades Doktor der Agrarwissenschaften der Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, vorgelegt am 15.05.2013; Tunja; Kolumbien; 2014: 25–73.
30. Yan-Jun Zhang, Xiao Zhang, Chang-Jun Chen, Ming-Guo Zhou, Han-Cheng Wang Effects of fungicides JS399-19, azoxystrobin, tebuconazole, and carbendazim on the physiological and biochemical indices and grain yield of winter wheat. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2010; 98: 151–157.
31. Marques L.N.; Balardin R.S.; Stefanello M.T.; Pezzini D.T.; Gulart C.A.; J.P. de Ramos; Faria J.G. Physiological, biochemical, and nutritional parameters of wheat exposed to fungicide and foliar fertilizer. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*. 2016; Т. 37; 3: 1243–1254.
32. Gaurilčikienė I., Butkutė B., Mankevičiūnė A. A Multi-aspect Comparative Investigation on the Use of Strobilurin and Triazole – based Fungicides for Winter Wheat Disease Control. *Fungicides*. 2010: 69–94.
33. Chiu-Yueh LAN, Kuan-Hung LIN, Wen-Dar HUANG, Chang-Chang CHEN Physiological Effects of the Fungicide Azoxystrobin on Wheat Seedlings under Extreme Heat. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2019. 47(3): 683–690. DOI:10.15835/nbha47311448.
34. Gilley A., Fletcher R.A. Relative efficacy of paclobutrazol, propiconazole and tetraconazole as stress protectants in wheat seedlings. *Plant Growth Regulation*. 1997; 21: 169–175.
35. Rangwala Tasneem, Bafna Angurbala, Maheshwari R.S. Harmfull effects of Fungicide Treatment on Wheat (*Triticum aestivum* L.) Seedlings. *International Research Journal of Environment Sciences*. 2013; 2(8): 1–5.
36. Трифонов С.В. Определение содержания основных пигментов фотосинтетического аппарата в листьях высших растений. Методические указания к лабораторной работе. Специальный физический практикум для магистрантов. Красноярск: ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». 2011: 15 с.
37. Лобков В.Т., Наполова Г.В. Способ определения хлорофилла в растениях гречихи, Патент на изобретение № 2244916. *Орловский государственный аграрный университет*; дата публикации – 20.01.2005; дата начала действия патента – 02.07.2003
38. Wintermans I.F., A. De Mots Spectrophotometric Characteristics of Chlorophyll a and b their Pheophytins in Ethanol. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1965; 109: 448–453.
39. Wettstein P. Von Chrotyll – letal und der submicroscopische Form wechsel der Plastiden. *Experimental Cell Research*. 1957; 12; 4: P. 427–431.
40. Ладыгин В.Г., Ширшикова Г.Н. Современные представления о функциональной роли каротиноидов в хлоропластах эукариот. *Молекулярная биология, цитология, ботаника*. Т. 67; 2006; 3: 163–189
26. Bajbakova E.V., Nefed'eva E.E. Analysis of the effectiveness and phytotoxicity of a new three-component fungicide. *Agrarian science*. 2019. 2: 160–164 (In Russian.)
27. Bajbakova E.V., Nefed'eva E.E., Belopuhov S.L., Zor'kina O.V., Zheltobryuhov V.F., Kolotova O.V., Mogilevskaya I.V. Physiological features of the action of fludioxonil and cyproconazole on the germination of wheat grains. *Electronic scientific and production journal "AgroEcolInfo"*. 2021. 45(3): 1–19 (In Russian.)
28. Nefed'eva E.E. Zor'kina O.V., Geras'kin S.A., Belopuhov S.L. Influence of different ratios of azoxystrobin, prothioconazole and prochloraz on toxicogenic properties of phytopathogenic fungi. *Butlerov messages*. 2021. Т.65; 1: 98–104 (In Russian.)
29. Agudelo C.A.B. Effects of fungicides on physiological parameters and yield formation of wheat assessed by non-invasive sensors, Inaugural. Dissertation zur Erlangung des Grades Doktor der Agrarwissenschaften der Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, vorgelegt am 15.05.2013; Tunja; Kolumbien; 2014: 25–73.
30. Yan-Jun Zhang, Xiao Zhang, Chang-Jun Chen, Ming-Guo Zhou, Han-Cheng Wang Effects of fungicides JS399-19, azoxystrobin, tebuconazole, and carbendazim on the physiological and biochemical indices and grain yield of winter wheat. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2010; 98: 151–157.
31. Marques L.N.; Balardin R.S.; Stefanello M.T.; Pezzini D.T.; Gulart C.A.; J.P. de Ramos; Faria J.G. Physiological, biochemical, and nutritional parameters of wheat exposed to fungicide and foliar fertilizer. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*. 2016; Т. 37; 3: 1243–1254.
32. Gaurilčikienė I., Butkutė B., Mankevičiūnė A. A Multi-aspect Comparative Investigation on the Use of Strobilurin and Triazole – based Fungicides for Winter Wheat Disease Control. *Fungicides*. 2010: 69–94.
33. Chiu-Yueh LAN, Kuan-Hung LIN, Wen-Dar HUANG, Chang-Chang CHEN Physiological Effects of the Fungicide Azoxystrobin on Wheat Seedlings under Extreme Heat. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2019. 47(3): 683–690. DOI:10.15835/nbha47311448.
34. Gilley A., Fletcher R.A. Relative efficacy of paclobutrazol, propiconazole and tetraconazole as stress protectants in wheat seedlings. *Plant Growth Regulation*. 1997; 21: 169–175.
35. Rangwala Tasneem, Bafna Angurbala, Maheshwari R.S. Harmfull effects of Fungicide Treatment on Wheat (*Triticum aestivum* L.) Seedlings. *International Research Journal of Environment Sciences*. 2013; 2(8): 1–5.
36. Трифонов С.В. Determination of the content of the main pigments of the photosynthetic apparatus in the leaves of higher plants. Methodological guidelines for laboratory work. A special physical workshop for undergraduates. Krasnoyarsk: FGAOU VPO "Siberian Federal University". 2011: 15 p. (In Russian.)
37. Lobkov V.T., Napolova G.V. Method for determining chlorophyll in buckwheat plants, Patent for invention No. 2244916; 02.07.2003 (In Russian.)
38. Wintermans I.F., A. De Mots Spectrophotometric Characteristics of Chlorophyll a and b their Pheophytins in Ethanol. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1965; 109: 448–453.
39. Wettstein P. Von Chrotyll – letal und der submicroscopische Form wechsel der Plastiden. *Experimental Cell Research*. 1957; 12; 4: P. 427–431.
40. Ladygin V.G., Shirshikova G.N. Modern ideas about the functional role of carotenoids in eukaryotic chloroplasts. *Molecular biology, cytology, botany*. Т. 67; 2006; 3: 163–189 (In Russian.)

ОБ АВТОРАХ:

Наталья Геннадьевна Зубко,
младший научный сотрудник,
Всероссийский научно-исследовательский институт
защиты растений,
ш. Подбельского, д. 3, г. Пушкин, Санкт-Петербург,
196608, Российская Федерация
e-mail: sacura0@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5956-8931>

Татьяна Васильевна Долженко,
доктор биологических наук,
доцент, ведущий научный сотрудник
– Санкт-Петербургский государственный аграрный
университет,
д. 2, Петербургское шоссе, г. Пушкин, Санкт-Петербург,
196601, Российская Федерация
– ООО «ИЦЗР», ул. Пушкинская, д. 20, лит. А, г. Пушкин,
Санкт-Петербург, 196607, Российская Федерация
e-mail: dolzhenkotv@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4139-2664>

ABOUT THE AUTHORS:

Natalia Gennadievna Zubko,
junior researcher,
St. Petersburg All-Russian Institute of Plant Protection,
h. Podbelskogo, 3, Pushkin, St. Petersburg, 196608,
Russian Federation
e-mail: sacura0@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5956-8931>

Tatiana Vasilyevna Dolzhenko,
doctor of biological sciences,
associate professor, professor
– St. Petersburg State Agrarian University,
2, Petersburg Highway, Pushkin, St. Petersburg, 196601,
Russian Federation
– LLC «ICZR», st. Pushkinskaya, 20, lit. A, Pushkin, St. Petersburg,
196607, Russian Federation
e-mail: dolzhenkotv@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4139-2664>