Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

УДК 513.234

Физиологические особенности действия флудиоксонила и ципроконазола на прорастание зерновок пшеницы

Байбакова Е.В.[1], Нефедьева Е.Э.[1], Белопухов С.Л.[3], Зорькина О.В.[2], Желтобрюхов В.Ф.[1], Колотова О.В.[1], Могилевская И.В.[1]

[1]Волгоградский государственный технический университет

[2]Волгоградский государственный университет

[3]Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева

Аннотация

В работе впервые проведена комплексная оценка фунгицидного и фитотоксического действия фунгицидов ципроконазола и флудиоксонила как по отдельности, так и в смеси, на пшеницу. В исследуемых дозах ципроконазол и флудиоксонил демонстрировали высокую эффективность против фитопатогенных грибов. Под влиянием ряда доз фунгицидов наблюдалось торможение роста побегов и корней. Ципроконазол тормозил рост побега, а флудиоксонил ингибировал рост только в высоких дозах; к 8 суткам проращивания ингибирование роста проростков пшеницы прекращалось. К этому времени под действием фунгицидов увеличивалась относительная скорость роста, особенно в тех вариантах, где рост был изначально заторможен. Чистая продуктивность фотосинтеза в большинстве вариантов соответствовала контролю. Рекомендуемые дозы фунгицидов не способствовали снижению содержания хлорофилла и его флуоресценции. По комплексу признаков предпочтение отдано сочетанию CF 1:4 как эффективному против фитопатогенных грибов, не обладающему ни ретардантным, ни стимулирующим действием.

Ключевые слова: *TRITICUM AESTIVUM* L., ФУНГИЦИДЫ; ВСХОЖЕСТЬ, РОСТ РАСТЕНИЙ, ХЛОРОФИЛЛ, ЧИСТАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ФОТОСИНТЕЗА

Введение

Один из главных факторов увеличения урожайности сельскохозяйственных

культур – эффективная защита растений от болезней, вредителей и сорняков. Химический метод занимает значительное место в борьбе с потерями урожая [1]. Наиболее популярным и доступным средством остаются фунгициды [2]. Они необходимы для повышения продуктивности растений, но оказывают неблагоприятное воздействие на окружающую среду и на сами растения. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), снижение отрицательного воздействия и дозировок вредных веществ на здоровье человека является одной из труднорешаемых экологических проблем [3]. Последнее поколение химических средств защиты растений характеризуется расширением ассортимента; появились синтетические пиретроиды, производные сульфонилмочевины, азолы и др., начинается производство комбинированных пестицидов, химических соединений [4]. Несмотря на эффективность против грибов-фитопатогенов, действующие вещества фунгицидов (д.в.) могут проявлять токсичность не только по отношению к грибам, но и по отношению к защищаемым растениям, а также к человеку и животным. Широкое использование фунгицидов в защите растений приводит к долгосрочному накоплению остатков в продуктах питания и окружающей среде [5]. Физиологические исследования после применения фунгицидов на растениях показали изменения фотосинтетической активности и флуоресценции хлорофилла *a* [6]. Снижение ассимиляции CO_2 в обработанных фунгицидами растениях объясняется как устьичными (из-за закрытия устьиц) [7], так и неустьичными эффектами из-за нарушения способности карбоксилирования РуБисКО, снижения содержания РуБисКО и/или снижения регенерации рибулозы-1,5-бисфосфата [5, 8]. Обработка стробилуринами вызывала разные реакции: в то время как у растений *Triticum aestivum* и *Spinacia oleracea* дыхание подавлялось [9, 10], у *T. aestivum* темное дыхание было снижено [8]. Описана защитная функция триазолов у *Hordeum vulgare* и *Arachis hypogaea* против действия озона или солевого стресса путем стимуляции антиоксидантных ферментов [5, 11]. Было показано, что азоксистробин и эпоксиконазол замедляют старение *T. aestivum*, в первую очередь за счет расширения антиоксидантного потенциала, защищающего растения от повреждения активными видами кислорода [11]. Описана индукция синтеза фотосинтетических пигментов и белков в обработанных растениях [12]. Растворы азоксистробина и протиоконазола вызывали пожелтение листьев пшеницы, но их смеси

не оказывали такого действия. Раствор прохлораза не способствовал пожелтению листьев. Культуральные жидкости *Pyrenophora tritici-repentis* Drechsler, полученные с добавлением прохлораза и смесей азоксистробина и протиоконазола с ним, способствовали пожелтению. Результаты указывают на возможность образования пиренофорой токсинов с разнообразным действием на процессы разрушения/образования хлорофилла [13]. Однако лишь в небольшом числе исследований рассматривался вопрос о том, усиливают или подавляют эти продукты физиологическую и метаболическую активность в тканях растений [14], а негативное влияние фунгицидов на фотосинтез, содержание пигментов, рост и изменения в репродуктивных органах было недостаточно полно проанализировано [5].

Имеющиеся исследования показали, что применение фунгицидов может нарушать фотосинтез, синтез стеринов, гиббереллинов, транспирацию, снижать ассимиляцию CO_2 и биомассы, влиять на общее содержание пигментов. Однако сообщения о фитотоксичности, как правило, основаны на нескольких физиологических параметрах с использованием большого разнообразия видов растений и различных типов и концентраций фунгицидов, что приводит в некоторых случаях к противоречивым результатам. Это существенно ставит под угрозу всесторонние знания о первичном воздействии фунгицидов на фотосинтез и, безусловно, заслуживает дальнейшего изучения.

Целью работы было уточнение доз действующих веществ фунгицидов ципроконазола и флудиоксонила в комплексном протравителе Кинг Комби на основе исследования их влияния на всхожесть, рост и зараженность проростков пшеницы, свойства хлорофилла и продуктивность фотосинтеза.

Объекты и методы исследования

Исследовали влияние действующих веществ (д.в.) фунгицидов – ципроконазола и флудиоксонила – на зерновки пшеницы *Triticum aestivum* L. сорта *Julius*. Сорт озимой пшеницы *Julius* (Asketis x Drifter, N. Stein, K. Meyer IPK), форма *hibernalis*, зарегистрирован в Германии.

Ципроконазол [(2 RS, 3 RS; 2 RS,3 SR)-2-(4-хлорфенил)-3-циклопропил-1-(1H-

1,2,4-триазол-1-ил) бутан-2-ол] относится к классу триазолов. Обладает специфичной активностью против ржавчинных грибов. Широко используется в сельском хозяйстве от комплекса заболеваний зерновых культур. Ингибирует биосинтез стеринов, в том числе эргостерола, в клетках грибов, подавляя С-14-деметилирование взаимодействием с цитохромом Р-450. В отличие от других ингибиторов биосинтеза стеринов, ципроконазол имеет более широкий спектр действия, обусловленный физико-химическими свойствами, поглощением и перемещением в растениях [1]. Ципроконазол безопасен для птиц, пчел и опылителей. Умеренно токсичен для теплокровных животных (ЛД50 для крыс – 1333 мг/кг) [4]. Не обладает мутагенными, канцерогенными или тератогенными свойствами [15]. В почве малоподвижен (ДТ50 = 3 месяца) [16]. В почвах, богатых органическими веществами, задерживается, как и другие триазолы. Весьма устойчив и слабо вымывается. Однако быстро расщепляется в растениях. Остаточные количества исходного соединения в зерновых после 2-х обработок за сезон находятся на уровне 0,03 мг/кг [17]. Препараты на основе ципроконазола относятся ко 2 и 3 классам опасности для человека и 3 классу опасности для пчел.

Флудиоксонил [4-(2,2-дифтор-1,3-бензодиоксол-4-ил)-пиррол-3-карбоновой кислоты] – это несистемный фунгицид, введенный в 1993 году Ciba-Geigy (теперь Syngenta). Он используется для обработки культур (в частности, злаков, фруктов, овощей и других растений). Чаще всего флудиоксонил применяется в сочетании с другими фунгицидами, например, таким как ципродинил. Флудиоксонил наиболее эффективен против *Fusarium, Rhizoctonia, Alternaria и Botrytis*. Однако токсичен для рыб и других водных организмов [18]. По химическому составу относится к классу фенилпирролов. Его механизм действия заключается в ингибировании связанной с транспортом фосфорилирования глюкозы, то есть нарушением функции клеточных мембран. Это, в свою очередь, снижает скорость роста мицелия [19]. Флудиоксонил (аналог природных антимикотических веществ) имеет широкий спектр действия. Относительно стойкое вещество, однако оно может быстро разрушаться в процессе фотолиза. Соединение имеет длительное защитное и слабое системное действие. Срок защитного действия и период полураспада в почве равен 140-350 дней в лабораторных условиях, 10-25 дней в полевых условиях. Это определяется стойкостью вещества в конкретной почве [20, 16].

В эксперименте использовали зерновки пшеницы (сорт *Julius*) 2017 г. Данные

зерновки не имели предпосевных обработок и были заведомо зараженные. Были выбраны зерновки с заведомо низкими посевными качествами для более убедительной демонстрации эффекта фунгицидов и культуральной среды.

Пробы по 10 г обрабатывали протравителями по схеме, представленной в табл. 1. Для приготовления суспензии использовали растворитель – циклогексанон. Сухие д.в. массой 500 мг предварительно растворяли в 1000 мкл циклогексанона и доводили объем до 100 мл дистиллированной водой. Пробы зерновок подвергали поверхностной стерилизации и обрабатывали готовыми растворами д.в. в трех дозах для опыта с сочетанием нескольких д.в., дозы показаны в таблице 1.

Таблица 1. Схема опыта

№	Состав препарата	Масса протравителя, г/т зерновок	Обозначения для диаграмм
1	Контроль – без обработки	-	0
2	Контроль с циклогексаноном	-	0
3	Ципроконазол	50; 100; 150	1; 2; 4
4	Флудиоксонил	62,5; 125; 187	1; 2; 4

Зерновки пшеницы подвергали поверхностной стерилизации этанолом по ГОСТ 12044-93. В стерильные чашки Петри диаметром 9,5-10 см наливали 10 см простерилизованной агаризированной среды Чапека. Толщина слоя среды в чашке Петри должна быть 3-4 мм. Разливку питательных сред в чашки и закладку семян проводили в бактериологической камере (стерильном боксе). Раскладку семян проводили на застывшую питательную среду пинцетом, периодически стерилизуя его обжиганием на спиртовке. Семена промывали струей воды под водопроводным краном в течение 1-2 ч и дезинфицировали 96%-ным спиртом в течение 1-2 мин. Затем семена промывали в стерильной или прокипяченной воде и просушивали между листами стерильной фильтровальной бумаги. Семена помещали в чашки Петри по 10-25 шт. в зависимости от культуры и ставили их для проращивания в термостат при температуре 22-25 °С. Проращивание семян проводили в течение срока, указанного для определения всхожести семян (8 суток).

Определяли энергию прорастания на 4-е сутки по ГОСТ 12038–84. Подсчитывали долю нормальных, аномальных и мертвых зерновок. Проводили определение лабораторной всхожести семян согласно ГОСТ 12038–84. – 01.07.86. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести.

При учете всхожести отдельно подсчитывали нормально проросшие; набухшие, твердые, которые составили непроросшие семена и ненормально проросшие – невсхожие семена. За результат анализа принимали среднее арифметическое результатов определения всхожести всех проанализированных проб.

К всхожим относят нормально проросшие семена, а также проростки с небольшими дефектами: с незначительным поверхностным повреждением основных органов проростка, не затрагивающим проводящие ткани; с нормально развитыми органами, но загнившими в местах соприкосновения с больными проростками или семенами (вторичное заражение).

К непроросшим семенам относят: набухшие семена, которые к моменту окончательного учета всхожести не проросли, но имеют здоровый вид и при нажиме пинцетом не раздавливаются; твердые семена, которые к установленному сроку определения всхожести не набухли и не изменили внешнего вида.

К невсхожим семенам относят: загнившие семена с мягким разложившимся эндоспермом, почерневшим или загнившим зародышем и проростки с частично или полностью загнившими частями; ненормально проросшие семена, имеющие нарушения в развитии проростков.

Для выяснения влияния препаратов на рост проростков определяли длину корневой системы, первого настоящего листа (побега); сухую массу зерновок, побегов и корней в возрасте 4, 8 и 12 суток; содержание хлорофилла на 12 сутки.

Содержание хлорофилла и его флуоресценцию определяли с помощью прибора Opti Science CCM-300. Этот прибор позволяет измерить два параметра: соотношение флуоресценции хлорофилла и линейно с ним связанное содержание хлорофилла. Для измерения он использует коэффициент излучения флуоресценции хлорофилла при красной длине волны 700-710 нм и дальних значениях от 730 нм до 740 нм с пиком на 735 нм.

Сухую массу измеряли гравиметрическим методом с точностью до 0,1 мг после

доведения до постоянной массы в сушильном шкафу при 105°С. Площадь листьев определяли с помощью портативного лазерного измерителя площади листа CI-202. Он предназначен для неинвазивного измерения геометрических параметров листьев. Прибор измеряет такие параметры листьев, как: площадь, длина, ширина, периметр.

Рассчитывали [21] относительную массу листьев (ОМЛ), или долю массы листьев в массе растения:

Зная изменения сухой массы растений ($W_2 - W_1$) г за период времени ($t_2 - t_1$) суток, рассчитывали относительную скорость роста (ОСР), г · сут$^{-1}$:

$$\text{ОСР} = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1}$$

Рассчитывали чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ), г·м$^{-2}$ · сут$^{-1}$

$$\text{ЧПФ} = \frac{W_2 - W_1}{\frac{S_2 - S_1}{2} \cdot (t_2 - t_1)}$$

где (S_2–S_1) – изменение площади листьев, м^2, за период времени ($t_2 - t_1$), сут.

Эксперименты проводили в 2-3-хкратной повторности. Данные подвергали статистической обработке [22]. Рассчитывали среднюю арифметическую, среднее квадратическое отклонение, ошибку репрезентативности средней арифметической, критерий Стьюдента. Оценку достоверности разницы проводили с помощью сравнения полученного значения со стандартным $t_{ст}$.

Для визуализации разницы между повторностями и вариантами применяли сингулярное разложение (Singular Value Decomposition, SVD) – разложение вещественной матрицы с целью ее приведения к каноническому виду. Оно показывает геометрическую структуру матрицы и позволяет наглядно представить имеющиеся данные. Разницу между всеми вариантами визуализировали через «тепловые карты» (англ. heatmap) – графическое представление данных, где индивидуальные значения в таблице отображаются при помощи цвета.

Экспериментальная часть

Инсектофунгицидный протравитель Кинг Комби [23] разработан для ООО «Агро Эксперт Групп» как универсальный протравитель для защиты зерновых колосовых и

картофеля от комплекса вредителей и болезней. Кинг Комби эффективен против широкого спектра почвенной и семенной инфекции, а также против комплекса почвообитающих и ранних листовых вредителей зерновых и картофеля. Состав д.в. препарата приведен в таблице 2. Период защитного действия ограничивается фазой активного прироста биомассы. Кинг Комби защищает зерновые до конца кущения (BBCH 29) [24], картофель находится под защитой протравителя от болезней в течение 4 недель и от вредителей в течение 8 недель.

Таблица 2. Состав действующих веществ фунгицидов протравителя для семян Кинг Комби

№	Компоненты	Составы в г/л
1	Ацетамиприд	100,0
2	Флудиоксонил	34,0
3	Ципроконазол	8,3

В качестве вспомогательных добавок состав может содержать воду, антифриз, смачиватель-прилипатель, краситель жидкий, диспергирующие агенты, стабилизатор и биоцид. Общие сведения о препарате приведены на рис. 1.

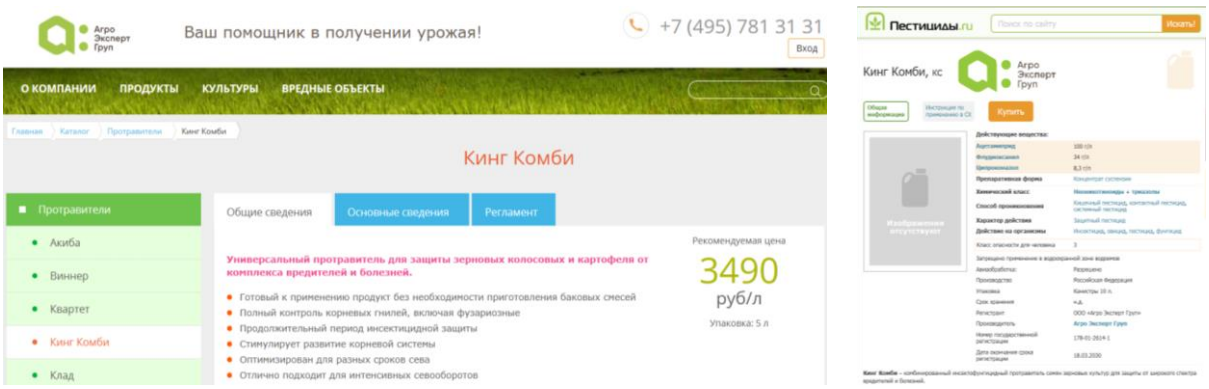


Рис. 1. Общие сведения о протравителе Кинг Комби на сайтах Агро Эксперт Груп [https://agroex.ru/protraviteli/king-kombi/] и [https://www.pesticidy.ru/pesticide/king-kombi].

Эффективность против фитопатогенных грибов обеспечивается за счет сочетания двух фунгицидов: флудиоксонила и ципроконазола. Флудиоксонил сдерживает корневые гнили, снежную плесень на зерновых, фузариоз и ризоктониоз на картофеле.

Ципроконазол действует на все виды головни, плесневение семян, в том числе альтернариоз, септориоз (раннюю аэрогенную инфекцию), а также серебристую паршу картофеля. При нанесении на семена и клубни проникает в проросток и по мере его роста распространяется в растении акропетально [25].

Эффективность против вредителей обусловлена наличием системного инсектицида – ацетомиприда, который преимущественно защищает от почвообитающих и ранних листовых вредителей. В организме насекомого ацетамиприд блокирует передачу нервного импульса на уровне ацетилхолинового рецептора постсинаптической мембраны. Гибель вредителей наступает в течение нескольких часов. Обработку семян с увлажнением проводят непосредственно перед посевом или заблаговременно (до 1 года).

Для уточнения доз ципроконазола и флудиоксонила в комплексном протравителе Кинг Комби и их влияния на зараженность проростков пшеницы (эффективности) и влияния на рост проростков (фитотоксичности) были проведены исследования действия смеси д.в. Результаты приведены на рис. 2.

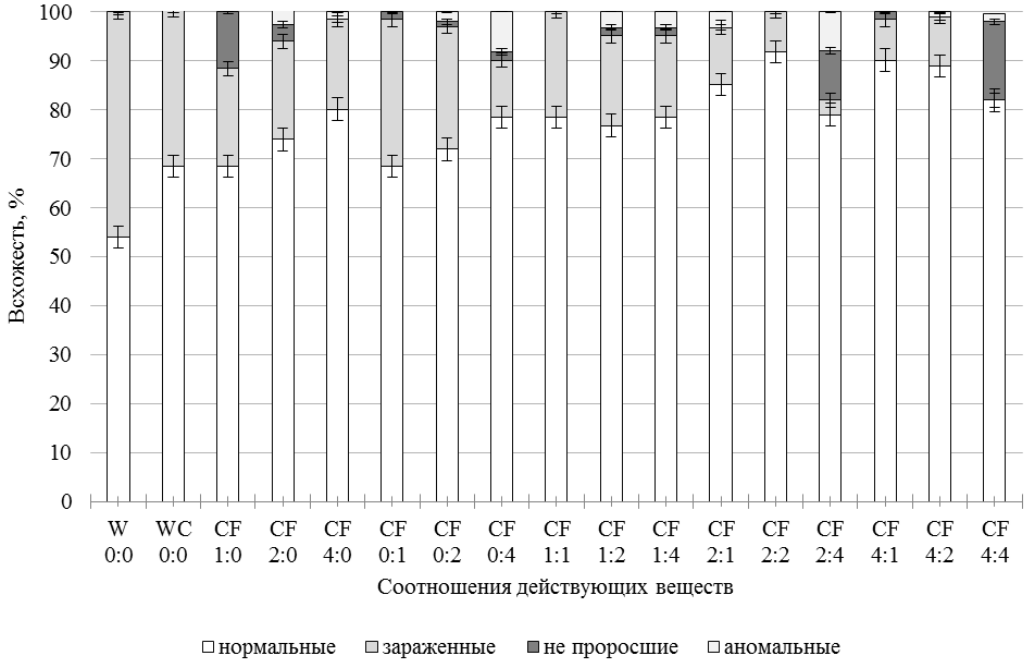


Рис. 2. Влияние ципроконазола и флудиоксонила на всхожесть зерновок пшеницы (8 сут.). По оси ординат – «Всхожесть, %», по оси абсцисс – «Соотношения действующих веществ»

В контроле всхожесть (количество нормальных проростков) составила 54% (рис. 2), выявлено наибольшее количество зараженных проростков – 46%. Количество нормальных проростков под действием минимальной дозы ципроконазола составляло 68%, зараженных – 20%. При действии средней дозы ципроконазола доля нормальных проростков составила 74%, зараженных – 20%. При действии на зерновки максимальной дозы ципроконазола количество нормальных проростков составило 80%, зараженных – 18%. Увеличение дозы ципроконазола способствовало существенному увеличению всхожести и снижению зараженности зерновок, но эффективность только одного д.в. оказалась недостаточной.

Под действием минимальной дозы флудиоксонила всхожесть составила 68%, число зараженных было 30%. При обработке средней дозой флудиоксонила всхожих зерновок было 72% и зараженных – 25%. Под действием максимальной дозы была наивысшая всхожесть 78%, доля зараженных – 12%.

Всхожесть под влиянием соотношения CF 1:1 составила 78%, зараженность – 22%. Под влиянием соотношения CF 1:2 и 1:4 получены аналогичные результаты. При обработке ципроконазолом и флудиоксонилом в соотношении CF 2:1 получено 85% всхожих и 12% зараженных зерновок. При применении соотношения д.в. CF 2:2, 4:1 и 4:2 получено 89-92 % всхожих и 8-10 % зараженных проростков. Под влиянием CF 2:4 всхожесть несколько снизилась до 79% за счет появления аномальных проростков, а зараженных было всего 3%. Совместное действие максимальных доз двух фунгицидов на 8 сутки позволило получить 82% нормально проросших семян, 16% не проросших, 2% аномальных и полное отсутствие зараженных проростков. Такие дозы можно считать токсическими для проростков и рискованными для применения в неблагоприятных природных условиях.

Согласно полученным результатам, сочетания д.в. способствуют увеличению всхожести и снижению зараженности. С увеличением доз д.в. наблюдалось увеличение количества нормальных проростков по сравнению с контролем и более низкими дозами. Аномалии проявились в виде отсутствия побега (при наличии корня), слабых корней, загнивших почечек. Один из лучших результатов выявлен при соотношении CF 2:2. Доза CF 1:4 обеспечивает приемлемые результаты.

Как видно из рис. 3А, на 4-е сутки наибольшие размеры были у контрольных проростков: длина корней составила 46 мм, а побегов 20 мм. Применение всех доз

ципроконазола и флудиоксонила (кроме CF 0:4) практически не повлияло на рост корня. Большинство сочетаний CF, особенно CF 2:4 и 4:4, затормозили рост корня. Ципроконазол несколько затормозил рост побега (14-15 мм). Флудиоксонил CF 0:1 и 0:2 практически не оказал действия на рост побега (17-18 мм), а CF 0:4 – ингибировал рост. Все смеси CF затормозили рост побега в 4-е сутки – особенно CF 2:4 и 4:4, а также CF 2:2 и 4:2. Следовательно, соотношение CF 2:2, эффективно снижающее зараженность, нежелательно применять на практике.

Как видно из рис. 3Б, на 8-е сутки некоторые соотношения д.в. оказали стимулирующее действие на рост корня (CF 1:0, 1:1, 1:2, 2:1) и побега (CF 0:1, 0:2) по сравнению с контролем. Ингибиторами явились соотношения CF 2:4 и 4:4. Проростки преодолели токсическое действие применяемых фунгицидов в 8 сут.

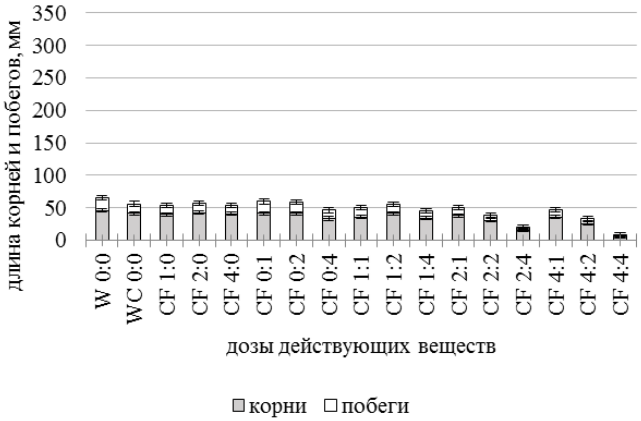
Как видно из рис. 3В, на 12-е сутки сохранилось стимулирующее влияние применяемых д.в. Соотношения CF 1:0, 0:1, 0:2, 1:1, 1:2, 1:4, 2:1 оказали стимулирующее влияние на рост корня, а соотношение CF 0:2– на рост побега. Отсутствовал ретардантный эффект, рост побега очень незначительно отличался от контроля в остальных вариантах опыта. Как видно из рис. 3Г, усилился рост второго настоящего листа, особенно в вариантах CF 1:0, 0:1, 1:1, 1:2, 1:4. Ретардантный эффект сохранился при обработке соотношениями CF 2:4, 4:2 и 4:4. После фазы 2-3 листа рост пшеницы в высоту замедляется.

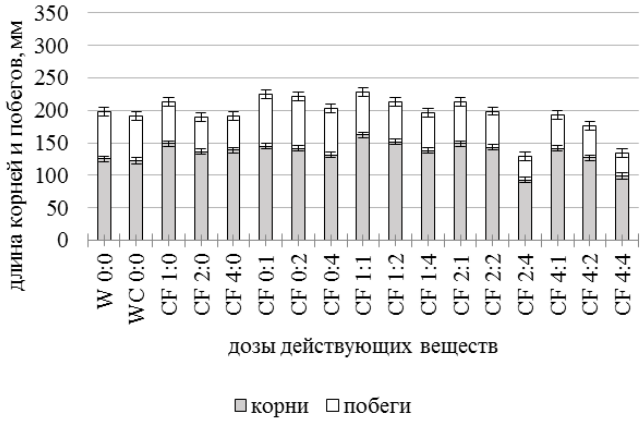
Как видно из рис. 4, содержание хлорофилла в контрольных проростках составило 489 мг/м². Под действием ципроконазола этот показатель увеличился до 508-544 мг/м². При обработке минимальной дозой флудиоксонила наблюдали более низкое содержание хлорофилла по сравнению с контролем (467 мг/м²). У растений, обработанных средней и максимальной дозами, содержание хлорофилла в листьях превышает контроль: 533 и 570 мг/м².

Содержание хлорофилла в листьях растений после обработки двумя фунгицидами во всех вариантах было выше, чем в контроле. Наиболее высоким содержанием хлорофилла обладают проростки, обработанные при соотношениях CF 2:2 – 593 мг/м², CF 2:4 – 604 мг/м²и CF 4:1 – 589 мг/м².

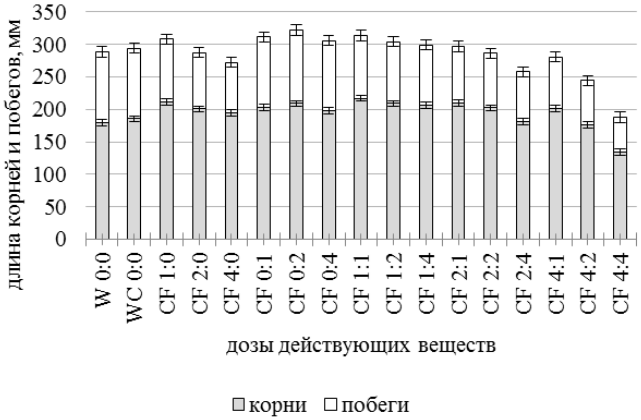
Аналогичная зависимость получена при исследовании флуоресценции хлорофилла (рис. 4Б).

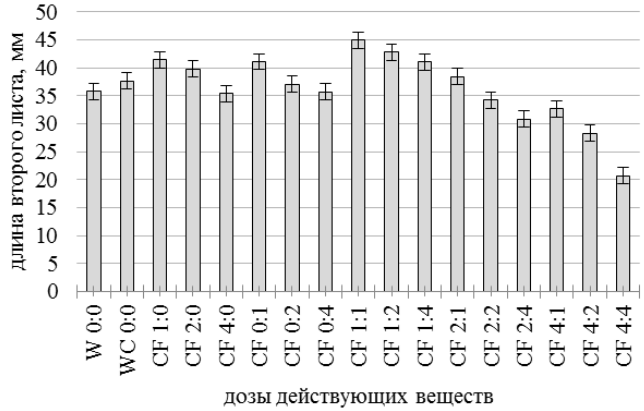
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========





А





В

Рис. 3. Влияние ципроконазола и флудиоксонила на длину корней и побегов проростков пшеницы

Примечание: А – 4 сут., Б – 8 сут., В – 12 сут., Г – 12 сут., 2-й лист. По оси ординат рис. А, Б, В «длина корней и побегов, мм», по оси ординат рис. Г «длина второго листа, мм», по оси абсцисс «дозы действующих веществ»

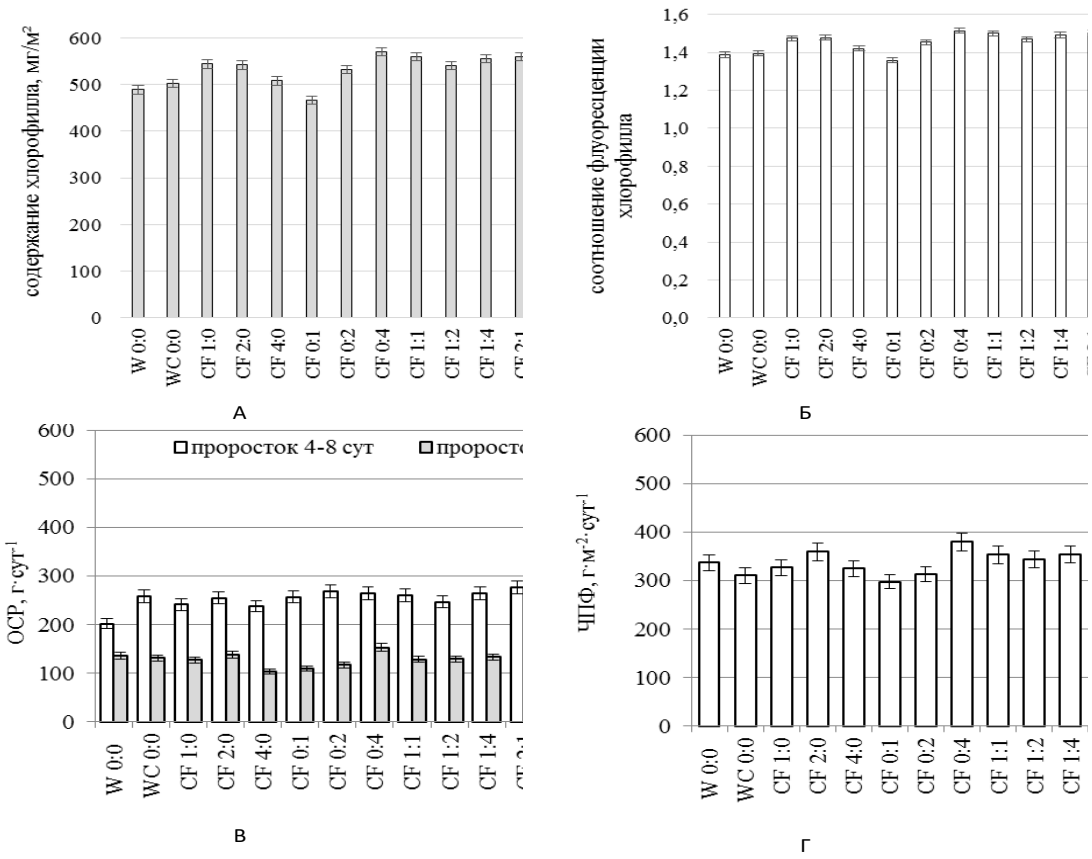


Рис. 4. Влияние ципроконазола и флудиоксонила на показатели фотоассимиляции проростков

Примечание: А – Соотношение флуоресценции хлорофилла в листьях пшеницы, 12 сут.; Б – содержание хлорофилла в листьях пшеницы, 12 сут.; В – относительная скорость роста; Г – чистая продуктивность фотосинтеза, 8-12 сут. По оси ординат рис. А «содержание хлорофилла, мг/м^2, Б «соотношение флуоресценции хлорофилла», В «ОСР, г·сут.$^{-1}$», Г «ЧПФ, г·м$^{-2}$·сут.$^{-1}$», по оси абсцисс «дозы действующих веществ»

Таким образом, самое низкое содержание хлорофилла и его флуоресценция выявлены в контроле и у образцов с низкими дозами протравителей. Это явление связано с присутствием зараженных проростков в этих вариантах. Поврежденные заболеваниями листья имеют более низкое содержание хлорофилла. В частности, известно, что возбудитель пятнистости хлопчатника, цитрусовых и многих других культур – альтернария тонкая (A. *tenuis*) – образует тентоксин, вызывающий сильный хлороз как результат ингибирования токсином процесса образования хлорофилла [26].

При более высоких дозах фунгицидов количество здоровых проростков выше и, следовательно, содержание хлорофилла выше, чем у пораженных побегов. Удалось установить, что фунгициды не угнетают накопление хлорофилла, а, напротив, демонстрируют свою эффективность и необходимость применения.

Определены относительная скорость роста проростков, ОСР (рис. 4В) и чистая продуктивность фотосинтеза, ЧПФ (рис. 4Г). Как видно из рис. 4В, в период с 4 по 8 сут. во всех вариантах обработки усиливалась ОСР, особенно в тех вариантах, где рост был сильно заторможен (CF 2:2, 2:4, 4:2, 4:4). Следовательно, с 4 по 8 сут. наблюдалось восстановление роста проростков, обработанных д.в. В этот период накопление сухой массы происходило в темноте за счет питательных веществ зерновки. Известно, что стрессовые воздействия на семена приводят к нарушению гетеротрофного питания и отставанию роста этиолированных проростков [27, 28].

В период с 8 по 12 сут. растения находились на свету, происходил переход от гетеротрофного питания к автотрофному. В этот период ОСР у проростков, обработанных д.в., существенно не отличалась от контроля в большинстве вариантов (кроме CF 2:4). Это обстоятельство следует считать благоприятным и свидетельствующим о выходе из стресса, вызванного применением фунгицидов.

Как видно из рис. 4Г, в период с 8 по 12 сут. ЧПФ также в большинстве вариантов соответствовала контролю. Динамика ЧПФ и содержания хлорофилла имела сходство. Увеличение ЧПФ, соответствующее увеличению содержания хлорофилла, выявлено при обработке CF 2:0, 0:4, 2:4, 4:1, 4:4. В двух последних вариантах было выявлено торможение роста (рис. 3), поэтому увеличение ЧПФ могло быть связано с развитием компенсаторной постстрессовой реакции на действие больших доз фунгицидов.

Построены тепловые карты с помощью программы Python (рис. 5). Тепловая карта

представляет собой матричное представление данных, в котором каждое значение отображается при помощи определенного цвета. Каждой величине соответствует свой цвет, а матрица индексов сопоставляет 2 элемента или их характеристики. Тепловые карты показывают связи нескольких переменных между собой, отображая их величины в виде определенных цветов. Также, посмотрев на другие точки на тепловой карте, можно увидеть, как в наборе данных одна связь сравнивается со всеми другими. Именно цвета позволяют быстро проанализировать данные, так как такое обозначение является интуитивно понятным. Для построения представленной тепловой карты подготовлены наборы данных, содержащие результаты по измерениям длин побегов, корней, второго листа и содержания хлорофилла в трех повторностях за каждый день исследований для каждой дозы. На тепловой карте (рис. 5) сравниваются результаты каждого соотношения друг с другом и места наименьшего расхождения обозначены черным, в то время как места с наибольшим расхождением имеют белый цвет. Данный анализ проведен с целью доказательства статистической значимости результатов.

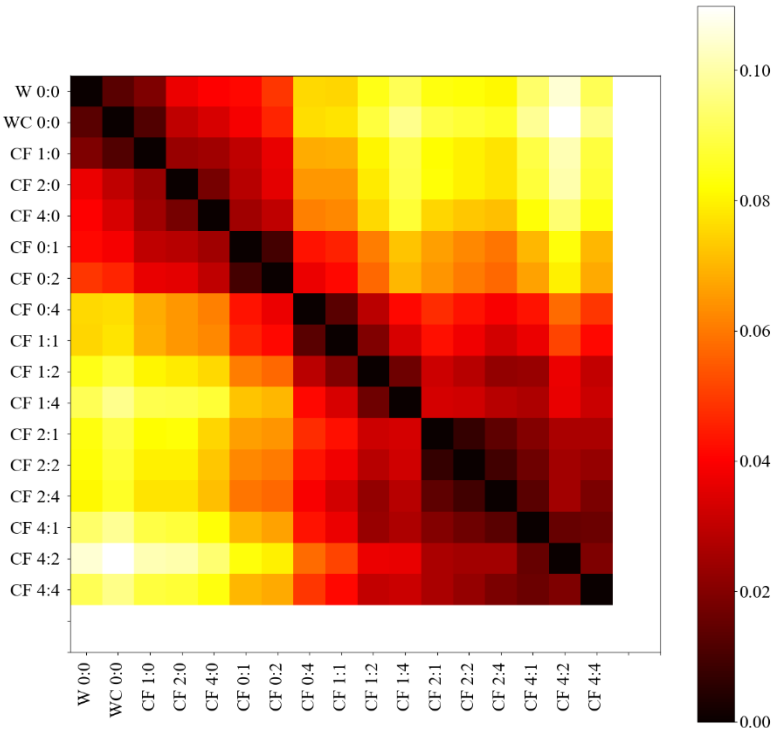


Рис. 5. Тепловая карта на основании исследования влияния ципроконазола и флудиоксонила на пшеницу

Примечание. W 0:0 – контроль на зерновках пшеницы с дистиллированной водой, WC 0:0 – контроль на зерновках пшеницы с циклогексаноном, CF – ципроконазол и флудиоксонил, соответственно

При выборе состава протравителя учитывали эффективность, влияние на рост и физиологические показатели. Современная защита растений соединяет в себе биологические и социально-экономические подходы. С одной стороны, она нацелена на снижение ущерба растениям от болезней и вредителей при условии минимизации воздействия на окружающую среду. С другой стороны, затраты на осуществление приемов защиты должны быть ниже обеспечиваемой в итоге прибыли, то есть экономически оправдывать себя [29]. В связи с этими обстоятельствами принимали во внимание то, что смеси ципроконазола и флудиоксонила обладают преимуществами перед индивидуальными веществами в плане спектра действия и эффективности. Смеси продемонстрировали более высокую эффективность по сравнению с индивидуальными веществами в аналогичных концентрациях, они снижали зараженность зерновок (рис. 2). При использовании смесей фунгицидов увеличивалась всхожесть (рис. 2). Наилучшие результаты получены под влиянием доз CF 2:1, 2:2, 4:1, 4:2. Удовлетворительные результаты получены под влиянием доз CF 1:2, 1:4, 2:4. Наиболее эффективные дозы оказали токсическое действие на защищаемую культуру, которое выразилось в торможении роста проростка (рис. 3). Кроме того, они содержат высокие концентрации д.в. и будут оказывать негативное воздействие на окружающую среду. Стоимость готовых протравителей будет высокой. Следовательно, внимание было обращено на дозы, обеспечившие удовлетворительные результаты. Из трех вариантов CF 1:2, 1:4, 2:4 было отдано предпочтение среднему (CF 1:4) как эффективному, не обладающему ни ретардантным (CF 2:4, рис. 3), ни стимулирующим (CF 1:2, рис. 3) действием. В протравителе Кинг Комби содержится 8,3 г/л ципроканазола и 34 г/л флудиоксонила.

Заключение

Сочетания ципроконазола и флудиоксонила способствовали увеличению всхожести зерновок пшеницы и снижению их зараженности. Низкие дозы д.в. были недостаточно эффективны, а высокие дозы способствовали увеличению количества мертвых зерновок. Для практики рекомендовано соотношение CF 1:2, а также CF 1:4.

Ципроконазол затормозил рост побега, а флудиоксонил ингибировал рост только в высоких дозах. Все смеси д.в. затормозили рост побега в 4 сут. На 8 сут. некоторые соотношения д.в. оказали стимулирующее действие на рост проростков. Ингибиторами

явились соотношения CF 2:4 и 4:4.

Под действием ципроконазола содержание хлорофилла увеличивалось, а под действием минимальной дозы флудиоксонила – снижалось. Содержание хлорофилла в листьях проростков после обработки двумя фунгицидами во всех вариантах было выше, чем в контроле, особенно при соотношениях CF 2:2, CF 2:4 и CF 4:1. С 4 по 8 сут. во всех вариантах обработки усиливалась ОСР, особенно в тех вариантах, где рост был сильно заторможен. ЧПФ в большинстве вариантов соответствовала контролю. По комплексу признаков предпочтение отдано сочетанию CF 1:4 как эффективному, не обладающему ни ретардантным, ни стимулирующим действием.

Работа выполнена при поддержке гранта Волгоградской области 20/346-20.

Список использованных источников

1. Лушникова Т.А. Механизмы устойчивости яровой мягкой пшеницы к засухе // Современные подходы и методы в защите растений. – 2018. – С. 133–134 URL: http://elar.urfu.ru/handle/10995/86356.

2. Голышин Н.М. Фунгициды. – М.: Колос, 1993, т. 2. – 317 с.

3. Osseiran N., Chriscaden K. По данным ВОЗ, в результате загрязнения окружающей среды 1,7 миллиона детей умирают ежегодно [Electronic resource] // Всемирная организация здравоохранения. World Health Organization, 2017. URL: https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2017/pollution-child-death/ru/

4. Ганиев М.М., Недорезков В.Д. Химические средства защиты растений / Под ред. А.С. Максимова. – М.: КолосС, 2006. – 248 с.

5. Petit A.-N., Fontaine F., Clément C., Vaillant-Gaveau N. Photosynthesis Limitations of Grapevine after Treatment with the Fungicide Fludioxonil // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2008. – 56(15). – PP. 6761–6767. https://doi.org/10.1021/jf800919u.

6. Allen T. Not Everything is as it Seems: Fungicide Phytotoxicity and Plant Diseases // Mississippi Crop Situation. – 2013. http://www.mississippi-crops.com/2013/08/09/not-everything-is-as-it-seems-fungicide-phytotoxicity-and-plant-diseases/.

7. Xia X. J., Huang Y. Y., Wang L., Huang L. F., Yu Y. L., Zhou Y. H., Yu J. Q. Pesticides-induced depression of photosynthesis was alleviated by 24-epibrassinolide pretreatment in *Cucumis sativus* L. // Pesticide Biochemistry and Physiology. – 2006. – 86(1). – PP. 42–48. https://doi.org/10.1016/J.PESTBP.2006.01.005.

8. Mueller D. S. Fungicides: Terminology // Integrated Crop Management. – 2006. – PP.

120–123. https://lib.dr.iastate.edu/cropnews/1250.

9. Paranjape K., Gowariker V., Krishnamurthy V.N., Gowariker S. // The Pesticide Encyclopedia (UK ed. edi). London: CABI. – 2014.

10. Pantazopoulou A., Diallinas G. Fungal nucleobase transporters. // FEMS Microbiology Reviews. – 2007. – 31(6). – PP. 657–675. https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2007.00083.

11. Untiedt R., Blanke M. M. Effects of fungicide and insecticide mixtures on apple tree canopy photosynthesis, dark respiration and carbon economy // Crop Protection. – 2004. – 23(10). – PP. 1001-1006. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2004.02.012.

12. Indian Council Of Agricultural Research. Handbook of agriculture (6th ed.). New Delhi: Directorate of Information and Publications of Agriculture, Indian Council of Agricultural Research. – 2011.

13. Нефедьева Е.Э., Зорькина О.В., Гераськин С.А., Белопухов С.Л. Влияние различных соотношений азоксистробина, протиоконазола и прохлораза на токсигенные свойства фитопатогенных грибов // Бутлеровские сообщения. – 2021. – Т. 65. – № 1. – С. 98-104. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/21-65-1-98. – URL: https://butlerov.com/stat/reports/details.asp?lang=ru&id=38035.

14. García P.C., Rivero R.M., Ruiz J.M. The Role of Fungicides in the Physiology of Higher Plants: Implications for Defense Responses // The Botanical Review. – 2003. – 69(2). – PP. 162–172. https://doi.org/10.1663/0006-8101(2003)069(0162:TROFIT]2.0.CO;2.

15. Санин С.С. Мотовилин А.А., Корнева Л.Г., Жохова Т.П., Полякова Т.М., Акимова Е.А. Химическая защита пшеницы от болезней при интенсивном зернопроизводстве // Защита и карантин растений. – 2011. – Т. 8. – С. 3–10.

16. Попов С.Я., Дорожкина Л.А., Калинин В.А. Основы химической защиты растений. – М.: Арт-Лион, 2003. – 208 с.

17. Горина И.Н. Полноту протравливания препаратами группы триазолов необходимо контролировать // Защита и карантин растений. – 2012. – Т. 2. – С. 24–25.

18. Paranjape K. Gowariker V., Krishnamurthy V. N., Gowariker S. The Pesticide Encyclopedia. UK ed. / ed. Paranjape K. – London: CABI, 2014. – 726 p.

19. Ren W., Shao W., Han X., Zhou M., Chen Ch. Molecular and Biochemical Characterization of Laboratory and Field Mutants of *Botrytis cinerea* Resistant to Fludioxonil // Plant Disease. – 2016. – Vol. 100 (7). – PP. 1414–1423. DOI: 10.1094/PDIS-11-15-1290-RE.

20. Белов Д.А. Химические методы и средства защиты растений в лесном хозяйстве и озеленении. – М.: МГУЛ, 2003. – 128 с.

21. Харькина Т.Г., Марковская Е.Ф. Влияние плодоношения на рост и функциональную активность вегетативных органов огурца // Физиология растений. – 1999. – Т. 46. – С. 586 –591.

22. Катмаков П.С., Гавриленко В.П., Бушов А.В. Биометрия: учебное пособие для вузов / под общей редакцией П. С. Катмакова. — 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство

Юрайт, 2019. – 177 с.

23. Музылев К.Н., Агапова О.О., Николаев Е.Г., Прокшиц О.В., Нефедьева Е.Э. Состав для протравливания семян сельскохозяйственных культур: пат. RU2638044C1. Общество с ограниченной ответственностью “Агро Эксперт Груп” , 2017.

24. Кулинкович С.Н., Кулинкович Е.Н. Диагностика стадий развития озимой пшеницы по шкале ВВСН. Методическое пособие. – Минск: Наша Идея, 2014. – С. 1–38.

25. Агро Эксперт Груп. Кинг Комби протравитель семян купить от компании Агро Эксперт Груп [Electronic resource]. URL: https://agroex.ru/protraviteli/king-kombi/instrukcija_po_primeneniju_king-kombi/ (accessed: 21.06.2020).

26. Ганнибал Ф.Б., Орина А.С., Левитин М.М. Альтернариозы сельскохозяйственных культур на территории России // Защита и карантин растений. – 2010. – Т. 5. – С. 30–32.

27. Чумикина Л.В., Арабова Л.И., Зимин М.В., Гумилевская Н.А. Действие повышенных температур на прорастание зародышей гороха *Pisum sativum* L. // Физиология растений. – 1993. – Т.40. – №1. – С. 106-109.

28. Нефедьева Е.Э., Мазей Н.Г., Мирошниченко А.А., Хрянин В.Н. Содержание фитогормонов, рост и развитие растений гречихи под действием импульсного давления // Сельскохозяйственная биология. – 2003. – Т. 38. – № 1. – С. 54-61.

29. Метлицкий О.З., Зейналов А.С., Ундрицова И.А. Фитосанитарные проблемы создания новых сортов ягодных культур // Роль сортов и новых технологий в интенсивном садоводстве. – 2009. – Р. 223–225.

Цитирование:

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 [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/3/st_328.pdf.