

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 5, 2020

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ Плодородие почв

Фактологические критерии оценки здоровья сибирских почв

Е. Ю. Торопова, А. Е. Кудрявцев, Г. Я. Стецов, М. П. Селюк

3

Регуляторы роста растений

Изучение рострегулирующих свойств производных пиридин-2-сульфанилацетанилидов на растениях сои

Л. В. Дядюченко, В. В. Тараненко, И. Г. Дмитриева

12

Новый полифункциональный биологический препарат для повышения продуктивности и комплексной устойчивости картофеля к биотическим стрессам

Т. А. Рябчинская, Т. В. Зимица, И. Ю. Бобрешова

17

Эффективность композиции биостимулятора учкун плюс на культуре хлопчатника

Р. П. Закирова, Э. Р. Курбанова, Н. К. Хидирова

26

Пестициды

Супрамолекулярные комплексы тебуконазола с веществами экстракта корней солодки – эффективные фунгициды для защиты яровой пшеницы от обыкновенной корневой гнили

О. И. Теплякова, Н. Г. Власенко, А. В. Душкин

31

Гербициды кросс-спектра в контроле засоренности кукурузы в лесостепи Южного Зауралья

А. Э. Панфилов, Н. И. Казакова, Е. С. Иванова

38

Действующие вещества – основа химической защиты растений

В. В. Михайликова, Н. С. Стребкова, Е. А. Пустовалова

44

Влияние альгицидов на ростовые характеристики микроводоросли *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Gréb.

А. В. Лиманцев, М. В. Бидёвкина, М. В. Матросенко

47

Агроэкология

Некоторые закономерности строения и динамики сорного компонента агрофитоценоза озимой пшеницы в Центральном Нечерноземье

Ю. Я. Спиридонов, А. Т. Калимуллин, В. А. Абубикеров, И. Ю. Спиридонова, Г. С. Босак

52

Особенности формирования фитосанитарной ситуации и эффективность средств защиты растений против колорадского жука и ризоктониоза в посадках цветных сортов картофеля

А. А. Малюга, Н. С. Чуликова, Н. Н. Енина

62

Влияние многокомпонентных протравителей на зараженность фитопатогенами посевного материала и фитоценоз яровой пшеницы

С. В. Бурлакова, Н. Г. Власенко, Н. Д. Чкаников, С. С. Халиков

72

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Оптимизация метода определения глюофосината аммония и его метаболита в сельскохозяйственных культурах с применением высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием

В. В. Человечкова, Н. С. Волосатова

80

ОБЗОРЫ

Пути снижения фитотоксичности остатков сульфонилмочевин в почве с помощью антидотов

Н. Д. Чкаников, Ю. Я. Спиридонов, С. С. Халиков, А. М. Музафаров

86

Contents

No. 5, 2020

EXPERIMENTAL ARTICLES

Soil Fertility

- Factual Criteria for Assessing the Health of Siberian Soils
E. Yu. Toropova, A. E. Kudryavtsev, G. Ya. Stetsov, M. P. Selyuk 3
-

Plant Growth Regulators

- Study of Growth-Stimulating Characteristics of Pyridine-2-Sulfonyl Acetylides Derivatives on Soybean Plants
L. V. Dyadyuchenko, V. V. Taranenko, I. G. Dmitrieva 12
- New Multifunctional Biological Preparation for Increasing Productivity and Integrated Resistance to Biotic Stresses
T. A. Ryabchinskaya, I. Yu. Bobreshova, T. V. Zimina 17
- Effectiveness of the Composition of the Biostimulator Uchkun Plus on Cotton Culture
R. P. Zakirova, E. R. Kurbanova, N. K. Khidyrova 26
-

Pesticides

- Supramolecular Complexes of Tebuconazole with Licorice Root Extract – Effective Fungicides to Protect Spring Wheat from Common Root Rot
O. I. Teplyakova, N. G. Vlasenko, A. V. Dushkin 31
- Cross-Spectrum Herbicides in Control of Corn Infestation in the Forest-Steppe of the Southern Trans-Urals
A. E. Panfilov, E. S. Ivanova, N. I. Kazakova 38
- Active Substances – the Basis of Chemical Plant Protection
V. V. Mikhaylikova, N. S. Strebkova, E. A. Pustovalova 44
- Influence of Algicides on the Growth Characteristics of the Micro-Alga *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Breb.
A. V. Limantsev, M. V. Bidevkina, M. V. Matrosenko 47
-

Agroecology

- Some Regularities of the Structure and Dynamics of the Weed Component of Winter Wheat Agrophytocenosis in the Central Non-Black Earth Region
Yu. Ya. Spiridonov, A. T. Kalimullin, V. A. Abubikerov, I. Yu. Spiridonova, G. S. Bosak 52
- Features of Formation of Phytosanitary Situation and Efficiency of Plant Protection against Colorado Potato Beetle and Black Scab in Planting of Colored Varieties of Potato
A. A. Malyuga, N. S. Chulikova, N. N. Enina 62
- Influence of Multicomponent Protectors on Seeding Phytopathogens and Spring Wheat Phytocenosis
S. V. Burlakova, N. G. Vlasenko, N. D. Chkanikov, S. S. Khalikov 72
-

RESEARCH METHODS

- Optimization of the Method for Determining Ammonium Glucosinate and Its Metabolite in Agricultural Crops Using High-Performance Liquid Chromatography with Mass Spectrometric Detection
V. V. Chelovechkova, N. S. Volosatova 80
-

REVIEWS

- Ways to Reduce the Phytotoxicity of Sulphyl Urea Residues in Soil by Antidots
N. D. Chkanikov, Yu. Ya. Spiridonov, S. S. Khalikov, A. M. Muzafarov 86
-

ФАКТОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЗДОРОВЬЯ СИБИРСКИХ ПОЧВ¹

© 2020 г. Е. Ю. Торопова^{1,2,*}, А. Е. Кудрявцев³, Г. Я. Стецов^{4,5}, М. П. Селюк^{1,2}

¹Новосибирский государственный аграрный университет
630039 Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии
143050 Московская обл., Одинцовский р-н, р.п. Большие Вяземы, ул. Институтская, влад. 5, Россия

³Алтайский государственный аграрный университет
656049 Барнаул, просп. Красноармейский, 98, Россия

⁴Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий
656910 Барнаул, Научный городок, 35, Россия

⁵Алтайский государственный университет
656049 Барнаул, просп. Ленина, 61, Россия

*E-mail: 89139148962@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.12.2019 г.

После доработки 30.01.2020 г.

Принята к публикации 10.02.2020 г.

Качество почвы, как основного средства производства в сельском хозяйстве, принято оценивать по двум важнейшим, взаимосвязанным характеристикам: продукционной (плодородие) и средообразующей (здоровье). Практическая оценка здоровья почв имеет высокую актуальность и востребованность во всем мире. Цель исследования состояла в разработке шкалы оценки здоровья почвы независимо от числа используемых фактологических критериев. Задачи исследования: 1 – обоснование фактологических критериев оценки здоровья почвы; 2 – разработка шкалы здоровья почвы, интегрирующей экспериментальный аналитический материал; 3 – практическая апробация разработанной шкалы в условиях Западно-Сибирского региона. В результате была разработана и апробирована для решения практических задач интегральная шкала оценки здоровья почв. Шкала позволяет использовать любое число регламентируемых, оценочных или сравнительных фактологических критериев здоровья и позволяет оценить здоровье почвы в процентах. Использование предложенной шкалы способствовало выявлению причин низкой продуктивности агроценозов хозяйств Новосибирской обл. Агроценозы с пониженной, более чем на 50%, продуктивностью имели в среднем на 18–28% более низкие показатели здоровья по сравнению с высокопродуктивными полями. Интегральная оценка здоровья почв Томской обл. позволила определить очередность перевода полей хозяйства на органическую систему возделывания и выявить основные фитосанитарные и экологические проблемы, которые были учтены при введении органических технологий возделывания культур. Использование интегральной шкалы здоровья почвы позволило выявить отсутствие отрицательного влияния на здоровье почв технологии прямого посева культур в разных по засушливости степных районах Алтайского края. В острозасушливых районах здоровье почвы осталось практически неизменным с переходом на технологию No-till, отличия были в пределах статистических погрешностей. В менее засушливых степных районах введение технологии No-till оказало достоверное положительное влияние на здоровье чернозема выщелоченного за счет роста супрессивности почвы и численности сапротрофной микробиоты.

Ключевые слова: здоровье почвы, интегральная шкала, фактологический критерий, фитосанитарное состояние, порог вредоносности, супрессивность, фитотоксичность, конидия, численность микробиоты, семена сорняков.

DOI: 10.31857/S0002188120050166

ВВЕДЕНИЕ

Во второй половине XX века мировая научная общественность всерьез озаботилась ухудшением состояния здоровья почв наземных экосистем.

Эта важнейшая (наряду с плодородием) качественная характеристика почвы впервые предложена и разработана американскими почвоведом в 90-х гг. прошлого века [1]. Акцентирование внимания на этой характеристике почвы вызвано критическим состоянием значительной части почвенных ресурсов в большинстве стран мира,

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-416-220007р_а).

включая Россию. В течение многих десятилетий процесс деградации почв в России существенно превосходит и темпы самоочищения, и масштабы их ремедиации [2].

Современные почвы часто характеризуются такими негативными процессами как эрозия, локальное переувлажнение, засоление, дегумификация, захламление отходами производства и потребления, заселение паразитной, токсигенной и фитопатогенной биотой, загрязнение канцерогенными поллютантами, суперэкоотоксикантами, иными биологически опасными веществами – ксенобиотическими и/или природными. Например, остатки пестицидов загрязняют растительную продукцию, почву и сопряженные среды (воды, приземную атмосферу). Под их действием из агроэкосистем элиминируется полезная биота, а вредная, напротив, заселяет освободившиеся экологические ниши. Почва территорий, смежных с промышленными зонами и транспортными магистралями, хронически загрязняется тяжелыми металлами [3, 4].

Повсеместное заселение почв возбудителями корневых гнилей важнейших сельскохозяйственных культур превратилось в мировую проблему. Эти фитопатогены на территории России практически повсеместно (до 82%) заселили почву агроценозов зерновых злаковых культур [5, 6].

В настоящее время стало очевидным, что качественная почва, помимо потенциального и актуального плодородия – запасов гумуса и доступных растениям биофилов – должна обладать и такой важнейшей имманентной характеристикой как здоровье. Здоровье почвы – это способность почвенной экосистемы в заданных пространственных границах поддерживать продуктивность растений, животных, приемлемое качество урожая, воды и воздуха, а также обеспечивать здоровье людей, животных и растений [2].

Используемые для повышения плодородия и супрессивности почвы органические удобрения также должны быть изначально безопасными (незагрязненными и неинфицированными) [7, 8]. Наконец, необходимо оценивать действие на почву всевозможных стрессоров, ксенобиотических и природных продуктов – в первую очередь, суперэкоотоксикантов, а также токсичных металлов и металлоидов, техногенных радионуклидов, персистентных агрохимикатов и т.п. – с учетом их сопутствующего действия на состояние почвенного здоровья [9].

Традиционные модели оценки почв агроценозов только по параметрам и критериям их плодородия, с позиций “максимальной продуктивности и прибыли” уже не соответствуют современ-

ной ситуации. Актуальны и востребованы новые концептуальные подходы. Только на здоровой почве возможно производство высококачественной продукции для нужд лечебного и детского питания, а также лекарственного сырья. Здоровая почва обеспечивает санитарное состояние водохранимых и рекреационных территорий, ее в течение многих десятилетий успешно используют в практике органического земледелия [10–12].

Качество почвы, как основного средства производства в сельском хозяйстве, принято оценивать по двум важнейшим, взаимосвязанным характеристикам: продукционной (плодородие) и средообразующей (здоровье) [13, 14].

Критерии здоровья почвы активно изучают в течение последнего десятилетия почвоведы и экологи разных стран [14–16]. В работах отечественных [17–19] и зарубежных [20–24] авторов сформулирован перечень фактологических критериев здоровья и качества почвы, включающий параметры из сферы не только земледелия, агрохимии, агрономии, почвоведения, общей экологии, но и почвенной микробиологии и фитопатологии.

В ряде работ отмечают, что здоровой почве присуща чистота от поллютантов и биотоксинов, высокое микробиологическое разнообразие, биологическая активность, супрессивность в отношении экономически значимых вредных организмов и самоочищающая способность в отношении ксенобиотических и природных поллютантов [2, 5, 10, 11, 15, 16, 22, 25].

Практическая оценка здоровья почв делает только первые шаги, однако имеет высокую актуальность и востребованность во всем мире [4, 6, 10, 11, 20, 23, 24, 26]. Во многих случаях всестороннее и объективное исследование здоровья почвы по фактологическим критериям становится жизненно необходимым для принятия практических решений по изменению и оптимизации технологий возделывания сельскохозяйственных культур, выявления причин низкого плодородия почвы, определения направлений использования и охраны земельных ресурсов.

Практическая работа по оценке здоровья почвы наталкивается на ряд нерешенных вопросов и проблем. Открытым остается вопрос интеграции и обобщения массива экспериментальных данных, характеризующих разные, часто противоречивые аспекты здоровья почвы, что затрудняет формулировку выводов и принятие обоснованных решений. Необходима разработка универсальной, не зависящей от числа и набора критериев системы количественной оценки здоровья почвы.

Цель работы – разработка шкалы оценки здоровья почвы независимо от числа используемых фактологических критериев.

Задачи исследования: 1 – обоснование фактологических критериев оценки здоровья почвы; 2 – разработка шкалы здоровья почвы, интегрирующей экспериментальный аналитический материал; 3 – практическая апробация разработанной шкалы в условиях Западно-Сибирского региона.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 2014–2019 гг. в типичных агроценозах Западной Сибири. В аналитических исследованиях использовали общепринятые [28] и авторские методы, протоколы которых приведены в [9]. Практическую апробацию шкалы проводили в хозяйствах Новосибирской и Томской обл., Алтайского края. Образцы почвы отбирали в 6–10-кратной повторности как в агроценозах, так и на целинных участках, непосредственно примыкающих к полям и имеющих тот же тип почвы, с глубины 0–20 см в ранний весенний (перед посевом) и (или) в осенний (перед уборкой) периоды. Для исследования роли здоровья почвы в продуктивности агроценозов в 8-ми хозяйствах в разных районах Новосибирской обл. были выбраны контрастные по урожайности возделываемых культур поля. Для оценки фитосанитарной и экологической готовности почв для перехода на органические технологии возделывания сельскохозяйственных культур образцы серой лесной почвы отбирали в предпосевной и осенний периоды на 20-ти полях хозяйства, расположенного в Асиновском р-не Томской обл. В исследованиях влияния систем обработки почвы на ее здоровье были задействованы типичные для пунктов отбора проб почвы степной зоны Алтайского края – выщелоченный чернозем, серая лесная и каштановые почвы, обрабатываемые по традиционной (осенняя зябь с весенней культивацией и боронованием) и No-till (прямой посев по стерне предшественника) технологиям.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обоснование фактологических критериев оценки здоровья почвы. Фактологические критерии здоровья почвы довольно многочисленны и разнообразны [2, 17, 26], однако, по нашему мнению, их можно разделить на 3 группы по способу применения и методологии принятия практических решений на их основе. Первую группу представляют регламентируемые критерии. В эту

группу можно включить, например, численность в почве фитопатогенов, фитофагов и сорных растений [28]. Набор критериев этой группы зависит от целевого назначения анализируемых почв, истории агроценозов, выявляемых проблем, предполагаемых практических решений. Следует в каждом случае определиться с набором планируемых к возделыванию культур и перечнем наиболее экономически значимых для региона вредных организмов. Например, при планируемом возделывании зерновых культур обязательным критерием здоровья почвы является ее заселенность конидиями возбудителя гельминтоспориозной (обыкновенной) корневой гнили зерновых культур *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem., при возделывании подсолнечника или сои – заселенность склероциями возбудителя белой гнили *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary, при возделывании картофеля – склероциями *Rhizoctonia solani* Kuhn. и цистами золотистой картофельной нематоды *Globodera rostochiensis* Woll. Behrens. Для всех культур большое значение имеет засоренность почвы семенами сорняков. Обоснованное применение таких критериев предполагает определение зональных порогов вредоносности (ПВ) каждого из вредных объектов. Методика экспериментального определения ПВ достаточно трудоемка и требует создания серии искусственных инфекционных фонов [29]. Ориентиром для оценки ПВ большинства почвенных видов может служить их численность в целинных почвах-аналогах в непосредственной близости от анализируемых агроценозов. Установлено, что в целинных почвах численность фитопатогенов естественным образом в течение длительного времени поддерживается на уровне, близком к ПВ [19].

Вторая группа критериев может быть условно названа оценочными критериями. В нее входят все показатели здоровья почвы, оцениваемые по специальным, разработанным специально для них шкалам (супрессирующая активность почвы, фитотоксичность почвы и т.п.). Например, фитотоксичность почвы изменяется от нулевой – почва не фитотоксична (ингибирование ростовых процессов проростков до 20%) до высокой (ингибирование >60%) [28]. Для оценки уровня супрессивности почвы принята шкала от 100% (полная супрессивность – все блоки без признаков роста тест-объекта) до 0 (несупрессивная почва – все блоки тест-объекта развиваются на уровне контроля). Значение супрессивности может быть отрицательным, если почва характеризуется кондуктивностью, т.е. способствует размножению и выживанию тест-объекта [9].

Таблица 1. Шкала оценки здоровья почвы, баллы

Фактологический критерий, ед. измерения	Норма	Риск	Катастрофа	Бедствие
Превышение порога вредоносности (ПВ), число раз	≤ПВ	1.5–3	4–7	8–10 и более
<i>Bipolaris sorokiniana</i> , баллы	5	3	1	0
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> , баллы	5	3	1	0
Численность семян сорняков, баллы	5	3	1	0
Супрессивность почвы к фитопатогенам, %	>70	70–50	49–30	<30
<i>Bipolaris sorokiniana</i> , баллы	5	3	1	0
<i>Fusarium sporotrichoides</i> , баллы	5	3	1	0
Фитотоксичность, %	<30%	31–50%	51–69%	>70%
Всхожесть индикаторных растений, баллы	5	3	1	0
Фитомасса, баллы	5	3	1	0
Отклонение от эталона (целинный аналог почвы), %	>30%	>50%	>70%	Разы
Общее микробное число, баллы	5	3	1	0
Сапротрофные почвенные микромицеты, баллы	5	3	1	0
Бактерии, потребляющие органические формы азота (аммонификаторы), баллы	5	3	1	0
Бактерии, потребляющие неорганические формы азота (аммонификаторы), баллы	5	3	1	0
Целлюлозолитические микроорганизмы, баллы	5	3	1	0

Третья группа критериев здоровья почвы – это сравнительные критерии, для применения которых требуется обязательное сравнение выявленных параметров с аналогичными показателями целинных почв-аналогов. Это самая обширная группа фактологических критериев, включающая показатели микробиологической и ферментативной активности почвы, численности трофических групп микроорганизмов, интенсивности выделения почвой углекислого газа и многие другие [26]. В эту группу критериев могут быть также включены многочисленные показатели структуры, химического состава и плодородия почв. Применение этих критериев требует отбора и сопряженного анализа целинных аналогов культивируемых почв, что часто сопряжено с техническими трудностями. Применение микробиологических сравнительных критериев может наталкиваться на сложности в интерпретации результатов анализов почвенных образцов, поскольку культивируемые и целинные почвы на момент отбора проб часто имеют различия в гидротермических характеристиках, существенно влияющих на численность почвенной микробиоты [16, 18].

Таким образом, следует констатировать значительное разнообразие фактологических критериев здоровья почв, требующее в каждом случае взвешенного выбора набора критериев и обоснованного подхода к их применению и интерпретации результатов анализов.

Шкала здоровья почвы. Для получения интегрального показателя здоровья почвы была разработана шкала, в которой используемым фактологическим критериям присвоены баллы, соответствующие интегральным характеристикам экосистем: норме, риску, катастрофе, бедствию [30] (табл. 1):

– норма (**Н**) – состояние системы, отвечающее области ее равновесия, устойчивости (здоровая почва);

– риск – вероятность деградации экологической системы (окружающей среды) или перехода ее в неустойчивое состояние (относительно здоровые земли, с нарушением здоровья по ряду критериев);

– катастрофа – неравновесное нестационарное состояние экологической системы (окружающей среды), следствием которого становится потеря устойчивости (больные земли, с нарушением здоровья по большинству критериев);

– бедствие – последствия катастрофы, равновесное состояние экологической системы (окружающей среды) на предельно низком энергетическом уровне (больные земли, малопродуктивные для сельскохозяйственного использования, требующие срочного оздоровления и ремерииации).

В табл. 1 приведен пример использования некоторых фактологических критериев для оценки здоровья почвы и перевод полученных данных в баллы. Например, если почва заселена конидия-

ми возбудителя обыкновенной корневой гнили *B. sorokiniana* ниже зонального ПВ, ее состояние соответствует норме и ей присваивается максимальный балл – 5. По мере ухудшения фитосанитарного состояния и роста заселенности почв конидиями фитопатогена почва переходит в разряд “риск”, затем “катастрофа” и наконец “бедствие”, когда ее заселенность превышает 8–10 ПВ. В этом случае ей совсем не присваивают баллы. Аналогичный подход использован для перевода в баллы других фактологических критериев из группы регламентируемых.

В отношении оценочных критериев был развит аналогичный подход, но баллы присваивали в зависимости от соответствия выявленных величин принятым шкалам. Например, при оценке почвы на супрессивность к *B. sorokiniana* максимальный балл присваивали высоко супрессивной почве (на уровне 81–100%), нулевой балл присваивали почве с супрессивностью <20% или кондуктивной, т.е. стимулирующей рост колоний фитопатогена.

В отношении сравнительных фактологических критериев оценивали в баллах степень отклонения показателей от эталона (целинного аналога). Чем сильнее отклонение, тем менее благополучной считали почву, присваивая ей все меньше баллов.

В итоге для получения интегральной количественной оценки здоровья почвы баллы по фактологическим критериям суммировали и вычисляли здоровье почвы в процентах, принимая за 100% максимально возможную сумму баллов.

С учетом шкалы были предложены следующие интегральные критерии здоровья почв (в %):

- 80–100% – экологическая норма, полностью здоровые земли;
- 60–79% – экологический риск, относительно здоровые земли с нарушением здоровья по ряду критериев;
- 30–59% – больные земли, с нарушением здоровья по большинству критериев;
- 0–29% – больные земли, малопригодные для сельскохозяйственного использования, требующие срочного оздоровления и ремедиации.

В наших практических исследованиях здоровья почвы число использованных фактологических критериев в зависимости от целей и возможностей варьировало от 9 до 34. Чем меньше набор критериев, тем более ответственным становится их выбор и усложняется интерпретация результатов. При массовых анализах почвы частым ограничивающим фактором становится отдаленность точек отбора образцов от аналитической лаборато-

рии. Этот фактор особенно критичен при анализе почвенной микробиоты, численность которой сильно зависит от влажности и температуры, поэтому недопустимым становится длительное, более 3-х сут хранение отобранных образцов, особенно в летнее время.

При массовых анализах почвы предпочтение следует отдавать фактологическим критериям, показатели которых минимально зависят от условий и длительности хранения почвенных образцов.

В зависимости от назначения анализов, отдельным фактологическим критериям можно придавать бóльшую или меньшую значимость, что следует отражать в балльной оценке, вводя соответствующие повышающие коэффициенты.

Практическая апробация шкалы в Западной Сибири. Приведенная выше шкала была в общем виде разработана в 2014 г. и с тех пор прошла широкую практическую апробацию в агроценозах Западной Сибири. С использованием шкалы были проведены исследования по выявлению причин низкого плодородия отдельных полей в хозяйствах региона. Шкалу использовали при оценке пригодности полей и хозяйств для перехода к биологическому земледелию. В последние годы, применяя шкалу, проводили исследование влияния систем обработки почвы на ее здоровье. Результаты оценки здоровья почвы контрастных по продуктивности полей в хозяйствах лесостепной зоны Новосибирской обл. приведены в табл. 2.

Отбор почвенных образцов проводили с полей, которые, по оценкам агрономов, в течение длительного времени имели контрастную, отличающуюся на 50% и более продуктивность всех возделываемых в хозяйствах сельскохозяйственных культур.

Исследование показало, что состояние здоровья почв из агроценозов с разной продуктивностью существенно различалось. Агроценозы с пониженной продуктивностью имели в среднем на 18–28% более низкие показатели здоровья по сравнению с высоко продуктивными полями. Перечень проблемных критериев различался в зависимости от хозяйства и поля, что позволило разработать дифференцированные подходы к оздоровлению почв конкретных агроценозов.

Оценка здоровья целинных почв разных типов по регламентируемым и оценочным критериям, исключая сравнительные, имела высокие показатели – от 72.5 до 90.0%. Типы целинных почв отличались по природному уровню здоровья. Самыми низкими показателями здоровья характеризовался чернозем южный солонцеватый,

Таблица 2. Оценка здоровья почв из агроценозов разной продуктивности Новосибирской области (2014–2016 гг.), %

Район, хозяйство	Продуктивность высокая		Продуктивность низкая	
	предельные показатели	среднее	предельные показатели	среднее
Новосибирская обл., Тогучинский р-н, совхоз “им. XX партсъезда КПСС”	85.0–69.5	75.9	52.0–44.0	47.8
Тогучинский р-н, ИП “Глухов”	75.5–62.0	68.2	53.0–42.5	47.5
Коченевский р-н, СПК “Урожай”	75.0–61.5	67.5	54.0–42.0	47.2
Колыванский р-н, ООО “Соколово”	75.5–60.5	67.3	50.6–40.2	42.4
Краснозерский р-н, ИП “Вайс”	80.0–65.5	70.5	56.5–42.0	50.7
Краснозерский р-н, ООО “Рубин”	82.0–68.5	75.4	65.5–50.0	60.6
Краснозерский р-н, ЗАО “Колыбельское”	70.5–55.5	60.8	50.5–39.0	42.5
Коченевский р-н, ООО “Росагро”	75.0–62.5	68.2	60.0–48.5	53.0

имеющий пониженную супрессивность к фитопатогенам и в силу химического состава оказывавший умеренное, но выраженное фитотоксическое действие на индикаторные растения [2, 19]. Самым высоким уровнем здоровья обладали целинные аналоги выщелоченного чернозема и лугово-черноземной почвы. Существенная часть образцов целинной почвы была засорена в высокой степени (до 3 ПВ) семенами сорняков, что свидетельствовало о частичном вытеснении естественной растительности рудеральными видами. Таким образом, комплексный подход к оценке здоровья почв позволяет выявить причины низкой продуктивности агроценозов и внести целенаправленные коррективы в агротехнологии для их устранения.

С переходом ряда хозяйств Сибири к органическому земледелию возросла потребность в объективной оценке готовности полей и хозяйств региона к изменению технологий возделывания культур. Интегральная оценка здоровья почв хозяйства Томской обл. позволила определить очередность перевода полей хозяйств на новую систему возделывания. В конце вегетации был проведен повторный анализ полей для оценки фитосанитарной результативности технологий. Результаты исследования почв приведены в табл. 3. Представленные данные позволили разделить поля хозяйства на 3 неравные группы. Только одно поле “Рассвет” имело полностью здоровую в фитосанитарном и экологическом отношении почву по всем фактологическим критериям. 10 полей имели относительно здоровые по интегральной оценке почвы, с нарушением здоровья по небольшому числу критериев. У каждого из этих полей были “узкие места”, которые требовали корректировки. Например, почва поля “За козлятником” в значительной степени была засе-

лена конидиями *Bipolaris sorokiniana*, на нем было рекомендовано возделывать фитосанитарные в отношении этого специализированного фитопатогена не зерновые культуры. Поля “Кайла” и “Опытное” были сильно засорены семенами сорняков, особенно гречишкой вьюнковой и просом сорнополевым. Там требовалось включение в технологии возделывания сельскохозяйственных культур специальных мероприятий по очищению почвы от семян сорняков и снижению засоренности, например, повышение конкурентной способности культур к сорнякам за счет повышения нормы высева. Почва полей “Минские” и “Косилровка” содержала низкое число микроорганизмов, на них требовалось внесение органических удобрений. Поля “Над Кайлой”, “Лысая гора”, “Сумное” показали как высокую засоренность семенами сорняков, так и низкую численность микроорганизмов, поэтому на них требуется применение обоих указанных выше технологических приемов.

Следует отметить, что за период вегетации почва полей “Над Кайлой”, “Лысая гора” и “Сумное” улучшила показатели здоровья, что свидетельствовало о результативности проведенных почвоулучшающих мероприятий.

Третья группа из 8 полей имела больные земли, с нарушением здоровья по большинству критериев. На каждом из этих полей было несколько проблемных показателей, требовавших существенной корректировки с помощью технологических приемов. Эти поля необходимо было в течение ряда лет готовить для перехода на органические технологии возделывания сельскохозяйственных культур.

Таким образом, комплексный анализ здоровья почвы позволил выявить основные фитосанитарные и экологические проблемы, которые были

Таблица 3. Интегральная оценка пригодности почв для органического земледелия (Томская обл., 2017 г.)

Наименование поля	Интегральная оценка, %		
	весна	осень	среднее
Целина	91.1	86.7	88.9
Рассвет	86.7	88.9	87.8
За козлятником	77.8	77.8	77.8
Косиловка	73.3	77.8	75.6
Опытное	71.1	73.3	72.2
Минские	68.9	73.3	71.1
Кайла	68.9	68.9	68.9
Сумное	60.0	77.8	68.9
Над Кайлой	60.0	68.9	64.5
У вышки	60.0	62.2	61.1
За богомоловым логом	57.8	64.4	61.1
Лысая гора	51.1	71.1	61.1
Челбак	57.8	60.0	58.9
Казанщина	62.2	51.1	56.7
Чертоны	60.0	57.8	58.9
За заправкой справа	62.2	53.3	57.8
Лобаниха	48.9	57.8	53.4
Звездочка	51.1	55.6	53.3
Волчи норы	44.4	48.9	46.7
Сафоново	42.2	51.1	46.7

учтены при введении органических технологий возделывания культур.

В 2018 г. был проведен анализ здоровья почвы и определено влияние систем ее обработки в регионах засушливых зон Алтайского края. Результаты исследования представлены в табл. 4. Данные позволили заключить, что технологии прямого посева культур не оказывали отрицательного влияния на здоровье почв засушливых зон Алтайского края. Исследование было проведено в хозяйствах, использующих для возделывания культур разные типы почвы и расположенных в разных по засушливости степных районах. Здоровье светло-каш-

тановой почвы и южного чернозема в острозасушливых пунктах отбора проб “Табуны” и “Волчиха” осталось практически неизменным с переходом на технологии прямого посева культур по стерне предшественника, отличия были в пределах статистических погрешностей. В этих районах жесткость гидротермических факторов не позволила в течение 4–5 лет в полной мере проявиться положительным или отрицательным последствиям новой технологии. Следует констатировать, что в условиях острой засухи на поверхности почвы Кулундинской сухой степи замедлилось формирование стерневой “подушки”, во многом обуславливающей преимущества технологии прямого посева. В несколько менее засушливых степных районах пунктов “АлтайНИИСХ” и “Алейск” введение технологии No-till оказало достоверное положительное влияние на здоровье чернозема выщелоченного. Более высокая продуктивность культур севооборотов способствовала проявлению положительных последствий введения новой технологии. Более активное накопление на поверхности почвы растительных остатков обеспечило рост супрессивности почвы и численности сапротрофной микробиоты, не ухудшая другие показатели. В итоге интегральная оценка здоровья почвы в агроценозах с технологией No-till оказалась достоверно выше на 8% (“Алейск”) и 23.5% (“АлтайНИИСХ”). Таким образом, применение интегральной шкалы оценки здоровья почвы позволило выявить положительную тенденцию от введения в засушливой степи Алтайского края технологии No-till.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований была разработана и апробирована для решения практических задач интегральная шкала оценки здоровья почв. Шкала позволяет использовать любое число регламентируемых, оценочных или сравнительных фактологических критериев здоровья и оценить здоровье почвы в процентах. Использование предложенной шкалы способствовало выявлению

Таблица 4. Здоровье почвы в зонах Алтайского края при применении разных систем их обработки, %

Пункт отбора проб	Тип почвы	Система обработки почвы	
		no-till	традиционная
Табуны	Светло-каштановая	68.5 ± 7.9	68.0 ± 7.1
Волчиха	Чернозем южный	69.5 ± 5.8	72.0 ± 8.0
АлтайНИИСХ	Чернозем выщелоченный	84.0 ± 9.2	60.5 ± 5.5
Алейск	Чернозем выщелоченный	76.5 ± 6.3	68.5 ± 6.2
Среднее		74.1 ± 8.9	67.3 ± 7.8

нию причин низкой продуктивности агроценозов хозяйств Новосибирской обл. Агроценозы с пониженной, более чем на 50%, продуктивностью имели в среднем на 18–28% более низкие показатели здоровья по сравнению с высокопродуктивными полями.

Интегральная оценка здоровья почв Томской обл. позволила определить очередность перевода полей хозяйства на органическую систему возделывания и выявить основные фитосанитарные и экологические проблемы, которые были учтены при введении органических технологий возделывания культур. Использование интегральной шкалы здоровья почвы выявило отсутствие отрицательного влияния на здоровье почв технологии прямого посева культур в разных по засушливости степных районах Алтайского края. В острозасушливых районах здоровье почвы осталось практически неизменным с переходом на технологию No-till, отличия были в пределах статистических погрешностей. В менее засушливых степных районах введение технологии No-till оказало достоверное положительное влияние на здоровье чернозема выщелоченного за счет роста супрессивности почвы и численности сапротрофной микробиоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Doran J.W., Sarrantonio M., Liebig M.A.* Soil health and sustainability // *Adv. Agron.* 1996. V. 56. P. 1–54.
2. *Глинушкин А.П., Соколов М.С., Торопова Е.Ю.* Фитосанитарные и гигиенические требования к здоровой почве / Под ред. Соколова М.С. М.: Изд-во Агрорус, 2016. 288 с.
3. *Соколов М.С.* Актуальные задачи оздоровления почв России // *Почвы в биосфере и жизни человека* / Под ред. Добровольского Г.В., Куста Г.С., Санаева В.Г. М.: МГУЛ, 2012. С. 356–384.
4. *Соколов М.С., Марченко А.И.* Здоровая почва как основа благополучия России (концептуально-аналитические аспекты) // *Агрохимия.* 2011. № 6. С. 3–10.
5. *Соколов М.С., Марченко А.И., Санин С.С., Торопова Е.Ю., Чулкина В.А., Захаров А.Ф.* Здоровье почвы агроценозов как атрибут ее качества и устойчивости к биотическим и абиотическим стрессорам // *Изв. ТСХА.* 2009. № 1. С. 13–22.
6. *Торопова Е.Ю.* Диагностика здоровья почвы // *Защита и карантин растений.* 2019. № 4. С. 19–22.
7. *Соколов М.С., Спиридонов Ю.Я., Глинушкин А.П., Торопова Е.Ю.* Органическое удобрение – эффективный фактор оздоровления почвы и индуктор ее супрессивности // *Достиж. науки и техн. АПК.* 2018. Т. 32. № 1. С. 4–12.
8. *Bonanomi G., Antignani V., Capodilupo M., Scala F.* Identifying the characteristics of organic soil amendments that suppress soilborne plant diseases // *Soil Biol. Biochem.* 2010. V. 42. № 2. P. 136–144.
9. *Спиридонов Ю.Я., Соколов М.С., Глинушкин А.П., Каракотов С.Д., Коришунов А.В., Торопова Е.Ю., Сарраев П.В., Семенов А.М., Семенов В.М., Никитин Н.В., Калиниченко В.П., Лысенко Ю.Н.* Адаптивно-интегрированная защита растений. М.: Печатный город, 2019. 626 с.
10. *Sokolov M.S., Dorodnykh Y.L., Marchenko A.I.* Healthy soil as a necessary condition of human life // *Euras. Soil Sci.* 2010. T. 43. № 7. С. 802–809.
11. *Соколов М.С., Соколов Д.М., Тымчук С.Н., Ларин В.Е.* Методология и показатели санитарно-микробиологического контроля безопасности почвы (аналитический обзор) // *Биосфера.* 2014. Т. 6. № 2. С. 158–169.
12. *Соколов М.С., Глинушкин А.П., Торопова Е.Ю.* Средообразующие функции здоровой почвы – фитосанитарные и социальные аспекты // *Агрохимия.* 2015. № 8. С. 81–94.
13. *Karlen D.L. Andrews S.S., Doran J.W.* Soil quality: current concepts and applications // *Adv. Agron.* 2001. V. 74. P. 1–39.
14. *Семенов А.М., Семенов В.М., Ван Бругген А.Х.К.* Диагностика здоровья и качества почвы // *Агрохимия.* 2011. № 12. С. 4–18.
15. *Janvier C., Villeneuve F., Alabouvette C., Edel-Hermann V., Mateille T., Steinberg C.* Soil health through disease suppression: Which strategy from description to indicators? // *Soil Biol. Biochem.* 2007. V. 39. P. 1–23.
16. *Microbiological methods for assessing soil quality* / Eds. J. Bloem, D.W. Hopkins, A. Benedetti. UK, USA: CAB Publishing, 2006. 301 p.
17. *Семенов А.М., Соколов М.С.* Концепция здоровья почвы: фундаментально-прикладные аспекты обоснования критериев оценки // *Агрохимия.* 2016. № 1. С. 3–16.
18. *Добровольская Т.Г.* Структура бактериальных сообществ почв. М.: Академкнига, 2002. 282 с.
19. *Торопова Е.Ю., Соколов М.С., Глинушкин А.П.* Индукция супрессивности почвы – важнейший фактор лимитирования вредоносности корневых инфекций // *Агрохимия.* 2016. № 8. С. 46–55.
20. *Bezdicsek D.F.* Development and evaluation of indicators for agroecosystem health // *Agriculture in concern with the environment. ACE Research Projects Western Region,* 1996. 6 p.
21. *Logan T.J.* Soils and environmental quality // *Handbook of soil science* / Ed. Sumner M.E. Boca Raton: CRC Press, 2000. P. 155–169.
22. *Garbeva P., Van Veen J.A., Van Elsas J.D.* Microbial diversity in soil: selection of microbial populations by plant and soil type and implications for disease suppressiveness // *Annu. Rev. Phytopathol.* 2004. V. 42. P. 243–270.
23. *Burns R.G., Nannipieri P., Benedetti A., Hopkins D.W.* Defining soil quality // *Microbiological methods for assessing soil quality* / Ed. J. Bloem, D.W. Hopkins, A. Benedetti. UK, USA: CAB Publishing, 2006. P. 15–22.
24. *Janvier C., Villeneuve F., Alabouvette C., Edel-Hermann V., Mateille T., Steinberg C.* Soil health through disease

- suppression: Which strategy from description to indicators? // *Soil Biol. Biochem.* 2007. V. 39. P. 1–23.
25. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. Учение об экологических функциях почв. М.: Изд-во МГУ, 2012. 412 с.
26. Соколов М.С., Марченко А.И. Экологический мониторинг здоровья почвы в системе “ОВОС” (методология выбора критериев оценки) // *Агрохимия.* 2013. № 3. С. 3–18.
27. Соколов М.С., Глинушкин А.П., Спиридонов Ю.Я. Перспективы исследований по улучшению качества и оздоровления почв России // *Достиж. науки и техн. АПК.* 2016. Т. 30. № 7. С. 5–10.
28. Чулкина В.А., Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я. Фитосанитарная диагностика агроэкосистем. Уч.-практ. пособ. Барнаул, 2017. 210 с.
29. Чулкина В.А., Торопова Е.Ю. Определение порогов вредоносности возбудителей корневых инфекций // *Защита и карантин растений.* 2006. № 1. С. 41–43.
30. Черников В.А., Алексахин Р.М., Голубев А.В. Агроэкология / Под ред. Черникова В.А., Черкесова А.И. М.: Колос, 2000. 536 с.

Factual Criteria for Assessing the Health of Siberian Soils

E. Yu. Toropova^{a,b,#}, A. E. Kudryavtsev^c, G. Ya. Stetsov^{d,e}, and M. P. Selyuk^{a,b}

^a*Novosibirsk State Agrarian University
ul. Dobrolyubova 160, Novosibirsk 630039, Russia*

^b*Russian Federal Research Institute of Phytopathology
ul. Institut, bld. 5, Moscow region, Odintsovo district, Bolshye Vyazemy 143050, Russia*

^c*Altay State Agrarian University
prosp. Krasnoarmeysky 98, Barnaul 656049, Russia*

^d*Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies
Nauchny gorodok 35, Barnaul 656910, Russia*

^e*Altay State University
prosp. Lenina 61, Barnaul 656049, Russia*

[#]*E-mail: 89139148962@yandex.ru*

The soil quality, as the main means of production in agriculture, is usually evaluated according to two most important, interrelated characteristics: production (fertility) and environment-forming (health). A practical assessment of soil health is highly relevant around the world. The aim of the research was to develop a scale for assessing soil health regardless of factual criteria used number. Research objectives: 1 – substantiation of factual criteria for assessing soil health; 2 – development of a soil health scale integrating experimental analytical material; 3 – practical testing of the developed scale in the conditions of the West Siberian region. As a result of research, an integrated scale for assessing soil health was developed and tested to solve practical problems. The scale allows you to use any number of regulated, evaluative or comparative factual soil health criteria, and allows you to assess the soil health in percent. Using the proposed scale contributed to identifying the causes of low agrocenoses productivity in the Novosibirsk Region farms. Agrocenoses with reduced, by more than 50% productivity, had an average of 18–28% lower health indicators compared to highly productive fields. An integrated assessment of soil health in the Tomsk Region made it possible to determine the priority of transferring farm fields to an organic cultivation system and to identify the main phytosanitary and environmental problems that were taken into account when introducing organic cultivation technologies. The use of the integrated soil health scale made it possible to identify the absence of a negative effect on the soils health of No-till technologies in different steppe regions of the Altai Territory. In severely arid regions, soil health remained virtually unchanged with the transition to No-till technology, the differences were within the statistical errors. In less arid steppe regions, the introduction of No-till technology had a significant positive effect on the leached black soil health due to increase the suppressive activity and the saprotrophic microbiota number in the soil samples.

Key words: soil health, integral scale, factual criterion, phytosanitary condition, severity threshold, suppressive activity, phytotoxicity, conidia, microbiota number, weed seeds.

УДК 632.95:631.98

ИЗУЧЕНИЕ РОСТРЕГУЛИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ПРОИЗВОДНЫХ ПИРИДИН-2-СУЛЬФАНИЛАЦЕТАНИЛИДОВ НА РАСТЕНИЯХ СОИ¹

© 2020 г. Л. В. Дядюченко^{1,*}, В. В. Тараненко¹, И. Г. Дмитриева²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений
350039 Краснодар, п/о 39, Россия

²Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина
350044 Краснодар, ул. Калинина, 13, Россия

*E-mail: ludm.dyadiuchenko@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.05.2019 г.

После доработки 18.09.2019 г.

Принята к публикации 10.02.2020 г.

Осуществлен синтез и скрининг регуляторов роста сои в ряду замещенных алкилтионикотинонитрилов. По результатам лабораторного опыта выявлено перспективное соединение – (4,6-диметил-3-цианопиридил-2-сульфанил)-4-бромацетанилид, которое изучено в полевых условиях в 2016–2018 гг. опыты проводили на экспериментальном поле ВНИИ биологической защиты растений, для посева использовали элитные семена сои сорта Бара. В опыте вегетирующие растения сои обрабатывали водным раствором изученного соединения дважды: в фазе 4–5 листьев и в фазе бутонизации–ветвления. Опыт предусматривал измерение биометрических показателей растений и органов, формирующих структуру урожая, урожайности. Качество зерна оценивали по содержанию белка и масличности. Данные 3-летних полевых испытаний показали, что вещество положительно влияло на формирование структуры урожая, в первую очередь существенно увеличивая количество зерна на одно растение (до 14% по отношению к контролю). Применение регулятора роста обеспечивало достоверное и стабильное повышение урожая сои (на 12.1–20.9%). Одновременно улучшалось качество зерна: содержание белка увеличивалось на 0.5–0.6, масла – на 0.5–1.5%.

Ключевые слова: соя, сорт Бара, регуляторы роста растений, синтез, скрининг, алкилтионикотинонитрилы, структура урожая, прибавка урожая, белок, масличность.

DOI: 10.31857/S0002188120050075

ВВЕДЕНИЕ

Соя на сегодняшний день является одной из важных продовольственных культур в мире, которой уделяют большое внимание. Для сои характерно высокое содержание белков, липидов, витаминов и минеральных веществ, что широко востребовано в современных условиях. Эта культура имеет достаточно высокую продуктивность, широкий ареал распространения и экономичность производства. Именно поэтому соя по объемам производства является ведущей бобовой и масличной культурой мира, занимает лидирующие позиции мирового экспорта сельскохозяйственной продукции. Кроме того, соя обогащает почву азотом, улучшает ее структуру, что позволяет снизить затраты на применение минераль-

ных азотных удобрений. Азот сои не загрязняет окружающую среду и легко усваивается растениями [1].

Производство соевого зерна в мире неуклонно возрастает, она стала высокодоходной культурой. В Краснодарском крае в 2018 г. под сою выделили более 215 тыс. га, что на 39 тыс. га или 22% больше, чем годом ранее [2].

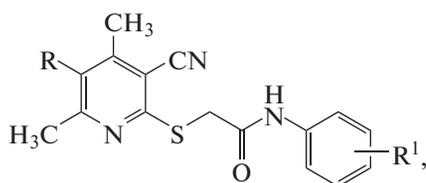
Очевидно, что поиск путей повышения урожайности сои, как и качества семян, актуален [3]. Для повышения урожая в современном сельском хозяйстве применяют интенсивные технологии, предусматривающие использование регуляторов роста растений (*PPP*) – физиологически активных веществ биогенного происхождения или синтезированных искусственно, которые в малых дозах положительно влияют на жизненные процессы растений [4, 5]. Создание и использование *PPP*, снижающих пестицидный пресс на растения и окружающую среду, весьма актуально. Раз-

¹ Исследование выполнено в соответствии с Государственным заданием № 075-00376-19-00 Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № 0686-2019-0013.

работка новых действующих веществ ведется в различных классах химических соединений, как в нашей стране, так и за рубежом [6–8]. Цель работы – синтез и скрининг регуляторов роста сои в ряду замещенных алкилтионикотинитрилов, исследование свойств перспективного соединения – (4,6-диметил-3-цианопиридил-2-сульфанил)-4-бромацетанилида.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В продолжение работ по поиску биологически активных веществ в рядах производных азотсодержащих гетероциклов, в частности регуляторов роста растений и антидотов [9, 10], была синтезирована серия новых соединений, относящихся к классу пиридил-2-сульфанилацетанилидов общей формулы I:



Ia-k

где R = H, метил, хлор; R¹ = алкил-, алкокси-, галогенил-, нитро-, аминогруппы.

Методики синтеза опубликованы в работе [10]. Выход целевых продуктов составил 68–91%. Для всех синтезированных соединений определены физико-химические константы ($T_{пл}$, $T_{кип}$), их структура подтверждена элементным анализом, а также методами ЯМР-¹H- и ¹³C-спектроскопии и масс-спектрометрии. Индивидуальность соединений установлена с помощью тонкослойной хроматографии.

Первичную оценку активности новых соединений осуществляли в лабораторном опыте по величине их рострегулирующего эффекта. Для этого использовали официально рекомендованную методику проращивания семян в “рулонах” по ГОСТ 12044-93. В опытах использовали растворы испытуемых веществ в концентрациях 1×10^{-1} , 1×10^{-2} , 1×10^{-3} , 1×10^{-4} , 1×10^{-5} %.

Вещества, отобранные по результатам лабораторного опыта, исследовали в полевых условиях.

Полевые опыты проведены на экспериментальной базе ВНИИБЗР в 2016–2018 гг. Почвенный покров участка – чернозем выщелочный мощный тяжелосуглинистый. Содержание гумуса в пахотном слое 0–25 см – 4.0%. Почва пресная, плотный остаток <0.1%, рН_{KCl} 5.5. Содержа-

ние подвижных форм фосфора – 17.4, калия – 32.8 мг/100 г почвы.

Погодные условия в годы проведения опыта были различными. В 2016–2017 гг. метеоусловия для пропашных культур в период апрель–июнь были благоприятными, в июле–августе отмечено значительное повышение среднесуточных температур воздуха, что выразилось в проявлении воздушной и почвенной засухи. В 2018 г. весь период вегетации сои проходил при избытке тепла и дефиците влаги. Температура воздуха была на 4°C выше, осадков выпало на 70.2 мм меньше среднегодовой нормы. Различия погодных условий повлияли на рост и продуктивность сои.

Для проведения полевых опытов использовали семена сои сорта Бара, элита. Производитель семян (оригинатор сорта) – ООО Компания “Соевый Комплекс”. В Госреестре сорт с 2011 г., пригоден для выращивания во всех зонах РФ.

Сорт – ультроскороспелый, вегетационный период – 85–90 сут. Тип роста растений – детерминантный, ветвление слабое. Не повреждается паутинным клещом, совками, огневками, устойчив к гнили и фузариозу.

Качественный состав зерна – 41–43% белка, 19–20% масла. Потенциальная урожайность – до 35.0 ц/га, в повторных посевах (посевах после уборки основной культуры, например, озимого рапса, озимого ячменя, озимой пшеницы) – до 23.0 ц/га. Сорт пригоден для пищевых, кормовых и технических целей.

Полевые опыты были заложены после предшественника – озимой пшеницы. Площадь под опытом – 260 м², площадь опытной делянки – 5.0 м², повторность четырехкратная. Обработку опытных делянок проводили дважды: в фазе 4–5 листьев и в фазе бутонизации–ветвления. Способ обработки растений – опрыскивание. Норма расхода рабочего раствора – 300 л/га. Для обработки использовали малогабаритный опрыскиватель (монодисперсный) емкостью 0.2 л.

В период между первой обработкой до уборки урожая на опытном участке проводили наблюдения и учеты в основные фазы роста и развития растений сои. Перед уборкой урожая отбирали модельные снопы для последующей оценки влияния препаратов на формирование основных элементов структуры урожая.

Уборку и учет урожая проводили отдельным способом. Растения сои срезали в снопы, а затем обмолачивали на комбайне Хеге 125. Массу зерна в каждой повторности варианта взвешивали с точностью ±5.0 г. Из 4-х повторностей варианта отбирали среднюю пробу для последующего анализа на содержание общего азота, белка, сырого жира.

Таблица 1. Эффективность регулятора роста по показателям основных элементов структуры урожая сои

Шифр соединения, норма расхода, г/га	Высота растений, см	Средние показатели на одно растение						Масса 1000 семян, г
		количество бобов на одно растение, шт.	в т.ч. количество семян в бобе, шт.			количество семян на одно растение, шт.	масса семян с одного растения, г	
			1	2	3			
2016 г.								
Соединение Id, 30+30	62.4	34.4	7.6	12.6	14.2	76.5	10.8	146
Контроль	63.4	32.2	7.2	14.5	10.5	67.7	9.6	142
<i>HCP</i> ₀₅	4.3	4.2	—	—	—	8.6	2.2	—
2017 г.								
Соединение Id, 30+30	63.1	32.8	7.0	12.2	13.6	73.1	10.2	151
Контроль	61.0	30.5	7.1	11.6	11.8	65.6	9.4	149
<i>HCP</i> ₀₅	3.9	3.3	—	—	—	7.5	1.2	—
2018 г.								
Соединение Id, 30+30	55.2	26.5	5.2	10.0	12.0	60.4	9.2	166
Контроль	50.5	19.6	3.1	8.1	7.3	43.2	6.3	158
<i>HCP</i> ₀₅	3.5	2.7	—	—	—	5.9	1.3	—

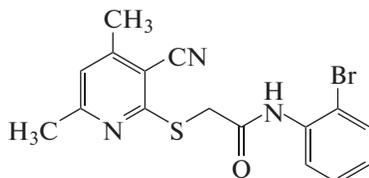
Примечание. В графах 1, 2, 3 – количество бобов с одним семенем, двумя и тремя соответственно

Рострегулирующую активность изученных соединений определяли по увеличению урожая растений, обработанных рострегулятором, в сравнении с контролем (необработанными растениями). Данные учета подвергали статистической обработке с использованием *HCP*₀₅.

Качественные показатели зерна определяли на инфракрасном спектрофотометре “Инфрапид 61” (Labog MIM, Венгрия). Аналитическая повторяемость трехкратная. Полученные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В лабораторном опыте на проростках сои было выявлено перспективное соединение (4,6-диметил-3-цианопиридил-2-сульфанил)-4-бромацетанилид (соединение Id):



Id

Соединение Id при использовании в концентрации $1 \times 10^{-4}\%$ проявляло ростстимулирующий эффект на стеблях проростков на уровне 16–17%,

на корнях проростков – на уровне 17–18%. Далее его эффективность была изучена в полевом мелкоделяночном опыте.

Условия вегетации по обеспечению сои влагой в 2016–2017 гг. были более благоприятными, чем в 2018 г. Это способствовало увеличению высоты растений, положительно сказалось на формировании элементов продуктивности культуры (табл. 1), а также ее урожайности (табл. 2).

По данным учетов, не обнаружено существенного влияния препарата на линейный рост растений сои. Перед уборкой средняя высота растений в опытных вариантах превышала контроль лишь на 1.0–4.7 см. Показатель общего количества бобов на растении при обработке регулятором роста, был достоверно больше, чем в контроле. Применение *PPP* способствовало увеличению количества семян на одно растение по отношению к контролю на 11.1–14.0%, при этом масса семян с одного растения возрастала в пределах 11.3–14.6%. Показатели массы 1000 семян в опытных и контрольных вариантах были близкими, следовательно, под воздействием регулятора роста увеличивалось количество бобов и семян на растение при сохранении размера зерна.

Судя по данным учета урожая (табл. 2), применение препарата Id обеспечивало достоверное и стабильное повышение урожая сои (на 12.1–20.9%). Одновременно улучшалось качество зер-

Таблица 2. Влияние регулятора роста на продуктивность и качество семян сои

Шифр соединения, норма расхода, г/га	Урожайность зерна, ц/га	Прибавка к контролю		Содержание в зерне, %	
		ц/га	%	белок	масло
2016 г.					
Соединение Id, 30+30	30.6	3.8	14.2	44.2	25.2
Контроль	26.8	—	—	43.6	23.8
<i>HCP</i> ₀₅	2.57	—	—	0.89	0.48
2017 г.					
Соединение Id, 30+30	28.8	3.1	12.1	43.1	24.0
Контроль	25.7	—	—	42.4	23.5
<i>HCP</i> ₀₅	2.15	—	—	1.40	1.21
2018 г.					
Соединение Id, 30+30	19.1	3.3	20.9	42.8	24.1
Контроль	15.8	—	—	42.2	22.4
<i>HCP</i> ₀₅	1.45	—	—	1.74	1.09

на, т.к. содержание белка в зерне увеличивалось на 0.5–0.6, масла – на 0.5–1.5%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Регуляторы роста растений, несомненно, положительно влияют на развитие культуры сои и ее урожайность. Применение синтезированного (4,6-диметил-3-цианопиридил-2-сульфанил)-4-бромацетанилида в течение 3-летнего опыта обеспечило существенное и достоверное повышение урожайности сои и улучшение его качества. При использовании регулятора роста количество семян на одно растение возрастало на 11.1–14.0%, прибавка урожая составила 12.1–20.9%. Влияние препарата положительно сказалось и на качестве зерна: содержание белка увеличилось на 0.5–0.6%, маслянистость – на 0.5–1.5%. В связи с этим целесообразно рассматривать этот препарат в качестве перспективного действующего вещества для создания нового отечественного регулятора роста сои. Работа защищена патентом РФ [12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукомец В.М., Кочегура А.В., Баранов В.Ф., Махонин В.Л. Соя в России – действительность и возможность. Краснодар, 2013. 100 с.
2. Федотов В.А., Гончаров С.В., Столяров О.В. Соя в России. М., 2013. 432 с.
3. Кирсанова Е.В., Гвалдова В.В., Зорькин Е.В. Применение регуляторов роста как фактор повышения урожайности сои // Агробизнес и экология. 2015. № 2. С. 42–44.
4. Шаповал О.А., Можарова И.П., Мухина М.Т. Влияние регуляторов роста растений нового поколения на рост и продуктивность растений сои // Плодородие. 2015. № 5. С. 32–34.
5. Шаповал О.А., Можарова И.П., Кориунов А.А. Регуляторы роста растений в агротехнологиях // Защита и карантин растений. 2014. № 6. С. 16–20.
6. Basuchaudhuri P. Influences of plant growth regulators on yield of soybean (Review) // Indian J. Plant Sci. 2016. № 4. P. 25–38.
7. Gulluoglu L., Arioglu H., Mehmet A. Effects of some plant growth regulators and nutrient complexes on above-ground biomass and seed yield of soybean grown under heat-stressed environment // J. Agron. 2006. № 5. P. 126–130.
8. Calvino P.A., Sadras V.O., Andrade F.H. Development, growth and yield of late-sown soybean in the southern pampas // Eur. J. Agron. 2003. V. 19. P. 265–275.
9. Дядюченко Л.В., Назаренко Д.Ю., Ткач Л.Н., Тосуннов Я.К., Дмитриева И.Г. Поиск новых иммуномодуляторов сахарной свеклы в ряду производных пиридилгидразонов // Политемат. электр. научн. журн. КубГАУ. 2016. № 122(08). С. 461–470.
10. Дмитриева И.Г., Дядюченко Л.В., Стрелков В.Д., Кайгородова Е.А. Синтез 4,6-диметил-5-R-3-цианопиридин-2-сульфонилхлоридов и N-замещенных сульфониламидов на их основе // Химия гетероцикл. соед. 2009. № 9. С. 1311–1318.
11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.
12. Дядюченко Л.В., Ткач Л.Н., Дмитриева И.Г., Тосуннов Я.К. Пат. РФ, № 2617322. Способ повышения урожайности сои. Опубл. 28.03.2019. Бюл. № 10.

Study of Growth-Stimulating Characteristics of Pyridine-2-Sulfonyl Acetylides Derivatives on Soybean Plants

L. V. Dyadyuchenko^{a,#}, V. V. Taranenko^a, and I. G. Dmitrieva^b

^aAll-Russian Research Institute of Biological Plant Protection
p/o 39, Krasnodar 350039, Russia

^bI. T. Trubilin Kuban State Agrarian University
ul. Kalinina 13, Krasnodar 350044, Russia

[#]E-mail: ludm.dyadyuchenko@yandex.ru

The synthesis and screening of growth regulators in soybeans to several substituted alkylthionicotinonitriles is carried out. The results of laboratory experiences identified a promising compound – (4,6-dimethyl-3-cyanopyridyl-2-sulfonyl)-4-bromoacetanilide, which is studied in the field in 2016–2018. Experiments were conducted on experimental field of Institute of biological protection of plants for planting used seeds soybean varieties are the Bar. In the experiment, growing soy plants were treated with an aqueous solution of the studied compound twice: in the 4–5-leaf phase and in the budding–branching phase. The experiment provided for the measurement of biometric indicators of plants and organs that form the structure of the crop, yield. Grain quality was evaluated by protein content and oil content. Data from 3-year field tests showed that the substance had a positive effect on the formation of the crop structure, primarily significantly increasing the amount of grain per plant (up to 14% in relation to the control). The use of the growth regulator provided a reliable and stable increase in the soybean yield (by 12.1–20.9%). At the same time, the quality of grain improved: the protein content increased by 0.5–0.6, and the oil content increased by 0.5–1.5%.

Key words: soy, Bar variety, plant growth regulators, synthesis, screening, alkylthionicotinonitriles, crop structure, crop addition, protein, oil content.

НОВЫЙ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ПРЕПАРАТ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ И КОМПЛЕКСНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КАРТОФЕЛЯ К БИОТИЧЕСКИМ СТРЕССАМ

© 2020 г. Т. А. Рябчинская^{1,*}, Т. В. Зимина¹, И. Ю. Бобрешова¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений
396030 п. ВНИИСС, 92, Рамонский р-н, Воронежская обл., Россия

*E-mail: biometod@mail.ru

Поступила в редакцию 12.12.2019 г.

После доработки 22.01.2020 г.

Принята к публикации 10.02.2020 г.

Представлены результаты двухлетних исследований по изучению особенностей действия и разработке регламента применения нового биологического полифункционального препарата стивин на картофеле. Препарат относится к группе регуляторов роста растений (*PPP*) и создан на основе растительных компонентов. Показано, что эффективность действия *PPP* находилась в тесной зависимости от нормы применения препарата, подчиняющейся криволинейным закономерностям с высокой степенью достоверности аппроксимации. Исследовано влияние препарата стивин на фотосинтетическую активность растений, рост- и иммуностимулирующее его действие по отношению к комплексу фитопатогенов в различных фазах развития. Полифункциональное действие *PPP* способствовало существенному повышению продуктивности картофеля при получении прибавок урожайности до 30–40%. Определена оптимальная норма применения препарата – 140 мл/га в фазе начала бутонизации картофеля. Пролонгированное иммуностимулирующее действие препарата позволило повысить качество клубней нового урожая при снижении степени пораженности растений различными заболеваниями от 40 до 85%.

Ключевые слова: картофель, регулятор роста растений стивин, иммунизирующее действие, фотосинтетическая активность, клубнеобразование, масса клубней, урожайность, содержание крахмала.

DOI: 10.31857/S0002188120050129

ВВЕДЕНИЕ

Картофель – важная пищевая и техническая культура, клубни которого являются одним из основных продуктов питания и служат сырьем для спиртовой и крахмалопаточной промышленности. Картофельный крахмал используется для производства более 500 наименований продукции в пищевой, бумажной, текстильной, деревообрабатывающей, строительной, химической и фармацевтической промышленности. Картофель является прекрасным кормом для скота, причем на кормовые цели используют не только клубни, но и ботву при силосовании, а также продукты переработки, такие как мезга и барда. По данным ФАО, ~60% производимого в мире картофеля используют в свежем или переработанном виде для питания человека, ~15% – на корм животным, ~5% – на переработку для промышленных целей, 11% – на семена [1]. В мировом сельскохозяйственном производстве данная культура по объему производства занимает второе место после

зерновых, в нашей стране наибольшие площади картофеля – в Нечерноземной зоне, Сибири, Урале и многих областях Центрального федерального округа. Получить хороший урожай можно практически в любой климатической зоне. Однако засуха, похолодание или вредоносная деятельность членистоногих и фитопатогенов заставляют растения картофеля испытывать стрессовые ситуации, приводящие к замедлению роста, развития и снижению продуктивности. Это вызывает необходимость не только широкого использования средств защиты растений, но также и препаратов, позволяющих повышать адаптивные свойства растений и продуктивность культуры. К таким средствам относятся биофунгициды, многие агрохимикаты и *PPP*, в частности, препараты альбит, иммуноцитифит, оберегЪ, вигор Форте, мивал-Агро, эпин Экстра и др., применяемые на картофеле [2–8]. Цель работы – изучение эффективности нового полифункционального биологического препарата стивин для повыше-

ния продуктивности и комплексной устойчивости картофеля к биотическим стрессам.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Препарат Стивин разработан во ВНИИЗР на основе растительных компонентов, выделенных из отходов промышленной переработки винограда и семян сахарной свеклы. Действующие вещества его относятся к группе полифенолов (фитоалексин ресвератрол) и изопреноидов (абсцизовая кислота), а также протеиногенных аминокислот, которые играют важную роль в жизнедеятельности растений при ответе на абиотический стресс и поражение фитопатогенами. Дополнительными физиологически активными компонентами препарата являются макро- и микроэлементы в дозировках, характерных для сигнальных веществ. Разработана препаративная жидкая форма стивина и установлены оптимальные регламенты применения его на ряде сельскохозяйственных культур [9].

В настоящем исследовании определяли оптимальную норму применения регулятора роста стивин на картофеле при обработке вегетирующих растений в фазе начала бутонизации в интервале дозирования от 80 до 180 мл/га. Полевой опыт проводили в 2018, 2019 гг. на опытном поле ВНИИЗР (Воронежская обл.) на сорте картофеля Невский среднего срока созревания. В 2018 г. при поиске оптимальной нормы применения препарата интервал между испытанными дозировками препарата составлял 20 мл/га, в 2019 г. для испытания были отобраны наиболее эффективные по результатам предыдущего исследования дозировки и близкие к ним с интервалом 10 мл/га.

Площадь опытной делянки 16 м². Повторность вариантов четырехкратная. Плотность посадки клубней – 40 тыс. шт./га. Агрофон – без внесения удобрений, почва – выщелоченный чернозем. На участке проводили 2 фоновые обработки комплексным инсектицидом против колорадского жука. Эталонном служил регулятор роста полифункционального действия новосил (100 г/л), который применяли трехкратно в фазах начала массового цветения и через 7 сут после второй обработки согласно рекомендованному регламенту. Обработку растений стивинком в фазе начала бутонизации проводили ранцевым опрыскивателем POSY-12, расход рабочей жидкости – 100 л/га.

Иммунизирующее действие препарата оценивали по показателю биологической эффективности, а именно снижению интенсивности поражения растений различными заболеваниями (фитофторозом – *Phytophthora infestans* D.B., обык-

новенной паршой – *Streptomyces scabies* Thaxter Jussow., ризоктониозом *Rhizoctonia solani* Kuchn., бактериозами и др.) относительно контрольного варианта. Оценку развития и распространенности болезней проводили по стандартным методикам на листьях и стеблях – в период вегетации и на клубнях – через 1 мес. после уборки урожая [10].

Влияние препарата стивин на фотосинтетические процессы определяли с помощью N-тестера (Япония) по содержанию в листьях хлорофилла, а также продуктивности фотосинтеза с учетом вегетативной массы растений по показателю коэффициента продуктивности ($K_{\text{ПФ}}$), определяемого по формуле:

$$K_{\text{ПФ}} = \frac{X \times M}{100},$$

где $K_{\text{ПФ}}$ – коэффициент продуктивности фотосинтеза растений, ед.; X – показания N-тестера, ед.; M – высота растений, % к контролю.

Уборку урожая проводили сплошным методом с делянки при учете количества стандартных и нестандартных клубней на 20-ти модельных растениях. Оценивали биологический урожай, товарность клубней (долю массы стандартных клубней), среднюю массу клубня и среднее количество клубней на растение. Расчетную урожайность определяли при учете густоты стояния растений и массы стандартных клубней.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием компьютерных программ Excel-10 и Statistica-6 с привлечением дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов.

Метеорологические условия в годы исследования отличались незначительно. Среднедекадные температуры воздуха в вегетационный сезон 2018 г. существенно не выходили за пределы среднемноголетних, за исключением второй половины лета и начала сентября, когда показатели превысили среднемноголетние на 3–10°C. По влагообеспеченности растений, как в 2018, так и 2019 г., в августе и начале сентября отмечали засушливые периоды с редким выпадением осадков. Последний год характеризовался более влажными условиями в весенний период и обильным выпадением осадков в фазе завершения цветения и начала формирования клубней.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Характерная особенность биологических многокомпонентных регуляторов роста нового поколения является широкая полифункциональность действия, проявляющаяся в течение всего перио-

Таблица 1. Математические зависимости показателей роста и развития растений картофеля от используемой дозировки Стивина при обработке вегетирующих растений (сорт Невский, полиномиальная регрессия 2–3 степени)

Показатель	Уравнение регрессии	Коэффициент достоверности аппроксимации R^2	Уравнение регрессии	Коэффициент достоверности аппроксимации R^2
	2018 г.		2019 г.	
Высота растений	$y = -0.002x^2 + 0.37x + 79.02$	0.91	$y = 0.0004x^3 - 0.1495x^2 + 20.17x - 785.28$	0.84
Синтез хлорофилла	$y = 2E-05x^3 - 0.01x^2 + 1.51x + 34.03$	0.85	$y = -0.0298x^2 + 7.509x + 123.3$	0.76
Продуктивность фотосинтеза	$y = -2E-05x^3 + 0.002x^2 + 0.18x + 81.19$	0.94	$y = 0.0006x^3 - 0.2505x^2 + 34.112x - 1399.1$	0.93
Масса клубня	$y = -4E-05x^3 + 0.01x^2 - 1.17x + 114.37$	0.83	$y = -0.0003x^3 + 0.1221x^2 - 16.857x + 863.13$	0.93
Клубнеобразование	$y = -0.0002x^3 + 0.1x^2 - 13.19x + 688.73$	0.51	$y = 0.0013x^3 - 0.5259x^2 + 71.547x - 3074.4$	0.99
Стандартность	$y = 2E-05x^3 - 0.01x^2 + 1.43x + 33.73$	0.33	$y = -9E-05x^3 + 0.034x^2 - 4.3034x + 276.68$	0.68
Содержание крахмала	$y = 7E-05x^3 - 0.02x^2 + 2.88x + 4.24$	0.88	$y = 0.0013x^3 - 0.5334x^2 + 71.666x - 3040.7$	0.84
Урожайность	$y = -0.0002x^3 + 0.06x^2 - 6.82x + 339.16$	0.81	$y = 0.0009x^3 - 0.3652x^2 + 51.082x - 2213.1$	0.98
Иммунный статус (средняя биологическая эффективность, %)	$y = 0.0034x^2 - 1.01x + 110.21$	0.52	$y = -0.0344x^2 + 8.4672x - 455.36$	0.59

Примечание. x – норма расхода препарата, мл/т; y – величины показателей, % к контролю.

да развития растений. Как правило, она обусловлена глубинным воздействием физиологически активных веществ препаратов на всех уровнях биологической организации растений: на генетический аппарат (экспрессия многих генов), гормональную систему (модификация действия гормонов), иммунную систему (включение в сигнальные цепи и сети клеток), которые вызывают изменение гормонального и иммунного статуса растений.

При разработке полифункционального регулятора роста растений одной из самых сложных проблем является определение нормы его применения, которая позволяет в максимальной степени проявить то или иное направление действия. Установлено, что в запуске данных механизмов именно этот фактор выделяет в полифункциональном ряду эффектов тот или иной показатель, оказывающий максимальное действие препарата на растения. Можно предположить, что интенсивность того или иного элиситорного сигнала находится в тесной связи с концентрацией дей-

ствующих веществ в рабочем растворе регулятора роста.

Исследования эффективности полифункционального действия стивина на растения картофеля позволили установить математические зависимости между различными эффектами действия препарата и нормой его применения. Сравнительный анализ эффектов действия был сделан при приведении всех исследованных показателей к единому “знаменателю”, а именно, отношению к контролю (в %). Данный анализ позволил выявить четкие и существенные криволинейные (полиномиальные зависимости) между исследованными показателями (табл. 1). Было проанализировано 9 отдельных и интегральных (урожайность, иммунный статус) показателей роста и развития растений в опытах за 2 года. Из 18-ти исследованных зависимостей в 13-ти случаях коэффициент достоверности аппроксимации 2–3-й степени превышал величину 0.8. В графическом изображении данные зависимости представлены гиперболой (полином 2) и синусоидами (поли-

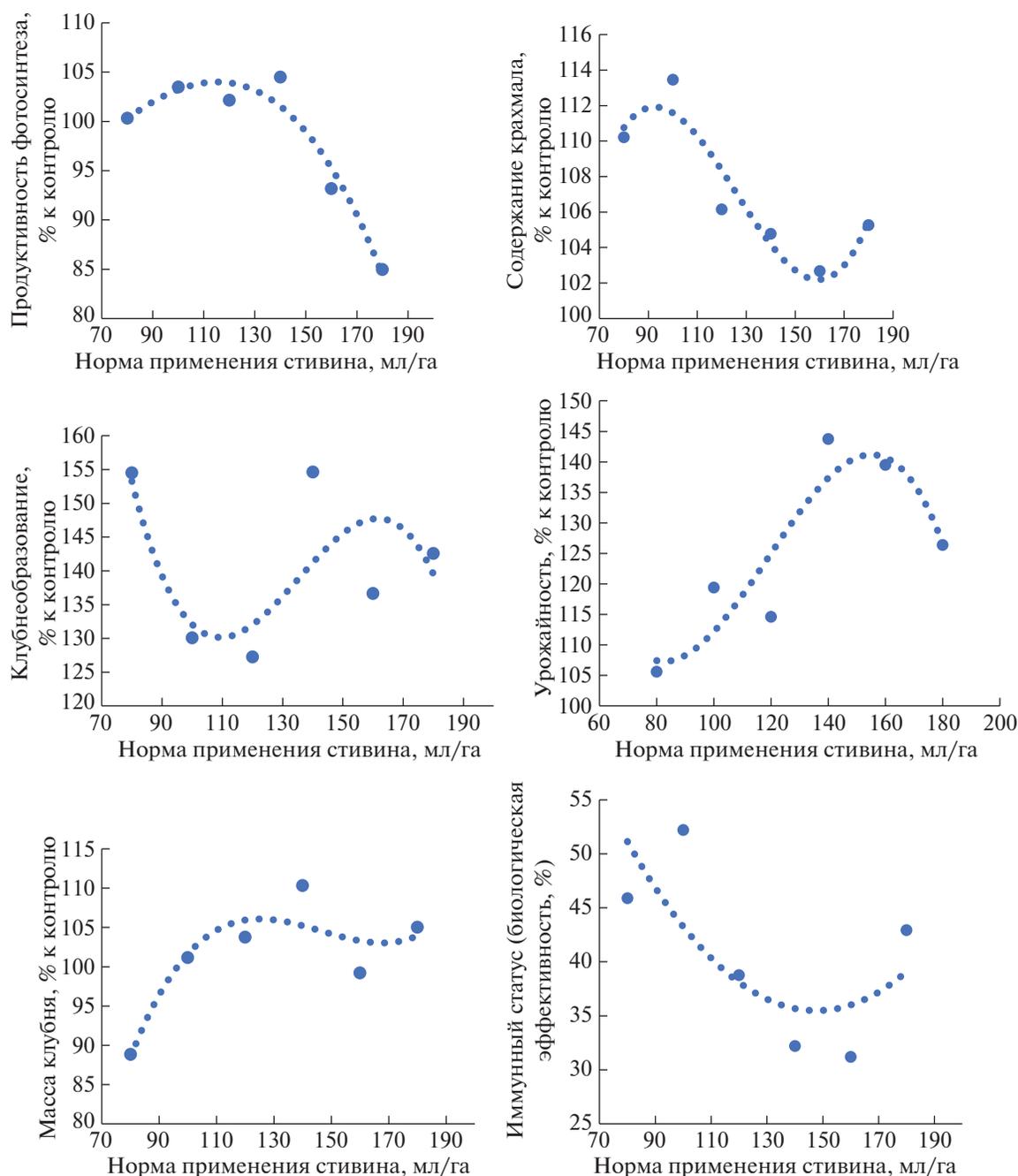


Рис. 1. Графическое изображение зависимостей между различными показателями роста и развития растений картофеля при обработке вегетирующих растений регулятором роста стивин от нормы его применения.

ном 3). Это было свидетельством сложности влияния регулятора роста на растения. Полностью отсутствовали однозначные прямолинейные зависимости, в каждом случае отмечены 1 или 2 пиковых величины при обязательном уменьшении эффекта действия при других исследованных параметрах (рис. 1). Ранее, при разработке технологии применения полифункционального биопрепарата альбит нами также было показано, что эф-

фект влияния дозировки препарата на тот или иной показатель роста и развития растений имел синусоидальную ритмичность [11]. Данное явление, по нашему мнению, может быть объяснено “переключением” в клетках сигнальных путей в общие сети при их ингибирующих или синергирующих взаимодействиях на растения под действием определенных концентраций элиситорного препарата.

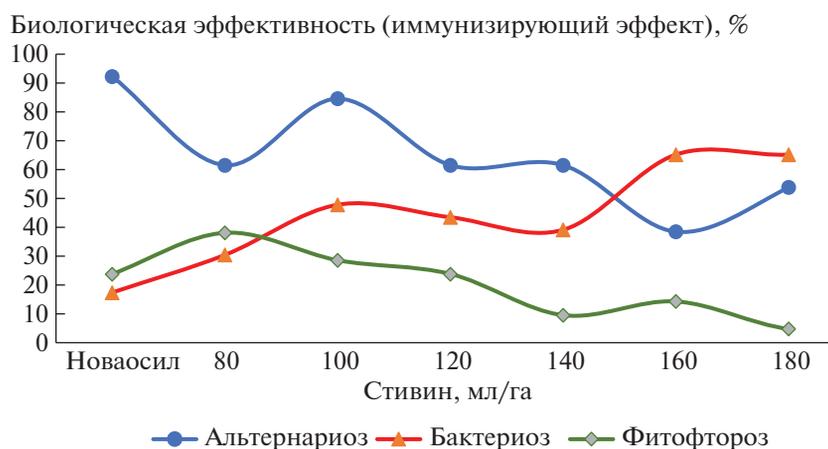


Рис. 2. Иммунизирующее действие препарата стивин по отношению к различным болезням на листьях картофеля (2018 г.).

Для того, чтобы влияние *PPP* на растения было сбалансированным и гармоничным, необходима оптимизация действия препарата по каждому из регулируемых направлений. Решению данной задачи и посвящена разработка оптимальных регламентов применения регулятора роста, в частности препарата стивин на картофеле. Основным целевым результатом применения его является увеличение продуктивности культуры и улучшение качества урожая за счет снижения вредоносности фитопатогенов. Данная цель достигается посредством влияния на те признаки и свойства, которые в конечном итоге оказывают наиболее сильное воздействие в нужном направлении. Рассмотрим влияние нормы применения данного регулятора роста на основные показатели, оказывающие наибольшее влияние на продуктивность растений и их иммунный статус.

Препараты элиситорного действия осуществляют индукцию неспецифической (горизонтальной) устойчивости к разным патогенам (вирусам, бактериям, грибам). Тем не менее, в большинстве случаев в наших исследованиях при обработке биостимуляторами различных культур отмечены существенные различия в иммунных реакциях по отношению к разным видам фитопатогенов, в зависимости от дозировки препаратов. А именно, воздействие препарата-иммуноиндуктора в определенной дозировке индуцировало высокую устойчивость к одному патогену, и существенно более низкую – к другому, при этом характер индуцирования устойчивости изменялся при применении другой нормы расхода препарата. Это подтверждает предположение, что интенсивность и характер воздействия иммуноиндуктора на растения находятся в самой тесной связи с ко-

личеством поступающих в растительную клетку сигнальных молекул [11, 12]. На рис. 2 показано действие элиситорного препарата стивин в различных нормах применения на характер индукции иммунных реакций по отношению к различным возбудителям заболеваний.

Во 2-й половине июля на фоне развития и распространности альтернариоза (13 и 52% соответственно, фитофтороза и бактериозов – 21–23 и 84–92%) иммунизирующий эффект в опытных вариантах был высоким и варьировал в пределах 30–84%. Причем в норме применения 100 мл/га препарат показал иммунизирующее действие в отношении данных заболеваний на уровне и выше эталона (Новосил, 100 г/л, трехкратно). В более высоких нормах расхода регулятора роста (140–180 мл/га) отмечена обратно-пропорциональная зависимость биологической эффективности между альтернариозом и бактериозом (коэффициент корреляции – -0.76), а также альтернариозом и фитофторозом (коэффициент корреляции – -0.65), что свидетельствовало о сходстве и различии формирования иммунных реакций по отношению к разным возбудителям.

Индукцированный обработкой стивинном приобретенный иммунитет имел пролонгированный характер и проявлялся в сдерживании развития заболеваний на клубнях нового урожая. На рис. 3 показана биологическая эффективность регулятора роста по отношению к 4-м видам заболеваний в 2019 г. Развитие заболеваний на клубнях было невысоким: парша обыкновенная – 4.3, фитофтороз – 8.3, ризоктониоз – 2.0%, бактериозные гнили встречались единично. На этом инфекционном фоне максимальная комплексная иммунизирующая активность отмечена при нор-

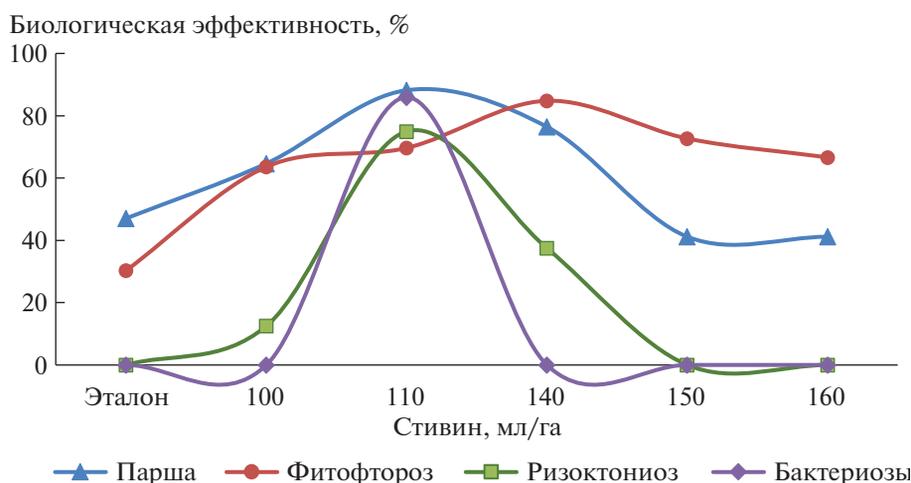


Рис. 3. Пролонгированное иммунизирующее действие препарата стивин по отношению к различным заболеваниям на клубнях картофеля нового урожая (2019 г.).

ме применения препарата 110 мл/га. Обращает на себя внимание также высокая биологическая эффективность стивина против фитофтороза и парши (от 63 до 84%) в нормах применения от 100 до 140 мл/га. В эталонном варианте и при более высоких нормах применения иммунизирующее действие стивина снижалось.

Отмечено, что в условиях действия стрессовых факторов растения положительно реагировали на более низкие дозировки элиситорных препаратов, что свидетельствовало о высокой выраженности их адаптогенного действия. Напротив, обработка данными веществами в высоких дозировках, как правило, вызывала десенсибилизационные процессы в растениях, резко снижая их иммунный статус и приводя к усилению восприимчивости растений к заболеваниям и снижению ростстимулирующих эффектов действия PPP [13].

Полифункциональность действия стивина на растения проявлялась как в усилении ростовых процессов, так и в активизации фотосинтеза. В опытах с применением препарата на картофеле было достигнуто существенное увеличение вегетативной массы, сопряженное с высотой растений, которое превышало показатели эталонного варианта, что можно проиллюстрировать, в частности, на примере результатов испытания в 2019 г. (табл. 2). Во всех вариантах норм применения стивина отмечено увеличение ростовой и фотосинтезирующей активности растений, что отразилось в существенном повышении коэффициента продуктивности фотосинтеза. Аналогичные результаты опыта были получены и в предшествующем году, где также отмечены более высокие исследованные показатели при применении стивина в дозировке 140 мл/га.

Таблица 2. Влияние регулятора роста стивин на рост и развитие растений картофеля сорта Невский в зависимости от нормы применения (2019 г.)

Вариант	Высота растений, см	Содержание хлорофилла (N-тестер, ед.)	Коэффициент продуктивности фотосинтеза, ед.
Контроль	46.2	525	525
Новосил, 100 мл/га (трехкратно)	47.6	516	532
Стивин, 100 мл/га	47.4	570	585
Стивин, 110 мл/га	50.8	598	658
Стивин, 140 мл/га	52.0	586	660
Стивин, 150 мл/га	49.3	576	615
Стивин, 160 мл/га	51.5	565	630
HCP ₀₅	3.2	37	47

Таблица 3. Влияние обработки стивинном вегетирующих растений картофеля на продуктивность и структуру урожая

Год	Вариант (норма применения, мл/га)	Клубнеобразование, шт./растение		Масса товарного клубня, г	Стандартность, %	Урожайность, ц/га	Прибавка урожайности, ц/га	Выход практического крахмала, %
		товарных	всего					
2018 г.	Контроль	6.7	8.3	69.0	86.0	192	—	9.6
	Новосил, 100 (трехкратно)	8.0	11.4	62.5	88.4	210	18.8	10.8
	Стивин, 80	8.4	12.8	60.0	88.4	202	10.7	9.6
	Стивин, 100	8.1	10.7	68.3	89.8	229	37.2	11.3
	Стивин, 120	7.5	10.5	70.0	90.0	220	28.0	12.0
	Стивин, 140	8.8	12.8	74.5	92.7	275	83.8	11.2
	Стивин, 160	8.2	11.3	67.0	89.9	267	75.7	9.7
	Стивин, 180	8.1	11.8	70.9	89.2	242	50.5	10.6
<i>HCP₀₅</i>		0.5	0.4	3.5	—	—	11	0.5
2019 г.	Контроль	6.9	13.1	62.7	89.4	195	—	10.3
	Новосил, 100 (3-кратно)	6.7	12.6	64.1	87.8	196	0.9	10.6
	Стивин, 100	6.3	12.5	63.3	87.8	200	5.3	9.8
	Стивин, 110	8.5	12.6	63.3	92.3	240	45.2	12.3
	Стивин, 140	8.2	13.6	66.2	91.6	245	49.9	12.0
	Стивин, 150	7.7	14.0	62.8	89.1	218	23.9	9.9
	Стивин, 160	7.7	14.5	61.2	86.9	219	24.2	11.0
	<i>HCP₀₅</i>		0.4	0.7	3.5	—	—	9.8

Интегральным показателем действия регулятора роста является в конечном итоге его влияние на продуктивность растений, которая зависит от многих факторов и, как уже было показано выше, в большей степени – от нормы его применения. Если проанализировать изменение структуры урожайности в различных вариантах дозирования применения стивина в наших опытах, то можно отметить, что наибольшее влияние препарат оказывал на клубнеобразовательный процесс (табл. 3). Максимальное увеличение количества образующихся товарных клубней в 2018 г. наблюдали при использовании стивина при нормах применения 80 и 140 мл/га, однако средняя масса клубней в первом случае резко снизилась, что негативно повлияло на урожайность картофеля, аналогично как и в эталонном варианте. В то же время при дозировке 140 мл/га отмечено и существенно более высокое увеличение средней массы клубня, что позволило увеличить урожайность картофеля до 43.8% относительно контроля (рис. 4). В 2019 г. увеличение количества клубней на одно растение было менее значительным, что возможно было связано с особенностями действия препарата в погодных условиях данного вегетационного сезона. В этом году хорошие результаты были получе-

ны при норме применения стивина 110 мл/га, но вариант дозирования 140 мл/га показал более стабильный положительный эффект действия за 2 года испытаний. В этом же варианте было установлено высокое содержание крахмала в клубнях. Данный регламент дозирования препарата можно признать оптимальным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новый биологический элиситорный регулятор роста стивин растительного происхождения при полевых испытаниях на картофеле в течение 2-х лет показал стабильную, достаточно высокую эффективность при применении на картофеле в фазе начала бутонизации в дозировке 140 мл/га, обеспечивающей повышение урожайности картофеля до 40% и более, а также увеличение крахмалистости клубней на 1.6–1.7 абс. % или на 16–24% относительно контроля. При изучении особенностей действия препарата на растения картофеля установлено, что основным фактором, регулирующим направление полифункционального воздействия препарата на растения, является норма его применения. Установлены тесные математические криволинейные связи (полиномы

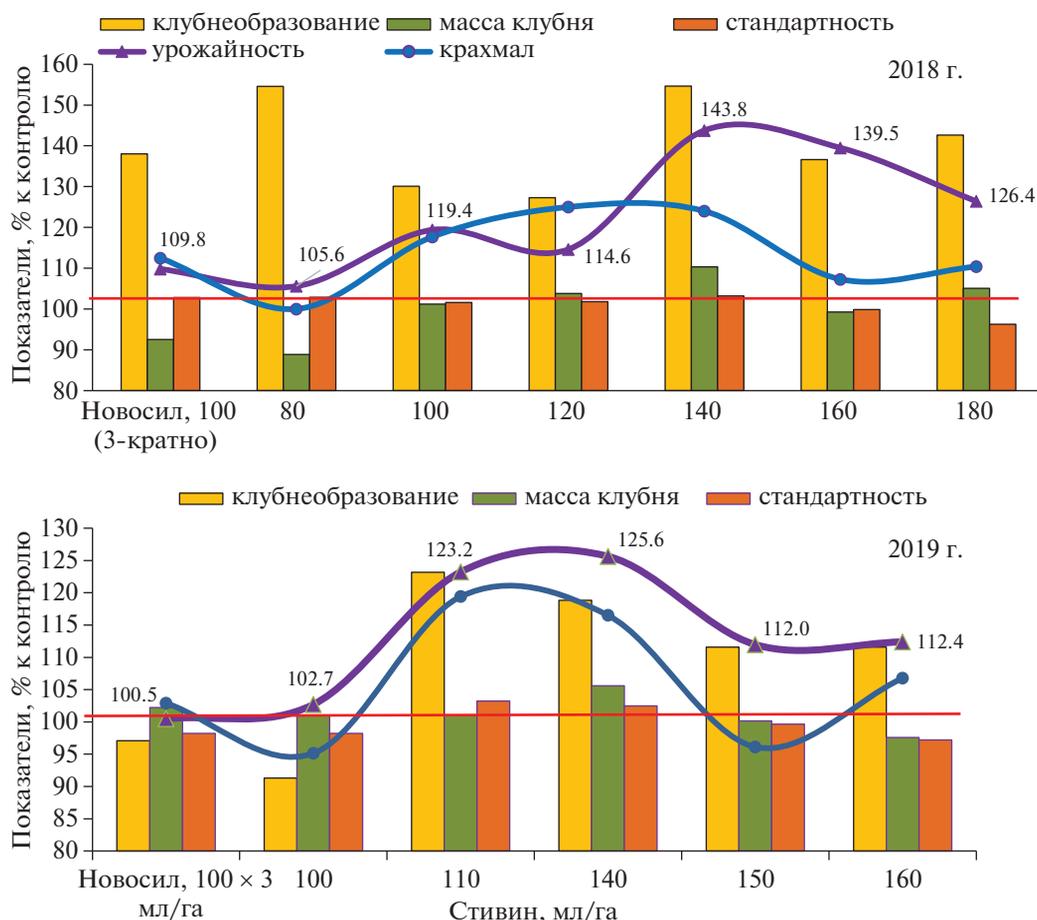


Рис. 4. Структура урожая и урожайность картофеля при обработке вегетирующих растений препаратом стивин (относительные данные).

2–3-й степени) между данным фактором и большинством показателей, отражающих влияние биостимулятора на рост и развитие растений. В пониженной норме применения (100 мл/га) препарат показал более интенсивное влияние на усиление иммунного статуса растений по отношению к основным заболеваниям картофеля. Даже на фоне значительного проявления заболеваний во второй половине вегетации растений (до 25% развития и до 90% распространенности) иммунизирующее действие стивина достигало 85%. Пролонгированное иммунизирующее действие стивина в отношении заболеваний клубней нового урожая на фоне невысокого проявления болезней (до 8% развития) составляло 65–84%. Высокий иммунизирующий эффект препарата в большей мере мог быть обусловлен присутствием в препарате биологического фитоалексина ресвератрола, обладающего мощным антиоксидантным действием.

Таким образом, стивин является достаточно перспективным препаратом группы регуляторов

роста, который после государственной регистрации можно успешно использовать в интенсивных технологиях для повышения продуктивности и преодоления стрессовых ситуаций, а также для снижения вредоносности комплекса фитопатогенов в органическом земледелии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Народнохозяйственное значение картофеля // Электр. ресурс: <http://biofile.ru/bio/18501.html>
2. Зубарев А.А., Костин Д.А., Иванова Н.Н. Опыт интенсификации выращивания картофеля // Биопрепарат Альбит для повышения урожая и защиты растений: опыты, рекомендации, результаты применения / Под ред. Минеева В.Г. М.: Изд-во Агрорус, 2008. С. 192–193.
3. Моляко А.А., Свист В.Н., Зейрук В.Н., Борисова Н.П., Марухленко А.В. Фунгициды и регуляторы роста растений при возделывании и хранении картофеля // Защита и карантин растений. 2009. № 11. С. 29–30.
4. Федотова А.С., Кравченко А.В., Тимошина Н.А. Применение регуляторов роста на основе арахидо-

- новой кислоты на картофеле // Защита и карантин растений. 2011. № 11. С. 18–19.
5. Молявко А.А., Марухленко А.В. Влияние препарата авибиф на продуктивность и качество картофеля // Защита и карантин растений. 2014. № 1. С. 27–28.
 6. Галицын Г.Ю., Чекуров В.М. Использование биологически активных веществ из хвойных для индукции устойчивости картофеля к болезням // Актуальные проблемы генетики: Мат-лы 2-й конф. Моск. общ-ва генетиков и селекционеров им. Н.И. Вавилова, Москва, 20–21 февр., 2003. С. 43–44.
 7. Антонова О.И., Комякова Е.М. Эффективность разных способов применения биопрепаратов Теллура БИО, Новосила и Лариксина при возделывании картофеля // Вестн. АлтайГАУ. 2017. № 8(154). С. 48–52.
 8. Андрианов А.Д., Андрианов Д.А., Зейрук В.Н., Алевхин В.Т., Злотников А.К., Боронин А.М. Альбит на картофеле // Биопрепарат Альбит для повышения урожая и защиты растений: опыты, рекомендации, результаты применения. М.: Изд-во Агрорус, 2008. С. 177–191.
 9. Зимица Т.В. Влияние биологического регулятора роста Стивин на продуктивность сельскохозяйственных культур: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Рамонь, 2019. 25 с.
 10. Методы определения болезней и вредителей сельскохозяйственных растений. М.: Агропромиздат, 1987. 224 с.
 11. Рябчинская Т.А., Харченко Г.Л., Бобрешова И.Ю., Саранцева Н.А., Злотников А.К. Особенности полифункционального действия биопрепарата Альбит при обработке семян // Агрохимия. 2009. № 10. С. 39–47.
 12. Рябчинская Т.А. Полифункциональные фитоактиваторы и их место в биоинформационных технологиях // Информ. бюл. ВПРС МОББ: Мат-лы Международ. симп. “Защита растений – проблемы и перспективы”, Кишинев, 30–31 октября 2012 г. Кишинев, 2012. В. 41. С. 421–429.
 13. Рябчинская Т.А., Харченко Г.Л., Саранцева Н.А., Бобрешова И.Ю. К вопросу оценки эффективности фитоактиваторов // Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем: Мат-лы докл. Международ. научн.-практ. конф. “Биологическая защита растений, перспективы и роль в фитосанитарном оздоровлении агроценозов и получение экологически безопасной продукции», Краснодар, 23–25 сентября 2008 г. Краснодар, 2008. В. 5. С. 371–373.

New Multifunctional Biological Preparation for Increasing Productivity and Integrated Resistance to Biotic Stresses

T. A. Ryabchinskaya^{a,*}, I. Yu. Bobreshova^a, and T. V. Zimina^a

^a The Russian Research Institute for Plant Protection
p. VNIISS 92, Ramonsky district, Voronezh region 396030, Russia

^{*}E-mail: biometod@mail.ru

The article presents the results of two years research of special influence and the development of use regulations of a new biological polyfunctional preparation Stivin on potatoes. It belongs to the group of growth regulators and is based on plant components. It is shown that the effectiveness of the growth regulator is closely dependent on the rate of preparation use, obeying curvilinear patterns with a high degree of reliability of the approximation. The effect of Stivin on the photosynthetic activity of plants, its growth and immunostimulating effects in relation to the complex of phytopathogens in different phases of development were studied. The polyfunctional action of the growth regulator contributes to a significant increase in productivity potatoe, the yield increases up to 30–40%. The optimal rate of use of the preparation 140 ml/ha in the phase of the beginning of potato budding was determined. The prolonged immunostimulating effect of the preparation improves the quality of the new crop tubers while reducing the degree of plants damage by various diseases from 40 to 85%.

Key words: potatoes, plant growth regulators Stephen, immunizing effect, photosynthetic activity, tuberization, tuber mass, yield, starch content.

УДК 631.98:633.511

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПОЗИЦИИ БИОСТИМУЛЯТОРА УЧКУН ПЛЮС НА КУЛЬТУРЕ ХЛОПЧАТНИКА

© 2020 г. Р. П. Закирова^{1,*}, Э. Р. Курбанова¹, Н. К. Хидирова¹

¹Институт химии растительных веществ им. акад. С.Ю. Юнусова АН РУз
100170 Ташкент, ул. М. Улугбека, 77, Республика Узбекистан

*E-mail: ranozakirova@mail.ru

Поступила в редакцию 18.11.2019 г.

После доработки 30.12.2019 г.

Принята к публикации 10.02.2020 г.

Изучено влияние новой формы биостимулятора учкун плюс на рост и урожайность хлопчатника, а также на накопление зеленых пигментов в его листьях. В результате проведенных исследований было выявлено, что при предпосевной обработке семян препаратом Учкун плюс, включающего в свой состав дополнительно микроэлементы, прибавка хлопка-сырца составила 3.2–3.7 ц/га по сравнению с контролем, тогда как при воздействии препарата учкун лишь 2.2–2.3 ц/га. При опрыскивании растений в фазу бутонизации препаратом учкун плюс содержание хлорофилла *a* повысилось на 40.9%, хлорофилла *b* – на 80.0%, суммы пигментов *a* и *b* – на 55.5% по сравнению с контрольным вариантом, тогда как при обработке препаратом учкун эти показатели были соответственно, 22.7%, 55.0% и 34.9%.

Ключевые слова: стимулятор роста учкун плюс, микроэлементы, хлопчатник, фотосинтетические пигменты, урожайность.

DOI: 10.31857/S0002188120050178

ВВЕДЕНИЕ

Узбекистан занимает первое место среди хлопкосеющих государств Центрально-азиатского региона, шестое место в мире по производству хлопкового волокна [1]. Для получения стабильных урожаев и повышения устойчивости растений к климатическим, водным, солевым и другим стрессам широко используют регуляторы роста растений, которые активизируют физиолого-биохимические процессы в растениях [2]. В свете мировой тенденции экологизации сельского хозяйства, в настоящее время предпочтение отдают препаратам, созданным на основе природных соединений. Их преимуществом является низкая норма расхода, малая токсичность и отсутствие фитотоксичности [3–5]. Немаловажную роль в развитии и формировании урожайности играют микроэлементы [6–8]. На сегодняшний день применение регуляторов роста в комплексе с микроудобрениями – один из наиболее эффективных приемов, который способствует увеличению продуктивности сельскохозяйственных культур и повышает устойчивость растений к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам [9–12].

Цель работы – изучение влияния новой формы биостимулятора учкун плюс на рост и урожайность хлопчатника, а также на накопление зеленых пигментов в листьях растения.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для получения биостимулятора учкун были использованы листья хлопчатника сорта Келажак, собранные в фазе созревания в сентябре 2016 г. Биологически активные вещества извлекали 96%-ным этиловым спиртом по методике [13]. Компонентный состав препарата определяли методом высокоэффективной тонкослойной хроматографии (ВЭТСХ, Camag, Швейцария) [14].

Для приготовления новой формы препарата учкун плюс к 1 л 0.0001%-ного стимулятора учкун добавляли соединения бора, марганца, цинка, йода и молибдена в следующих количествах: H_3BO_3 – 6.0 мг, $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – 22 мг, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 9 мг, KJ – 1 мг, $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 0.25 мг.

Для посева были использованы опушенные семена средневолокнистого хлопчатника *G. hirsutum* сорта Наманган-77.

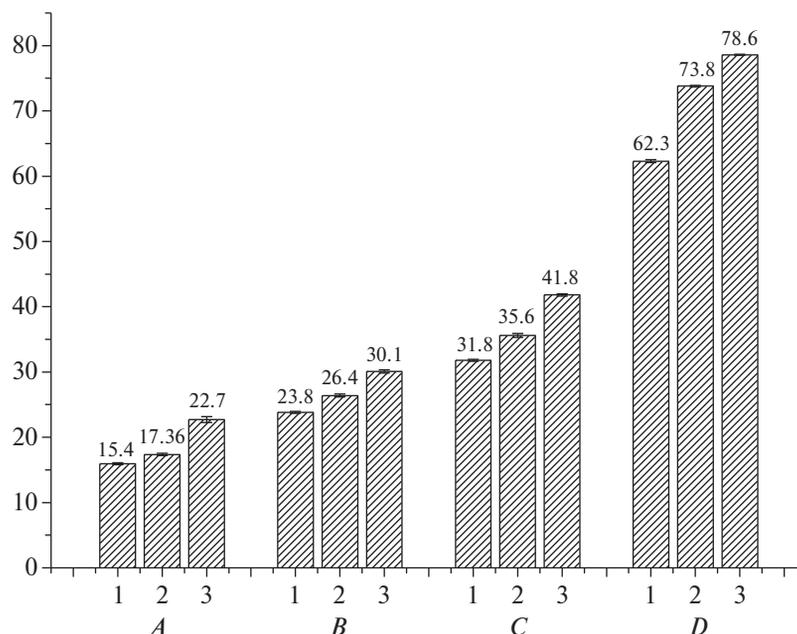


Рис. 1. Влияние предпосевной обработки семян хлопчатника препаратом учкун плюс на высоту стебля хлопчатника, варианты: 1 – контроль, 2 – обработка семян препаратом учкун, 3 – обработка семян препаратом учкун плюс; фазы вегетации: *A* – 5–6-ти настоящих листьев, *B* – бутонизации, *C* – цветения, *D* – плодоношения.

Испытания препаратов проводили в фермерском хозяйстве “Арофат Зиё Нур” Букинского р-на Ташкентской обл. в 2018 и 2019 гг. по следующей схеме, варианты: 1 – контрольный вариант (семена без обработки), 2 – обработка семян препаратом учкун (0.0001%), 3 – обработка семян препаратом учкун плюс. Условия выращивания и природно-климатические условия описаны в работе [15]. Содержание хлорофилла определяли в фазе цветения хлопчатника спектрофотометрическим методом [16]. Результаты исследования обрабатывали методом дисперсионного анализа по компьютерной программе Original Program [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Биостимулятор учкун повышает урожайность многих сельскохозяйственных культур, в том числе и хлопчатника, увеличивает содержание фотосинтетических пигментов в листьях и повышает устойчивость растений к стрессовым факторам [2, 19]. Для повышения его эффективности была испытана новая его форма, названная “учкун плюс”, в состав которого дополнительно были включены микроэлементы бор, марганец, цинк, йод и молибден.

Опыты 2019 г. показали, что в результате предпосевной обработки семян новой формой биостимулятора значительно ускорились темпы роста главного стебля хлопчатника на протяжении

всех фаз развития. Высота опытных растений в фазе 5–6-ти настоящих листьев превышала контрольные на 47.4%, в фазе плодоношения – на 25.2%, в варианте с применением препарата учкун в эти периоды высота растений была больше контроля всего на 12.7 и 18.4% соответственно (рис. 1).

По результатам полевых испытаний, проведенных в 2018 и 2019 гг., было установлено, что препарат способствовал активному формированию плодовых элементов. Общее количество бутонов, цветков и коробочек в результате предпосевной обработки семян хлопчатника в 2018 г. составляло 14.1 шт./растение и превышало контрольный вариант (12.3 шт./растение) на 14.6, в 2019 г. (18.6 шт./растение) – на 33.8%. При использовании препарата учкун этот показатель за 2 года учетов составил соответственно 13.2 и 16.3 шт./растение и превысил контроль на 7.3 и 17.3% (табл. 1)

Если в варианте опыта с применением новой формы препарата в 2018 г. средняя урожайность превышала контрольный на 3.2 ц/га, в 2019 г. – на 3.7 ц/га, то при обработке семян препаратом учкун урожайность превышала контрольный вариант лишь на 2.2 и 2.3 ц/га соответственно.

В 2019 г. было изучено влияние некорневой обработки растений препаратом учкун плюс на содержание хлорофилла в листьях хлопчатника (табл. 2). Было отмечено, что при обработке веге-

Таблица 1. Влияние препарата учкун плюс на формирование плодозементов хлопчатника

2018 г.				
Вариант	Бутоны	Цветки	Коробочки	Общее количество плодозементов
	шт./растение			
Контроль	6.8	1.8	3.7	12.3
Учкун	7	1.7	4.5	13.2 (107%)
Учкун плюс	7	1.6	5.5	14.1 (115%)
				$HCP_{05} = 0.5 \quad S_x = 0.17$
2019 г.				
Контроль	7.1	1.9	4.9	13.9
Учкун	8.9	1.6	5.8	16.3
Учкун плюс	9.7	2.2	6.7	18.6
				$HCP_{05} = 1.34 \quad S_x = 0.44$

Таблица 2. Влияние препарата учкун плюс на урожайность растений хлопчатника сорта Султон

Вариант, концентрация препарата (%)	Урожайность				Средняя урожайность	Прибавка к контролю	
	повторность						
	I	II	III	IV			
	ц/га						
2018 г.							
Контроль	Без обработки	20.4	21.1	20.9	23.4	21.4	—
Учкун	0.0001	23.4	22.6	23.2	25.2	23.6	2.2
Учкун плюс	0.0001	25.8	23.9	24.9	23.8	24.6	3.2
		$S_x = 0.6 \quad HCP_{05} = 1.7$					
2019 г.							
Контроль	Без обработки	24.7	26.1	25.2	26.3	25.5	—
Учкун	0.0001	28.2	27.4	28	27.9	27.8	2.3
Учкун плюс	0.0001	29.5	28.9	30.2	30.3	29.2	3.7
		$S_x = 0.3 \quad HCP_{05} = 1.1$					

тирующих растений препаратом в фазе бутонизации хлопчатника значительно увеличивалось содержание фотосинтетических пигментов. Содержание хлорофилла *a* составляло 0.62, хлорофилла *b* – 0.36, сумма хлорофиллов *a* + *b* – 0.98 мг/г, по отношению к контрольному варианту эти показатели были больше соответственно на 40.9, 80.0 и 55.5% (рис. 2). После обработки препаратом учкун концентрации исследованных пигментов были меньше и составили: хлорофилл *a* – 0.54, хлорофилл *b* – 0.31 и их сумма – 0.85 мг/г, это больше контроля соответственно на 22.7, 55.0 и 34.9%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что в результате предпосевной обработки семян хлопчатника препаратом учкун плюс ускорился рост растений и увеличивалось количество сформировавшихся плодозементов. Новая форма препарата позволила дополнительно получить прибавку урожайности хлопка-сырца на 3.2–3.7 ц/га больше, чем в контроле, тогда как при воздействии препарата учкун она была в пределах 2.2–2.3 ц/га.

Изучение влияния обработки вегетирующих растений в фазе бутонизации показало, что в листьях растений, обработанных препаратом учкун

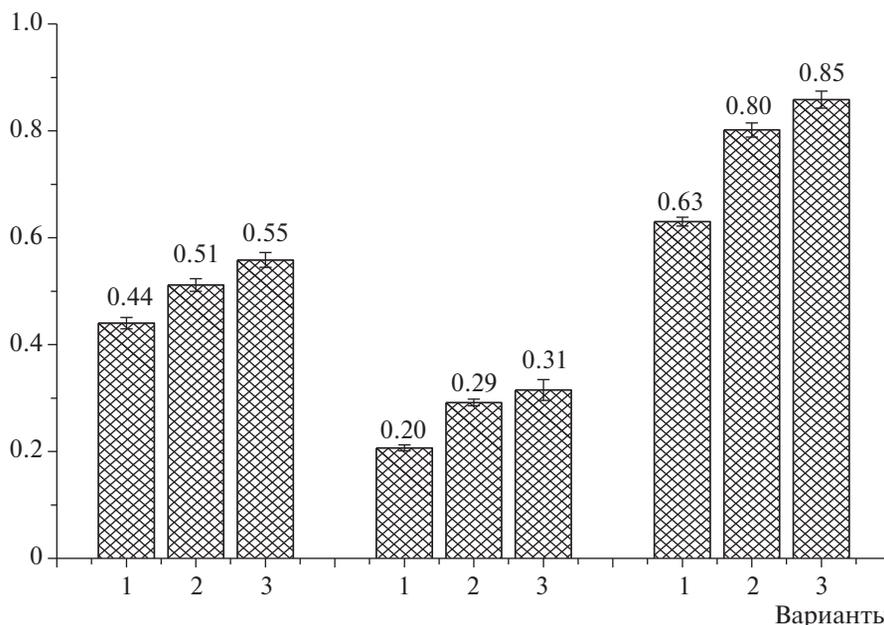


Рис. 2. Содержание зеленых пигментов в листьях в фазе цветения после некорневой обработки растений препаратом учкун плюс методом опрыскивания, варианты: 1 – контроль (семена не обрабатывали), 2 – исходные семена обработаны препаратом учкун, 3 – исходные семена обработаны препаратом учкун плюс.

плюс, содержание зеленых пигментов превосходило контроль: хлорофилла *a* – на 40,9, хлорофилла *b* – на 80, суммы пигментов *a* и *b* – на 55,5%, в то время как в листьях растений, обработанных препаратом учкун, содержание зеленых пигментов было больше, чем в контроле, всего на 22,7, 55,0 и 34,9% соответственно.

Таким образом, добавка к биостимулятору учкун композиции микроэлементов увеличила его эффективность на хлопчатнике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуляев Р.А., Лугачев А.Е., Усманов Х.С. Современное состояние производства, переработки, потребления и качества хлопковой продукции в ведущих хлопкосеющих странах мира. Ташкент, 2017. 171 с.
2. Khidirova N.K., Mamatkulova N.M., Kurbanova E.P., Ismailova K., Zakirova R.P., Khodjaniyazov Kh.U. Influence of an Uchkun preparation to some agricultural crops which are grown under unfavorable conditions // *Inter. J. Environ. Agricult. Res.* 2016. V. 2. № 1. P. 102–108.
3. Шаповал О.А., Можарова И.П., Коршунов А.А. Регуляторы роста растений в агротехнологиях // *Защита и карантин растений.* 2014. № 6. С. 16–20.
4. Zakirova R.P., Elmuradov B.Zh., Khidyrova N.K., Sagdullayev Sh.Sh. Scientific and applied research in ICPS for agriculture. Mini review // *J. Basic Appl. Res.* 2016. Res. 2(4). P. 476–479.
5. Khidirova N.K., Asatova S.S., Mamatkulova N.M., Yuldashev Sh.U., Umarov A.A., Shakhidayatov Kh.M. Influence of cotton leaves isoprenoids for growth and development of wheat // *Agrokimiya.* 2008. № 2. С. 33–36.
6. Свиридов А.С. Микроэлементы в черноземах Тамбовской области и их влияние на урожай и качество сельскохозяйственных культур // *Вестн. Мичуринск. гос. ун-та.* Мичуринск, 2001. Т. 1. № 3. С. 23–24.
7. Орлова Э.Д., Прошивалко И.М., Летунова С.Л. Влияние цинка на продуктивность и химический состав растений // *Почвы, удобрения, урожай.* Сб. научн. тр. Омск, 1996. С. 28–32.
8. Аштаб И.В. Взаимодействие цинка с другими элементами как показатель его экологической активности // *Агрохимия.* 1994. № 11. С. 116–128.
9. Киров Е.И., Самсонов Ю.Н. Применение регуляторов роста растений и микроэлементов в оптимальной аэрозольной технологии // *Агрохимия.* 1996. № 10. С. 84–94.
10. Бурунов А.Н. Средство для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур. Пат. РФ № 2585858, опубл. 10.06.2016 // Б.И. 2016. № 16.
11. Клименко В.И. Способ защиты растений от болезней, регулирования их роста и защитно-стимулирующий комплекс для его осуществления. Пат. РФ № 2585858, опубл. 10.06.2016 // Б.И. 2016. № 16.
12. Тютерев С.Л. Физиолого-биохимические основы управления стрессоустойчивостью растений в адаптивном растении // *Вестн. защиты раст.* 2000. № 1. С. 11–33.
13. Zokirova U.T., Khidyrova N.K., Mamatkulova N.M., Khodjaniyazov H.U., Shakhidayatov Kh.M. Polyphenols of grape *Vitis vinifera* L. leaves // *Inter. J. Biochem. Res. Rev.* 2013. V. 3(2). P. 97–106.
14. Закирова Р.П., Хидирова Н.К., Эшбакова К.А., Мелиева Ш.О., Ураков Б.А. Вторичные метаболиты

- растений *Achillea millefolium* и *Gossypium hirsutum* L. и их биологическая эффективность против красного паутинного клеща // Химия раст. сырья. 2019. № 2. С. 129–134.
15. Курбанова Э.Р., Закирова Р.П., Спиридонов Ю.Я., Халиков С.С., Чкаников Н.Д. Влияние регулятора роста флороксан на рост и урожайность хлопчатника // Агрохимия. 2019. № 6. С. 37–43.
 16. Практикум по физиологии растений / Под ред. Третьякова Н.Н. М.: Агропромиздат, 1990. С. 86–94.
 17. Origin Pro v7.5 and Statistics 7.0, Scientific graphing and analysis software. 2009.
 18. Шахидоятов Х.М., Хидирова Н.К., Маматкулова Н.М., Мусаева Г.В., Ниязметов У., Умаров А.А., Каримов Р.К., Киктев М.М. Способ получения биостимулятора. Пат. РУз № IAP 04589 от 06.11.2012. Свид-во № 1 а 522 от 06.04.2012 г.
 19. Исмоилова К., Кўшиев Х., Хидирова Н., Назарбоев Х., Абдусаломов Ш. Буғдойнинг бошоклаш фенологик фазасида хлорофиллар (*a*, *b*) микдорига стероид табиатли бирикмалар таъсири. Табиий бирикмалардан кишлок хўжалигида фойдаланиш истиқболлари (хорижий мутахассислар иштирокида) // Республика илмий – амалий анжумани материаллари тўплами. 2018. Гулистан, С. 20–22.

Effectiveness of the Composition of the Biostimulator Uchkun Plus on Cotton Culture

R. P. Zakirova^{a,#}, E. R. Kurbanova^a, and N. K. Khidyrova^a

^a S. Yu. Yunusov Institute of the Chemistry of Plant Substances, Academy of Sciences of Uzbekistan
M. Ulugbek str. 77, Tashkent 100170, Republic of Uzbekistan

[#] E-mail: ranozakirova@mail.ru

The effect of the Uchkun plus biostimulator on the accumulation of green pigments and cotton productivity was studied. As a result of the studies, it was revealed that during the pre-sowing treatment of seeds by the Uchkun plus preparation, which included additional trace elements in its composition, the increase in raw cotton was 3.2–3.7 c/ha compared with the control, whereas under the influence of Uchkun – 2.2–2.3 c/ha. When spraying plants in the budding phase by this composition, the content of chlorophyll *a* increased for 40.9%, chlorophyll *b* – up to 80.0%, the sum of pigments *a* + *b* for 55.5% compared with the control variant when processing by Uchkun for 22.7, 55.0 and 34.9%, respectively.

Key words: Uchkun plus growth stimulator, microelements, cotton, photosynthetic pigments, productivity.

УДК 632.952:633.11“321”:632.4

СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ТЕБУКОНАЗОЛА С ВЕЩЕСТВАМИ ЭКСТРАКТА КОРНЕЙ СОЛОДКИ – ЭФФЕКТИВНЫЕ ФУНГИЦИДЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ОТ ОБЫКНОВЕННОЙ КОРНЕВОЙ ГНИЛИ

© 2020 г. О. И. Теплякова¹, Н. Г. Власенко^{1,*}, А. В. Душкин^{2,**}

¹Сибирский научно-исследовательский институт земледелия и химизации сельского хозяйства СФНЦА РАН
630501 р.п. Краснообск, Новосибирская обл., Россия

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН
630128 Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18, Россия

*E-mail: vlas_nata@ngs.ru

**E-mail: solid.nsc.ru

Поступила в редакцию 20.12.2019 г.

После доработки 29.01.2020 г.

Принята к публикации 10.02.2020 г.

Показана высокая эффективность супрамолекулярных комплексов тебуконазола с комплексообразователем – веществом – “носителем” глицирризиновой кислоты и ее производными – важнейшими компонентами корневых солодки, содержащимися в их водном экстракте, – в подавлении развития обыкновенной корневой гнили на растениях мягкой яровой пшеницы. Комплексы – самоассоциаты типа “гость–хозяин” показали эффективность их применения для предпосевной обработки семян яровой пшеницы в пониженных более чем в 2 раза нормах расхода действующего синтетического фунгицида тебуконазола, что обеспечило увеличение густоты стояния, выживаемости растений к уборке урожая, показателей структуры колоса и сбора зерна мягкой яровой пшеницы.

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница, обыкновенная корневая гниль, комплексы тебуконазола, компоненты экстракта корней солодки уральской, продуктивность, урожайность зерна.

DOI: 10.31857/S0002188120050142

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении многих десятилетий развитие химического метода защиты растений происходило в 2-х направлениях. Первое связано с поиском наиболее эффективных химических средств и технологий их применения, а второе – с повышением безопасности и экологичности вышеуказанного химического метода [1]. Одним из действенных и доступных методов ограничения пестицидной нагрузки на агроценоз является снижение норм расхода пестицидов, и его применяют при разработке экологизированных схем защиты пшеницы [2]. Уменьшению норм расхода фунгицидов без снижения их биологической эффективности способствуют наноструктурные и супрамолекулярные формы [3]. Наноконструкции и новые модификации препаративных форм рассматривают в качестве альтернативы старым коммерческим препаратам [4, 5]. Нанофунгицидные комплексы способны вызывать полное ингибирование прорастания конидий *Bipolaris sorokiniana* Shoemaker [6] – основного возбудителя обыкновенной корневой гнили – экономиче-

ски значимой болезни в Сибири [7] и мире [8–11]. Болезнь, вызывающая потери урожайности до 10–23% [9], эффективно контролируется фунгицидами, обладающими комплексным действием. К числу таких относят фунгицид раксил, КС (действующее вещество – тебуконазол) [12]. Препарат эффективен в условиях острой засухи [13], активно подавляет *Bipolaris sorokiniana*, *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., способствует повышению густоты стояния растений к уборке, числа зерен в колосе, массы 1000 семян [12, 14, 15]. Тебуконазол, обладая системно-транслокационным действием, успешно уничтожает внешнюю и внутреннюю семенную инфекции [16]. С целью повышения эффективности фунгицидной активности предлагают использовать композиции тебуконазола с контролируемым высвобождением действующего вещества [17]. Препаративные формы тебуконазола в виде гранул и пленок эффективны против фузариозной семенной инфекции и при низком уровне естественной почвенной инфекции способны сдерживать развитие корневой гнили в течение 20–30 сут [18].

Использование современных методов нанотехнологий, в том числе и так называемых “систем доставки” биологически активных молекул до чувствительных рецепторов патологических микроорганизмов, уже используемых в фармакологии, является важным перспективным направлением улучшения характеристик средств защиты растений, повышающих их эффективность и безопасность использования. Применение таких подходов должно иметь множество потенциальных возможностей в сельском хозяйстве [19]. В частности, появилась возможность получения эффективных фунгицидных препаратов на основе тебуконазола путем его механохимического “сочетания” с водорастворимыми полимерами [20]. В качестве таких вспомогательных веществ эффективно использовали полисахариды, выделяемые из ламинарии, арабиногалактан, выделяемый из древесины сибирской лиственницы, или глицирризиновую кислоту и ее соли из сухого экстракта корня солодки, которые формируют супрамолекулярные системы, в структуру которых входят молекулы тебуконазола. Это позволяет получать препараты для протравливания семян с улучшенными экологическими и биологическими свойствами, обеспечивающие снижение нормы расхода тебуконазола в несколько раз [20–23] за счет улучшения системы доставки тебуконазола в водных растворах мицелл вспомогательных веществ с включенными в них молекулами активного фунгицида, что повышает его водорастворимость и прохождение через клеточные мембраны.

Цель работы – оценить эффективность предпосевной обработки семян супрамолекулярными комплексами тебуконазола с экстрактом корней солодки уральской для подавления обыкновенной корневой гнили яровой мягкой пшеницы.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проведено в 2018–2019 гг. на опытном поле СибНИИЗиХ в центрально-лесостепном Приобском агроландшафтном районе Новосибирской обл. Почва – чернозем выщелоченный среднесуглинистый среднемощный. В опытах использовали мягкую яровую пшеницу сорта Новосибирская 31, которую высевали после парового предшественника в начале 3-й декады мая с нормой посева 6.5 млн всхожих зерен/га. Опыт включал следующие варианты: 1 – контроль без обработки семян фунгицидами, 2 – обработка семян фунгицидом раксил, КС (д.в. тебуконазол, 60 г/л) с нормой расхода 0.5 л/т, 3 – обработка семян фунгицидом раксил, КС с нормой расхода 0.25 л/т, 4 – обработка семян супрамолекулярным комплексом тебуконазола с растительными метаболитами экстракта корней солодки уральской (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.) в соотношении 1:10 по массе, ВМ 24 ч, норма расхода препарата 0.3 кг/т, 5 – обработка семян супрамолекулярным комплексом те-

буконазола с экстрактом корней солодки в соотношении 1:10 по массе, ВМ 24 ч, норма расхода препарата 0.15 кг/т, 6 – обработка семян супрамолекулярным комплексом тебуконазола с экстрактом корней солодки в соотношении 1:5 по массе, ВМ 24 ч, норма расхода препарата 0.15 кг/т, 7 – обработка семян супрамолекулярным комплексом тебуконазола с экстрактом корней солодки в соотношении 1:5 по массе, ВМ 24 ч, норма расхода препарата 0.075 кг/т.

Приготовление сухих композиций – комплексов тебуконазола с экстрактом корней солодки осуществляли по оригинальной механохимической технологии, описанной ранее [20]. Протравливание проводили с увлажнением – 10 л/т семян. Площадь делянки полевого опыта в 2018 г. – 21.5 м², в 2019 г. – 10.2 м², повторность соответственно – четырех- и восьмикратная, размещение вариантов систематическое. Уборку урожая осуществляли прямым комбайнированием, урожайность приводили к стандартной чистоте и влажности.

Оценку фитосанитарного состояния корневой системы яровой пшеницы [7] проводили в фазах 2-х листьев и кушения. В каждом варианте отбирали по 100 растений (10 × 10 точек/делянке), корневую систему перед анализом отмывали под проточной водой с душевой насадкой. Математическую обработку данных осуществляли при помощи пакета прикладных программ “СНЕДЕКОР” [24].

Пшеницу выращивали в годы со следующими метеорологическими показателями. В 2018 г. температура воздуха в мае была ниже нормы на 3.3°C, осадки обильные, с превышением среднегодовых показателей в 2.3 раза. В июне температура воздуха превышала среднегодовые показатели на 2.4°C, норму осадков – в 1.2 раза, в июле температурный режим был близок к норме, со снижением (на 1.1 и 2.8°C) в 1-й и 3-й декадах и превышением (на 2.5°C) – во 2-й декаде. Осадки в июле выпадали в 3-й декаде, и их количество превысило норму в 2 раза. В 1-й декаде влагообеспеченность была ниже нормы в 1.9 раза, во 2-й декаде дожди практически отсутствовали. В 1-й декаде августа температура воздуха была на 2.1°C ниже среднегодовой, во 2-й и 3-й – превысила ее на 2.4 и 2.0°C соответственно. Дефицит осадков (в 1.9 раза меньше нормы) отмечен в 1-й и 2-й декаде августа, 3-й декаде осадков было в 1.3 раза больше нормы.

В 2019 г. температура воздуха в мае была на уровне нормы, незначительный недобор отмечен только во 2-й декаде – на 1.3°C. Выпавшие в 3-й декаде месяца обильные осадки обеспечили превышение показателя майской месячной нормы в 1.2 раза. Июнь и июль по температурному режиму были близки к среднегодовым. Недобор тепла (на 1.2 и 0.7°C) отмечен в 3-й декаде июня и июля, превышение (на 0.7°C) – в 1-й и 2-й дека-

Таблица 1. Влияние обработки семян комплексами тебуконазола с экстрактом корней солодки на развитие и распространенность обыкновенной корневой гнили в посевах яровой мягкой пшеницы Новосибирская 31

Вариант (препарат, норма расхода)	Фаза развития							
	2 листа				кущение			
	индекс развития болезни		распространенность болезни		индекс развития болезни		распространенность болезни	
	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.
Контроль	26.3	21.5	87.0	73.0	41.5	29.0	92.0	83.0
Раксил, КС, 0.5 л/т	10.3	12.5	40.0	49.0	11.3	16.0	40.0	61.0
Раксил, КС, 0.25 л/т	10.0	10.5	36.0	41.0	22.4	19.1	74.2	73.0
Тебуконазол : экстракт корневой солодки (1 : 10), 0.3 кг/т	8.5	12.3	33.0	47.0	5.3	18.8	21.0	77.0
Тебуконазол : экстракт корневой солодки (1 : 10), 0.15 кг/т	5.3	7.5	20.0	30.0	11.0	17.8	34.0	73.0
Тебуконазол : экстракт корневой солодки (1 : 5), 0.15 кг/т	4.8	7.5	18.0	29.0	6.3	15.8	24.0	64.0
Тебуконазол : экстракт корневой солодки (1 : 5), 0.075 кг/т	6.3	10.0	24.0	37.0	8.5	19.0	29.0	72.0
<i>HSP</i> ₀₅	0.8	1.9	2.7	2.1	1.6	0.7	2.9	2.9
Степень влияния по Снедекору, %	99.5	99.7	99.4	99.1	99.3	98.9	99.5	93.3

дах июля. Количество выпавших осадков в период кушения (июне) составило 45% нормы, особенно дефицитными (в 2.0 и 7.4 раза ниже средне-многолетней нормы) были 1-я и 3-я декады. В июле основные осадки, превысившие норму на 13.0 и 38.0 мм, выпали в 1-й и 3-й декадах. В августе на фоне пониженного увлажнения (в 15.0, 2.2 и 2.0 раза) подекадная температура воздуха превышала средне-многолетние показатели на 3.1, 1.8 и 2.9°C.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование показало, что протравливание семян яровой пшеницы фунгицидными комплексами тебуконазола с экстрактом корней солодки эффективно подавляло развитие и распространенность болезни в посевах в критические фазы развития (всходы—кущение) (табл. 1).

Рассматривая пораженность растений обыкновенной корневой гнилью, следует отметить значительное влияние условий вегетации (степень влияния по Снедекору = 63.2%) на этот процесс. Развитие болезни и частота встречаемости проростков (фаза 2-х листьев) с симптомами заболевания в контрольном варианте усиливались в сезон (2018 г.) с обильным выпадением осадков и недостатка тепла. В 2019 г. набухание, прорастание семян, формирование первичной корневой системы пшеницы на первых этапах органогенеза проходило при повышенном выпадении осадков

и достаточной для роста культуры теплообеспеченности. В этих условиях отмечены сниженные (в 1.2 раза) показатели индекса развития и распространенности болезни, также уменьшилась в сравнении с предыдущим годом и биологическая эффективность фунгицидов-протравителей: в 1.5 и 1.2 раза — при применении раксил с нормой расхода 0.5 и 0.25 л/т семян, в 1.6 и 1.2 раза — тебуконазола с экстрактом корней солодки (1 : 10), с нормой расхода 0.3 и 0.15 кг/т, в 1.3 и 1.4 раза — тебуконазола с экстрактом корней солодки (1 : 5), с нормой расхода 0.15 и 0.075 кг/т (рис. 1).

В фазе формирования 2-го листа наибольшая биологическая эффективность (80–82% в 2018 г. и 65% в 2019 г.) была получена в вариантах применения тебуконазола с экстрактом солодки в соотношениях 1 : 10 и 1 : 5 с нормой расхода 0.15 кг/т семян. В этих же условиях препарат раксил сдерживал развитие болезни на 61–62 и 42–51% соответственно. Аналогичной эффективности не обеспечивали повышенная норма расхода (0.3 кг/т) комплекса тебуконазол : экстракт корневой солодки (1 : 10) и пониженная (0.075 кг/т) — тебуконазол : экстракт корневой солодки (1 : 5). Первый слабее защищал корневую, второй — прикорневую часть растений. В 2018 г. в фазе кушения пшеницы корневой гнилью меньше поразились растения в вариантах с более высокими нормами применения комплексов, биологическая эффективность которых составила 87 и 85%, при уменьшении норм расхода препаратов в

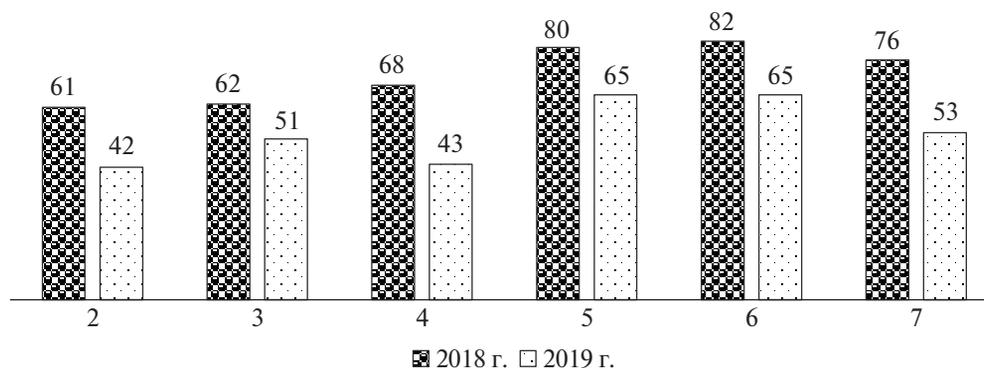


Рис. 1. Биологическая эффективность обработки семян комплексами тебуконазола с экстрактом корней солодки против обыкновенной корневой гнили, фаза 2-х листьев (% к контролю), варианты: 1 – контроль, без обработки семян фунгицидами, 2 – раксил, КС, 0.5 л/т, 3 – раксил, КС, 0.25 л/т, 4 – тебуконазол : экстракт корней солодки (1 : 10), 0.3 кг/т, 5 – тебуконазол : экстракт корней солодки (1 : 10), 0.15 кг/т, 6 – тебуконазол : экстракт корней солодки (1 : 5), 0.15 кг/т, 7 – тебуконазол : экстракт корней солодки (1 : 5), 0.075 кг/т. То же на рис. 2.

2 раза эффективность была немного меньше – 73 и 80%, что было сопоставимо с применением раксилы в рекомендованной норме расхода (73%), а при ее уменьшении в 2 раза показатель снижался уже до 46%. В 2019 г. снижение пораженности корневой гнилью растений в фазе кушения пшеницы на уровне 46% наблюдали в вариантах применения раксилы с нормой расхода 0.5 кг/т семян и тебуконазола с экстрактом корней солодки (1 : 5) с нормой расхода 0.15 кг/т. В остальных вариантах опыта биологическая эффективность предпосевной обработки семян варьировала от 34 до 39%.

Защита семенного материала яровой мягкой пшеницы комплексными препаратами тебуконазола с

экстрактом корней солодки обеспечила лучшую всхожесть и выживаемость растений культуры (табл. 2).

Обработка семян комплексными фунгицидами в обеих нормах расхода ежегодно повышала их всхожесть. В среднем за 2 года опыта густота стояния защищенных растений в фазе всходов увеличивалась на 13.0 и 6.0% при применении комплекса тебуконазол с экстрактом корней солодки (1 : 10) с нормой расхода 0.3 и 0.15 кг/т семян и на 8.8 и 8.4% в вариантах тебуконазол : экстракт корней солодки (1:5) с нормой расхода 0.15 и 0.075 кг/т. При использовании раксилы с нормами расхода 0.5 и 0.25 кг/т этот показатель увеличивался на 4.5 и 6.7%. Выживаемость растений к уборке также увеличивалась на 10.6 и 11.4, 10.9 и 10.1%

Таблица 2. Влияние супрамолекулярных комплексов тебуконазола с экстрактом корней солодки на всхожесть и выживаемость растений мягкой яровой пшеницы

Вариант (препарат, норма расхода)	Густота стояния растений (всходы) шт./м ²		Выживаемость растений (конец вегетации), %	
	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.
Контроль, без обработки семян фунгицидами	599	401	79.3	83.5
Раксил КС, 0.5 л/т	625	423	87.0	92.2
Раксил КС, 0.25 л/т	622	450	87.1	90.9
Тебуконазол : экстракт корней солодки (1 : 10), 0.3 кг/т	641	509	90.8	91.2
Тебуконазол : экстракт корней солодки (1 : 10), 0.15 кг/т	611	453	90.8	92.9
Тебуконазол : экстракт корней солодки (1 : 5), 0.15 кг/т	636	460	90.1	92.6
Тебуконазол : экстракт корней солодки (1 : 5), 0.075 кг/т	603	489	90.9	90.2
<i>HSP</i> ₀₅	15	5		
Степень влияния по Снедекору, %	69.0	98.7		

Таблица 3. Влияние комплексов тебуконазола с экстрактом корней солодки на структуру урожайности яровой мягкой пшеницы

Вариант (препарат, норма расхода)	Длина главного колоса, см		Число колосков в главном колосе, шт.		Масса зерна главного колоса, г		Масса 1000 зерен, г	
	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.
Контроль, без обработки семян фунгицидами	7.98	9.76	14.9	16.1	1.13	1.42	38.8	35.6
Раксил КС, 0.5 л/т	8.70	10.4	16.2	17.2	1.18	1.56	40.1	36.6
Раксил КС, 0.25 л/т	8.81	10.3	15.3	17.2	1.23	1.59	41.7	37.5
Тебуконазол : экстракт корней солодки (1 : 10), 0.3 кг/т	9.00	10.4	16.2	17.5	1.39	1.61	42.3	38.5
Тебуконазол : экстракт корней солодки (1 : 10), 0.15 кг/т	9.13	10.6	16.1	17.5	1.45	1.63	42.2	38.8
Тебуконазол : экстракт корней солодки (1 : 5), 0.15 кг/т	9.23	10.3	16.7	17.2	1.50	1.62	43.5	37.9
Тебуконазол : экстракт корней солодки (1 : 5), 0.075 кг/т	9.17	10.3	16.6	17.2	1.50	1.64	44.2	38.3
<i>HCP</i> ₀₅	0.2	0.1	0.2	0.1	0.07	0.02	0.4	0.3
Степень влияния по Снедекору, %	91.1	87.6	95.8	96.3	90.4	94.5	97.4	97.4

соответственно при использовании комплексов тебуконазола с экстрактом корней солодки, а в вариантах с обработкой семян раксиллом показатели возросли на 9.2 и 8.5%.

У растений пшеницы достоверно увеличивались все показатели структуры урожая (табл. 3). Длина главного колоса в вариантах тебуконазол : экстракт солодки (1 : 10) с нормой расхода 0.3 и 0.15 кг/т в среднем за 2 года увеличивалась на 9.4 и 11.2%, в вариантах тебуконазол:экстракт солодки (1 : 5) с нормой расхода 0.15 и 0.075 кг/т – примерно на 10%. При применении раксилла, 0.5 и 0.25 л/т показатель повысился на 7.4 и 8.0% соответственно. Возраста и озерненности колоса: количество колосков в главном колосе при применении разработанных комплексов повысилось на 8.4–8.3 и 9.2–8.9% соответственно, в вариантах использования раксилла – на 7.8–4.7%. Это обусловило и увеличение массы зерна главного колоса пшеницы на 17.2 и 20.3% при применении тебуконазола с экстрактом корней солодки в соотношении 1 : 1 0 и на 21.9 и 22.7% – тебуконазола с экстрактом корней солодки в соотношении 1:5, в вариантах с раксиллом показатель повысился на 7.0 и 10.2%. Крупность зерна в вариантах тебуконазол: экстракт солодки (1 : 10) также повышалась на 8.6 и 8.9%, тебуконазол:экстракт солодки (1 : 5) – на 9.4 и 10.8%, что было больше, чем в вариантах применения раксилла (3.0 и 6.5%). В результате сбор зерна пшеницы в вариантах применения композиций тебуконазола с экстрактом корней солодки возрастал (рис. 2).

В 2018 г. сбор зерна с защищенных супрамолекулярными комплексами тебуконазола посевов превысил контроль на 0.55, 0.69, 0.67, 0.79 т/га (или на 9.6, 12.1, 11.6, 13.9%). Аналогичные прибавки в варианте с протравливанием семян коммерческим фунгицидом раксил КС с нормой расхода 0.5 и 0.25 л/т были меньше – 0.21 и 0.41 т/га, или 3.7 и 7.2%. В 2019 г. рост урожайности в опытных вариантах составил 0.49 и 0.55 т/га (или 10.7 и 12.0%) и 0.52 и 0.56 т/га (или 11.4 и 12.3%). В вариантах с использованием коммерческого протравителя урожайность увеличилась на 0.29 и 0.45 т/га (или на 6.3 и 9.8%). И в среднем за 2 года зерновая продуктивность защищенной фунгицидными комплексами пшеницы возрастала на 0.52 и 0.62 т/га (тебуконазол : экстракт корней солодки (1 : 10) в норме расхода 0.3 и 0.15 кг/т) и 0.59 и 0.68 т/га (тебуконазол : экстракт корней солодки (1 : 5) в норме расхода 0.15 и 0.075 кг/т), что было соответственно в 2.08–2.48 и 2.36–2.72 раза больше, чем при обработке семян раксиллом с рекомендуемой (0.5 л/т) нормой расхода препарата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, выявлена высокая эффективность супрамолекулярных комплексов тебуконазола с экстрактом корней солодки в подавлении развития обыкновенной корневой гнили на растениях мягкой яровой пшеницы. Обработка семян разработанными комплексами оказывала влияние на формирование всходов растений пшеницы, увеличивая густоту стояния растений на 13.0 и 6.0% при применении комплекса тебуко-

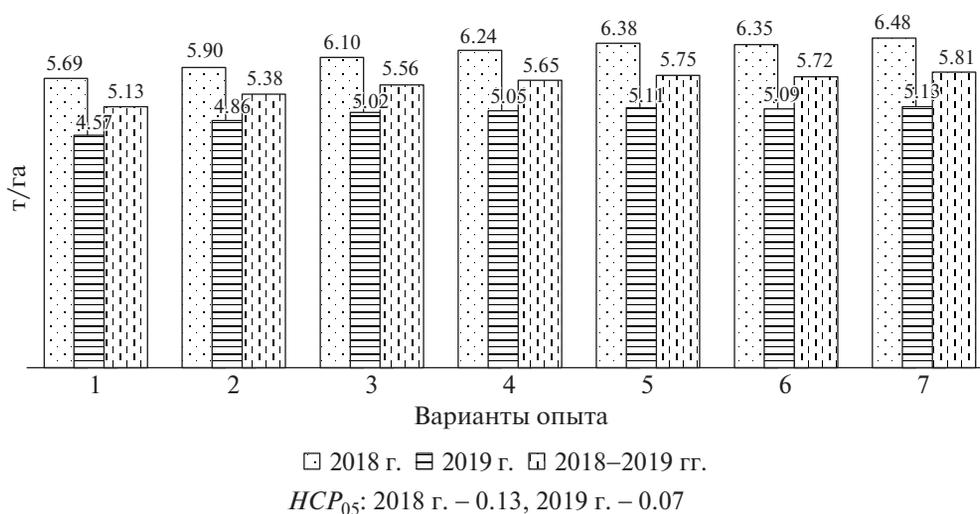


Рис. 2. Влияние обработки семян комплексами тебуконазола с экстрактом корней солодки на урожайность яровой пшеницы, т/га.

назол с экстрактом корней солодки (1 : 10) с нормой расхода 0.3 и 0.15 кг/т семян и на 8.8 и 8.4% в вариантах тебуконазол:экстракт корней солодки (1 : 5) с нормой расхода 0.15 и 0.075 кг/т, а также на выживаемость растений к уборке урожая соответственно на 10.6 и 11.4, 10.9 и 10.1%. Из обработанных фунгицидными комплексами семян формировались растения с улучшенными относительно контроля показателями структуры урожая. Длина главного колоса в вариантах тебуконазол : экстракт солодки (1 : 10) с нормой расхода 0.3 и 0.15 кг/т увеличивалась на 9.4 и 11.2%, тебуконазол:экстракт солодки (1 : 5) с нормой расхода 0.15 и 0.075 кг/т – на 10%, количество колосков в главном колосе – на 8.4–8.3 и 9.2–8.9%, массы зерна главного колоса пшеницы – на 17.2–20.3% и 21.9–22.7%, крупность зерна – на 8.6–8.9%, и 9.4–10.8% соответственно. В итоге сбор зерна повысился при применении тебуконазола с экстрактом корней солодки в соотношении 1 : 10 с нормой расхода 0.3 кг/т – на 10.1%, с нормой расхода 0.15 кг/т – на 12.1%, тебуконазола с экстрактом корней солодки в соотношении 1:5 с нормой расхода 0.15 кг/т – на 11.5%, с нормой расхода 0.075 кг/т – на 13.3%, в варианте с применением препарата раксил, КС с нормой расхода 0.5 кг/т – на 4.9%, с нормой расхода 0.25 кг/т – на 8.4%. Результаты испытаний инновационных супрамолекулярных комплексов тебуконазола с экстрактом корней солодки показали эффективность их применения для предпосевной обработки семян яровой пшеницы в пониженных нормах расхода, что уменьшало расход действующего вещества тебуконазола примерно в 2 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Илларионов А.И.* Экотоксикология пестицидов: Учеб. пособ. Воронеж: ВОВГАУ, 2016. 262 с.
2. *Лавринова В.А., Чекмарев В.В., Гусев И.В.* Общие принципы развития исследований по защите зерновых культур от болезней в Тамбовской области // Земледелие. 2018. № 1. С. 27–31.
3. *Захаренко В.А.* Нанофитосанитария – научное направление, объединяющее нанотехнологию и современную защиту растений. Ч. 1. Общая концепция // Агрохимия. 2011. № 3. С. 3–16.
4. *Массалимов И.А., Удовенко И.Ф., Куреева М.С., Выхарева И.Н.* Применение водных серосодержащих композиций в качестве средств защиты растений // Башкир. хим. журн. 2006. Т. 13. № 4. С. 97–100.
5. *Banik S., Pérez-de-Luque A.* In vitro effects of copper nanoparticles on plant pathogens, beneficial microbes and crop plants // Span. J. Agricult. Res. 2017. V. 15. Iss. 2. e1005.
6. *Mishra S., Singh B.R., Singh A., Keswani C., Naqvi A.H.* Biofabricated silver nanoparticles act as a strong fungicide against *Bipolaris sorokiniana* causing spot blotch disease in wheat // PLoS ONE. 2014. 9(5): e97881.
7. *Тепляков Б.И.* Обыкновенная корневая гниль яровой пшеницы на черноземах в лесостепной зоне Западной Сибири. Новосибирск: Новосибирск-ГАУ, 2012. 122 с.
8. *Acharya K., Dutta A.K., Pradhan P.* *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoem.: the most destructive wheat fungal pathogen in the warmer areas // Austr. J. Crop Sci. 2011. № 5(9). P. 1064–1071.
9. *Iftikhar S., Asad S., Munir A., Sultan A., Ahmad I.* Hosts of *Bipolaris sorokiniana*, the major pathogen of spot blotch of wheat in Pakistan // Pakistan J. Bot. 2009. № 41(3). P. 1433–1436.
10. *Valjavec-Gratian M., Steffenson B.J.* Genetics of virulence in *Cochliobolus sativus* and resistance in barley // Phytopathology. 1997. № 87. P. 1140–1143.

11. *Wtsniewska H., Wakulinski W., Chelkowski J.* Susceptibility of barleys to *Bipolaris sorokiniana* seedling blight determined by disease scoring and electrolyte leakage // *Phytopathology*. 1998. № 146. P. 563–566.
12. *Санин С.С.* Фитосанитарные проблемы семеноводства зерновых культур // *Защита и карантин растений*. 2010. № 5. С. 22–24.
13. *Губарева Н.С.* Эффективность предпосевной обработки семян ячменя против корневой гнили в Восточном Казахстане // *Земледелие*. 2013. № 1. С. 41–42.
14. *Байбакова Е.В., Нефедьева Е.Э., Белопухов С.Л.* Исследование влияния современных протравителей на всхожесть и рост проростков зерновых культур // *Изв. вузов. Прикл. хим. и биотехнология* 2016. Т. 6. № 3. С. 57–64.
15. *Магфуров А.Р., Зиганшин А.А.* Эффективность различных протравителей семян // *Агрехим. вестн.* 2009. № 5. С. 19–20.
16. *Белицкая М.Н., Грибуст И.Р., Байбакова Е.В., Нефедьева Е.Э., Шайхиев И.Г.* Исследование и сравнительный анализ действующих веществ современных протравителей зерновых культур // *Вестн. технол. ун-та*. 2015. Т. 18. № 9. С. 32–36.
17. *Asrar J., Ding Y., La Monica R.E., Ness L.C.* Controlled release of tebuconazole from a polymer matrix micro-particle: release kinetics and length of efficacy // *J. Agric. Food Chem.* 2004. № 52. P. 4814–4820.
18. *Volova T.G., Prudnikova S.V., Zhila N.O.* Fungicidal activity of slow-release P(ЗНВ)/ТЕВ formulations in wheat plant communities infected by *Fusarium moniliforme* // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2018. V. 25. № 1. P. 552–561.
19. *Спиридонов Ю.Я., Халиков С.С.* Разработка экологически безопасных протравителей с уникальными физико-химическими, технологическими и протекторными свойствами // *Агрехимия*. 2019. № 1. С. 42–47.
20. *Метелева Е.С., Евсеенко В.И., Теплякова О.И., Халиков С.С., Поляков Н.Э., Апанасенко И.Е., Душкин А.В., Власенко Н.Г.* Нанопестициды на основе супрамолекулярных комплексов тебуконазола для обработки семян злаковых культур // *Хим. в интересах устойчив. развития*. 2018. № 3(26). С. 279–294.
21. *Халиков С.С., Душкин А.В., Давлетов Р.Д., Евсеенко В.И.* Создание инновационных фунгицидных средств на основе тебуконазола с привлечением механохимических процессов // *Фундамент. иссл.* 2013. № 10 (Ч. 12). С. 2695–2700.
22. *Халиков С.С., Теплякова О.И., Власенко Н.Г., Халиков М.С., Евсеенко В.И., Душкин А.В.* Применение арабиногалактана для улучшения технологических и биологических свойств протравителей зерновых культур // *Хим. в интересах устойчив. развития*. 2015. Т. 23. № 5. С. 591–599.
23. *Власенко Н.Г., Теплякова О.И., Метелева Е.С., Поляков Н.Э., Халиков С.С., Душкин А.В.* Эффективный препарат для предпосевной обработки семян зерновых культур на основе комплексов тебуконазола с полисахаридами ламинарии // *Усп. совр. естествознания*. 2017. № 12. С. 28–37.
24. *Сорокин О.Д.* Прикладная статистика на компьютере. 2-е изд. Новосибирск, 2012. 282 с.

Supramolecular Complexes of Tebuconazole with Licorice Root Extract – Effective Fungicides to Protect Spring Wheat from Common Root Rot

O. I. Teplyakova^a, N. G. Vlasenko^{a, #}, and A. V. Dushkin^{b, ##}

^a *Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, p. Krasnoobsk, Novosibirsk region 630501, Russia*

^b *Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry of the Siberian, Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Kutateladze 18, Novosibirsk 630128, Russia*

[#]*E-mail: vlas_nata@ngs.ru*

^{##}*E-mail: solid@nsc.ru*

The high efficacy of the supramolecular complexes of tebuconazole with a complexing agent, the carrier substance glycyrrhizic acid and its derivatives, the most important components of licorice roots contained in their aqueous extract, in suppressing the development of common root rot on soft spring wheat plants, has been shown. Self-associated guest-host complexes showed the effectiveness of their use for presowing treatment of spring wheat seeds in the consumption rates of the existing synthetic fungicide tebuconazole reduced by more than 2 times, which provided increased plant density, plant survival for harvesting, indicators of spike structure and harvest grain of soft spring wheat.

Key words: spring soft wheat, common root rot, complexes of tebuconazole with components of ural licorice root extract, productivity indicators, grain yield.

УДК 633.15:632.954(470.55)

ГЕРБИЦИДЫ КРОСС-СПЕКТРА В КОНТРОЛЕ ЗАСОРЕННОСТИ КУКУРУЗЫ В ЛЕСОСТЕПИ ЮЖНОГО ЗАУРАЛЬЯ

© 2020 г. А. Э. Панфилов^{1,*}, Н. И. Казакова¹, Е. С. Иванова¹

¹Институт агроэкологии – филиал Южно-Уральского государственного аграрного университета 456660 с. Миасское, Красноармейский р-н, Челябинская обл., ул. Советская, д. 8, Россия

*E-mail: al_panfilov@mail.ru

Поступила в редакцию 10.12.2019 г.

После доработки 14.01.2020 г.

Принята к публикации 10.02.2020 г.

В работе обоснован выбор гербицидов для контроля смешанной сеgetальной растительности в посевах кукурузы и предложены оптимальные сроки их применения с учетом взаимодействия внешних факторов. В полевом опыте исследовали эффективность 6-ти гербицидов и 3-х сроков обработки. Обобщены результаты исследования, проведенного в 2012–2017 гг. в северной лесостепи Зауралья: уточнены параметры вредоносности биологических групп сорняков, дана сравнительная оценка биологической эффективности гербицидов, выявлены оптимальные сроки применения препаратов кросс-спектра на фоне неустойчивого увлажнения почвы, изучено влияние гербицидов на продуктивность кукурузы и уборочную влажность зерна, определен экономический эффект от применения гербицидов.

Ключевые слова: кукуруза, засоренность, гербицид, урожай, зерно, влажность зерна, Зауралье.

DOI: 10.31857/S0002188120050117

ВВЕДЕНИЕ

Проблема фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур – одна из наиболее актуальных в современной земледелии. Зерновая кукуруза (*Zea mays* L.) не является исключением, поскольку реализация генетического потенциала культуры в регионах с коротким вегетационным периодом (в том числе в Зауралье) возможна только при соблюдении требований интенсивной технологии: внедрения в производство скороспелых гибридов [1–3], точности выполнения операций в определенные сроки [3, 4] и т.п. Технология также должна включать надежную систему защиты растений от вредных объектов, прежде всего от сорняков [5, 6]. Необходимость посева культуры в предельно ранние сроки и короткий период от схода снега до посева затрудняют эффективное применение агротехнического метода борьбы с сорняками, поэтому в этом случае высока роль химических средств их контроля [7–9].

С учетом почвенно-климатических и фитоценологических особенностей региона полный контроль засоренности кукурузы на базе ассортимента гербицидов, сложившегося к началу XXI столетия, достигался двукратным опрыскиванием

почвенным препаратом до посева и послеуборочным – в период от 3-х до 5-ти листьев [10–12] в сочетании с одной или двумя междурядными обработками. Такая схема защиты является напряженной с организационной точки зрения и отличается высокой степенью риска, связанного с несвоевременным выполнением одной или обеих операций под влиянием, например, погодных условий [13–16].

Отказ от этой схемы возможен на основе новых гербицидов кросс-спектра, обладающих одновременно трансламинарным действием на вегетирующие сорняки и экраным эффектом для подавления их последующих всходов [8, 9, 17, 18]. Для оценки эффективности применения таких препаратов необходимо исследование взаимодействия агротехнических сроков применения гербицидов с погодными условиями, видовым составом и динамикой прорастания сорняков.

В связи с актуальностью проблемы в лесостепной зоне Челябинской обл. проведено исследование, целью которого было обоснование выбора средств защиты растений для оперативного контроля сеgetальных растений в посевах кукурузы.

Таблица 1. Видовой состав сорняков в контроле (Институт агроэкологии, 2012–2019 гг.), % от общей сухой массы сегетальных растений

Вид	Год исследования								
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	среднее
Бодяк полевой (<i>Cirsium arvense</i>)	4.2	7.7	12.1	6.4	1.5	3.9	8.8	8.7	6.7
Вьюнок полевой (<i>Convolvulus arvensis</i>)	6.3	4.4	2.1	3.7	1.0	2.8	3.5	6.0	3.7
Осот полевой (<i>Sochus arvensis</i>)	–	3.8	2.4	2.2	0.5	–	2.4	–	2.3
Овсяг (Avena fatua)	51.6	2.3	18.9	3.6	–	–	6.9	3.2	14.4
Просо сорное (<i>Panicum miliaceum</i>)	7.3	34.6	32.1	42.7	36.6	17.1	31.7	35.6	29.7
Ежовник обыкновенный (<i>Echinochloa crus-galli</i>)	9.7	12.9	9.7	5.4	22.2	28.7	8.4	13.4	13.8
Щетинник зеленый (<i>Setaria viridis</i>)	6.2	1.9	3.2	1.4	–	–	11.3	10.5	5.8
Щирица запрокинутая (<i>Amaranthus retroflexus</i>)	–	13.7	3.4	4.2	5.7	5.0	7.2	3.4	6.1
Марь белая (<i>Chenopodium album</i>)	8.6	3.8	4.0	3.3	7.2	6.1	3.4	2.9	4.9
Паслен черный (<i>Solanum nigrum</i>)	–	–	9.5	16.1	8.8	1.7	5.2	4.6	7.7
Горец – виды (<i>Polygonum</i> spp.)	6.1	14.9	2.6	6.7	1.5	8.8	6.2	7.3	6.8
Аистник цикутolistный (<i>Erodium cicutarum</i>)	4.2	7.7	12.1	2.1	3.6	11.6	2.3	3.2	5.9
Прочие (малолетние двудольные)	6.3	4.4	2.1	2.2	3.1	15.0	2.7	3.8	5.0

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 2012–2017 гг. на опытном поле Института агроэкологии и в 2018–2019 гг. – на базе СПК “Коелгинское” им. И.Н. Шундеева.

Схема опыта включала варианты с внесением до посева культуры почвенного гербицида пропонит, КЭ (2.5 л/га) и применением довсходового почвенного препарата мерлин, ВДГ (0.15 кг/га), а также варианты с обработкой посевов кукурузы в фазе 3–4-х листьев послевсходовыми препаратами кросс-спектра: баковой смесью дублон голд, ВДВ + балерина, СЭ (0.07 кг/га + 0.3 л/га), а также препаратами элюмис, МД (1.5 л/га) и майстер Пауэр, МД (1.5 л/га).

Агротехника в опыте – рекомендованная для региона. Повторность опыта трехкратная, размещение вариантов рендомизированное. Общая площадь делянки – 42 м², учетная – 28 м². Анализы и учеты проводили в соответствии с принятыми методиками ВНИИ кукурузы [19] и Госсортсеги [20].

Почва опытного поля – чернозем обыкновенный среднемощный среднегумусный тяжелосуглинистый с содержанием гумуса в пахотном слое 7.0–7.2%, с физико-химическими и водно-физическими свойствами, типичными для региона. По метеорологическим условиям период проведения исследования отличался разнообразием, отражающим характерную для Зауралья континентальность климата: 2012 г. в целом характеризовался острой атмосферной засухой на фоне высоких температур в период вегетации, что определило преимущественно одноволновой характер появления сорняков в посевах кукурузы. В 2013, 2014 и 2015 гг. быстрое высыхание верхнего слоя почвы в весенний период сдерживало появление сорняков, но обильные осадки во второй половине вегетации способствовали активному вторичному засорению посевов. 2016 г. характеризовался высоким температурным фоном и острым дефицитом осадков, что привело к задержке появления всходов сорняков весной и формированию засоренности в основном за счет многолетних видов. В 2017–2019 гг. температурный фон

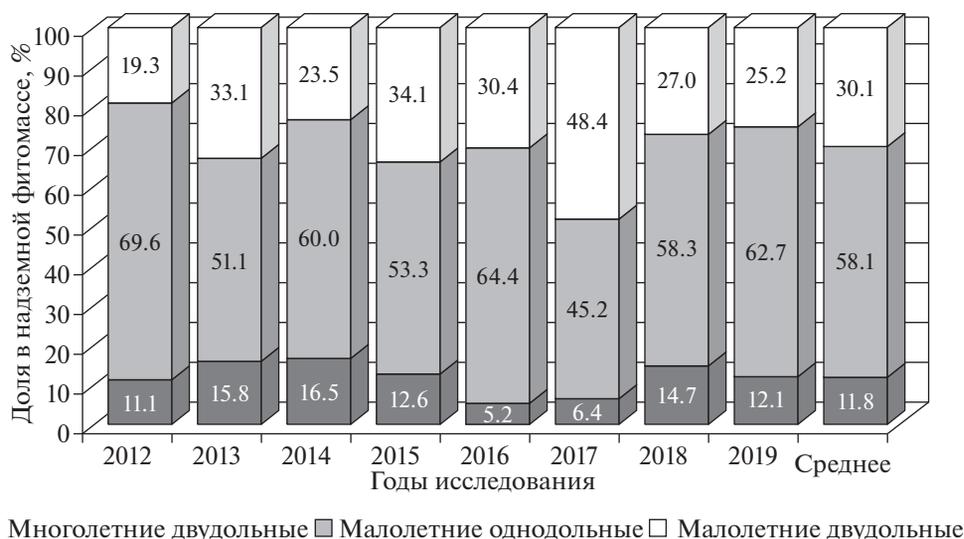


Рис. 1. Групповой состав сорняков в посевах кукурузы (Институт агроэкологии, 2012–2019 гг.).

в течение вегетации был несколько ниже средних многолетних показателей, при этом количество осадков в мае–июле превысило многолетнюю норму; это способствовало массовому появлению сорной растительности с многоволновым характером прорастания сорняков.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В большинстве случаев на территории лесостепной зоны Зауралья основную угрозу для кукурузы представляют сорняки двух групп – многолетние корнеотпрысковые и однолетние злаковые. Малолетние двудольные виды в посевах кукурузы представляют маргинальную группу, с их количеством урожайность кукурузы в подавляющем большинстве лет связана слабо. Это обусловлено тем, что они являются слабыми конкурентами по отношению к двум первым группам сорняков [21].

В годы исследования исходная засоренность по групповому и видовому составу сорняков была типичной для региона (табл. 1, рис. 1): на долю многолетних двудольных сорняков (осота, бодряка и вьюнка полевого) в период проведения опыта приходилось 12% сорной биомассы, на малолетние однодольные (доминирующий вид – просо сорное) – 58 и на малолетние двудольные сорняки – 30%.

Необходимо отметить, что значительная доля овсяга в составе сеgetальной растительности обостряла ситуацию на полях, поскольку, помимо нескольких волн поздних яровых сорняков,

имелась как минимум одна волна ранней засоренности.

В период исследования фоновые погодные условия (особенности водного и температурного режимов верхнего слоя почвы) и рекомендуемый для региона ранний срок посева культуры сформировали общий уровень засоренности в среднем 329 г/м² (с сильным варьированием показателя по годам от 191 до 488 г/м²).

Нестабильная влажность верхнего слоя почвы, периодический дефицит осадков в послепосевной период и высокая емкость поглощения чернозема отрицательно влияли на эффективность почвенных гербицидов (табл. 2). В варианте с допосевным внесением препарата пропонит наблюдали слабые отличия от контроля по засоренности. Например, биологическая эффективность данного почвенного гербицида за период исследования составила в среднем 40.6%, исключением стал лишь 2014 г., когда биологический эффект препарата достиг 74%. Эффективность препарата мерлин в условиях северной лесостепи была еще менее устойчива и варьировала от 4% в 2013 г. до 88% в 2018 г. В целом гербициды показали слабое снижение засоренности по сравнению с контролем – в среднем за период исследования их биологическая эффективность незначительно превышала 50%.

В 2012–2014, 2016 гг. погодные условия способствовали формированию преимущественно одной выраженной волны всходов сорных растений. В этих условиях не обнаружено существенных различий в биологической эффективности послевсходового гербицида с экраным эффек-

Таблица 2. Влияние гербицидов на засоренность посевов кукурузы (Институт агроэкологии, 2012–2019 гг.)

Вариант	Годы исследования								
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	среднее
	Сухая биомасса сорняков, г/м ²								
Контроль	191	229	488	478	317	269	326	279	322
	Биологическая эффективность, %								
Пропонит	24.1	25.0	73.6	54.2	21.7	45.1	36.2	47.5	40.9
Мерлин	36.9	4.1	34.2	59.7	86.3	75.9	87.9	22.2	50.9
Дублон голд + балерина	95.8	90.4	93.9	85.4	82.1	80.9	82.0	71.3	85.2
Элюмис	94.5	96.4	92.2	84.8	81.5	79.8	77.8	69.6	84.6
Майстер Пауэр	97.1	94.9	97.2	97.3	82.9	88.2	94.3	91.6	92.1
<i>HCP</i> ₀₅	23.4	15.2	16.3	11.3	2.7	3.9	4.4	3.7	

том (препарат майстер Пауэр), с одной стороны, и препаратов с преимущественно трансламинарным действием (дублон голд + балерина, элюмис) – с другой (эффективность препаратов менялась от 82 до 97% по массе сорняков).

Иная ситуация сложилась в 2015, 2017–2019 гг. на фоне периодического увлажнения почвы на протяжении длительного периода. Появление второй волны поздних яровых двудольных видов и третьей волны проса сорного в посевах кукурузы привело к дифференциации послевсходовых гербицидов по биологической эффективности. Массовое прорастание злаковых видов обеспечило преимущество по биологической эффективности варианта с препаратом майстер Пауэр (эффективность гербицида варьировала от 88 до 97%) по сравнению с вариантами, где применяли препараты элюмис и дублон голд в баковой смеси с препаратом балерина: их внесение обеспечило снижение засоренности по сравнению с контролем от 76 до 85%.

Урожайность зерна кукурузы находилась в тесной зависимости от биомассы сорняков на единице площади. Высокая исходная засоренность

посевов привела к формированию низкой урожайности зерна в контроле на протяжении всего периода исследования – в среднем она составила 1.00 т/га (табл. 3).

Анализ хозяйственной эффективности гербицидов показал, что в группу лидеров по урожайности зерна (в среднем за 8 лет – 5.08–5.69 т/га) вошли препараты дублон голд (+ балерина), элюмис, и майстер Пауэр при явном преимуществе последнего препарата. Это связано с многоволновым прорастанием сорняков и их разновозрастным составом, поэтому на сложившемся фоне решающую роль сыграло широкое “окно” действия препаратов.

Погодные условия и засоренность посевов оказали влияние не только на урожайность, но и на темпы развития кукурузы, что стало причиной высокой уборочной влажности зерна (табл. 4). Максимальные величины этого показателя были отмечены в контроле (в среднем 43.8%) и в вариантах с применением почвенных гербицидов (влажность зерна варьировала в среднем от 36.1 до 37.0%). Минимальный уровень влажности зерна в период уборки был отмечен во все годы исследо-

Таблица 3. Влияние гербицидов на урожайность зерна кукурузы (Институт агроэкологии, 2012–2019 гг.), т/га

Вариант	Годы исследования								
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Среднее
Контроль	0.22	2.23	0.47	0.8	0.73	0.46	2.15	0.93	1.00
Пропонит	0.73	3.10	2.53	2.8	1.28	3.21	4.56	2.81	2.63
Мерлин	0.76	3.63	1.60	3.0	5.41	5.11	6.97	1.25	3.46
Дублон голд + балерина	3.03	7.30	3.28	5.8	4.97	5.93	6.53	3.80	5.08
Элюмис	3.16	7.20	2.67	5.8	4.85	5.88	6.89	4.13	5.08
Майстер Пауэр	3.24	7.31	3.62	7.2	5.58	6.13	7.81	4.63	5.69
<i>HCP</i> ₀₅	0.37	0.67	0.40	1.1	0.58	0.58	0.71	0.28	–

Таблица 4. Влияние гербицидов на уборочную влажность зерна кукурузы (Институт агроэкологии, 2012–2019 гг.)

Вариант	Годы исследования								
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Среднее
Контроль	40.0	35.4	45.6	40.2	35.8	48.7	48.1	56.6	43.8
Пропонит	36.0	33.2	35.7	32.8	34.4	41.6	39.7	42.5	37.0
Мерлин	39.4	30.4	36.1	32.6	28.5	35.4	34.3	52.4	36.1
Дублон голд + балерина	28.1	26.4	34.5	31.8	28.0	35.4	33.6	38.1	32.0
Элюмис	27.4	26.4	34.8	32.6	28.6	33.3	34.6	38.1	32.0
Майстер Пауэр	26.0	26.3	34.3	30.4	27.0	32.0	31.7	37.2	30.6

Таблица 5. Экономическая эффективность применения гербицидов при выращивании кукурузы на зерно (Институт агроэкологии, 2012–2019 гг.)

Вариант	Затраты	Валовой доход	Условный чистый доход	Себестоимость 1 т зерна, руб.
	руб./га			
Контроль	9071	3452	–1286	14217
Пропонит	11232	10137	3772	5452
Мерлин	13432	13976	2664	6146
Дублон голд + балерина	15024	28532	13024	4935
Элюмис	15371	28940	13286	4811
Майстер Пауэр	16541	32820	15079	5111

вания в вариантах с применением препарата майстер Пауэр (в среднем 30.6%).

По основным показателям экономической эффективности возделывания кукурузы были выделены варианты, обеспечившие максимальную урожайность зерна кукурузы в сочетании с минимальной влажностью – при применении препаратов майстер Пауэр, элюмис, дублон голд + балерина (табл. 5). В условиях Зауралья эти гербициды показали существенное улучшение основных экономических показателей по сравнению с контролем (минимальная себестоимость зерна в сочетании с максимумом чистого дохода), несмотря на увеличение затрат, связанных приобретением и применением препаратов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В лесостепной зоне Южного Зауралья выбор гербицидов для контроля сорняков в посевах кукурузы и оптимальных сроков их применения зависит от погодных условий вегетации, динамики появления сорняков и особенностей действующих веществ препаратов. Совершенствование последних способствует удлинению периода защитного действия гербицидов и расширяет возможности маневра сроками их применения. Полученные результаты позволяют рекомендовать

применение послевсходовых гербицидов кросс-спектра с экраным эффектом в технологии возделывания зерновой кукурузы по вегетирующим растениям в ранние фазы роста сорняков, что обеспечивает стабильный биологический, хозяйственный и экономический эффект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панфилов А.Э. Биологические и технологические аспекты адаптации зерновой кукурузы в Зауралье // Вестн. ЧГАУ. 2007. Т. 49. С. 65–70.
2. Панфилов А.Э. Проблемы и перспективы выращивания кукурузы на зерно в Зауралье // Вестн. ЧГАА. 2012. Т. 61. С. 115–119.
3. Зезин Н.Н., Панфилов А.Э., Казакова Н.И., Намятов М.А., Цымбаленко И.Н., Гридин В.Ф., Иванова Е.С., Салтанова Р.Д. Кукуруза на Урале. Монография. Екатеринбург, 2017. 204 с.
4. Казакова Н.И. Органогенез и продукционный процесс ультрараннего и раннеспелого гибридов кукурузы в связи со сроками посева в северной лесостепи Зауралья: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Пермская ГСХА им. Д.Н. Прянишникова. Пермь, 2012. 18 с.
5. Спиридонов Ю.Я., Шестаков В.Г. Развитие отечественной гербологии на современном этапе. М.: Печатный город, 2013. 426 с.
6. Панфилов А.Э. Продуктивный потенциал кукурузы и факторы его реализации в лесостепи Южного За-

- уралья: Дис. ... д-ра с.-х. наук. Челябинск: ЧГАУ, 2005. 352 с.
7. *Доронина О.М.* Продуктивность кукурузы в зависимости от степени засоренности // Достижения науки – агропромышленному производству. Мат-лы LIV Международ. научн.-техн. конф. / Под ред. Свечникова П.Г. Челябинск: ЧГАА, 2015. С. 118–122.
 8. *Покатилова А.Н.* Обоснование выбора гербицидов для защиты ярового рапса в условиях северной лесостепи Челябинской области // Достижения науки – агропромышленному производству. Мат-лы LI Международ. научн.-техн. конф. / Под ред. Сергеева Н.С. Челябинск: ЧГАА, 2013. С. 135–140.
 9. *Красножон С.М.* Эффективность применения гербицидов различных классов при возделывании яровой пшеницы // Проблемы аграрного сектора Южного Урала и пути их решения. Челябинск: ЧГАУ, 2006. С. 28–34.
 10. *Панфилов А.Э.* Сценарный подход к контролю засоренности кукурузы в лесостепи Зауралья // Вестн. ЧГАА. 2014. Т. 70. С. 198–204.
 11. *Панфилов А.Э., Цымбаленко И.Н., Синицына О.Б.* Почвенные и листовые гербициды как альтернативные элементы технологии возделывания кукурузы // Вестн. ЧГАА. 2012. Т. 62. С. 106–110.
 12. *Панфилов А.Э., Корыстин Е.С.* Эффективность почвенных и листовых противозлаковых гербицидов в посевах кукурузы // Агро XXI. 2003. № 7–12. С. 46.
 13. *Иванова Е.С.* Обоснование оптимальных сроков применения гербицидов кросс-спектра в посевах кукурузы в Зауралье // Кукуруза и сорго. 2016. № 1. С. 19–24.
 14. *Саитов С.Б., Иванова Е.С.* Оптимальные сроки применения гербицидов кросс-спектра в посевах кукурузы // АПК России. 2016. Т. 23. № 3. С. 682–686.
 15. *Сайбель М.Н.* Оценка токсичности почвы методами биоиндикации после применения гербицидов в посевах кукурузы // Достижения науки – агропромышленному производству. Мат-лы LIV международ. научн.-техн. конф. / Под ред. Свечникова П.Г. Челябинск: ЧГАА, 2015. С. 152–158.
 16. *Матвеева Е.Ю.* Эколого-биологическое состояние чернозема выщелоченного после применения химических средств защиты растений в посевах кукурузы // Сельскохозяйственные науки – агропромышленному комплексу России. Мат-лы Международ. научн.-практ. конф. Южно-Уральский государственный аграрный университет. Челябинск: Южно-Уральский ГАУ, 2017. С. 87–93.
 17. *Панфилов А.Э., Ильин В.С., Саитов С.Б.* Мастер Пауэр в посевах кукурузы // Защита и карантин растений. 2015. № 5. С. 16–17.
 18. *Панфилов А.Э.* Противозлаковые гербициды и их эффективное применение в посевах кукурузы // Нива Урала. 2012. № 7–8. С. 9–10.
 19. Методические указания по проведению полевых опытов с кукурузой. Днепропетровск: ВНИИ кукурузы, 1980. 56 с.
 20. *Роговский Ю.А., Ролев В.С.* О методике государственного сортоиспытания // Кукуруза и сорго. 1991. № 3. С. 36–40.
 21. *Панфилов А.Э., Корыстина Д.С., Корыстин Е.С., Цымбаленко И.Н.* Вредоносность сорняков различных биологических групп в посевах кукурузы // Кукуруза и сорго. 2007. № 6. С. 16–19.

Cross-Spectrum Herbicides in Control of Corn Infestation in the Forest-Steppe of the Southern Trans-Urals

A. E. Panfilov^{a,#}, E. S. Ivanova^a, and N. I. Kazakova^a

^a Institute of Agroecology, Branch of South Ural State Agriculture University
ul. Sovetskaya 8, Chelyabinsk region, Krasnoarmeyskiy district, s. Miasskoe 456660, Russia

[#] E-mail: al_panfilov@mail.ru

The paper substantiates the choice of herbicides for the control of mixed segetal vegetation in maize crops and suggests the optimal timing of their application, taking into account the interaction of external factors. In the field experiment, the effectiveness of 6 herbicides and 3 treatment periods was investigated. The results of the study conducted in 2012–2017 are summarized in the Northern forest-steppe of Southern Trans-Urals: the adjusted parameters of harmfulness biological groups of weeds, the comparative evaluation of biological efficiency of herbicides, the optimum timing of the use of drugs cross-spectrum on the background of unstable moistening of the soil, influence of herbicides on the productivity of maize and harvest grain moisture, identifies an economic effect from the use of herbicides.

Key words: corn, weeds, herbicide, crop, grain, grain moisture, Trans-Urals.

УДК 632.95

ДЕЙСТВУЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА – ОСНОВА ХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

© 2020 г. В. В. Михайликова^{1,*}, Н. С. Стребкова¹, Е. А. Пустовалова¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений Минсельхоза РФ
396030 п. ВНИИСС, 92, Воронежская обл., Рамонский р-н, Россия

*E-mail: vniizr_director@mail.ru

Поступила в редакцию 27.09.2019 г.

После доработки 25.10.2019 г.

Принята к публикации 10.02.2020 г.

Приведены результаты и анализ объемов фактического применения средств защиты растений, как торговых марок, так и их действующих веществ в Российской Федерации. Определена пестицидная нагрузка, проведена классификация по группам пестицидов и химическому строению действующих веществ и выявлен ассортимент наиболее востребованных.

Ключевые слова: объем применения, пестицидная нагрузка, действующее вещество.

DOI: 10.31857/S0002188120050105

ВВЕДЕНИЕ

Широкий ассортимент пестицидов, представленных на современном рынке, ставит перед сельскохозяйственными производителями трудную задачу, решение которой требует прочных знаний биологии вредных организмов, культурных растений и свойств пестицидов. На первом этапе проводят выбор действующего вещества, поскольку на основе одного и того же вещества на рынке могут быть представлены несколько препаратов, при этом основой служат биологическая эффективность пестицида и особенности развития вредных организмов. Качество защитных мероприятий тесно связано с достижениями науки и обеспечением необходимой информацией пользователей средств защиты растений.

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений (ВНИИЗР) ежегодно проводит обработку и анализ статистических данных Министерства сельского хозяйства и Россельхозцентра по фактическому использованию средств защиты растений в Российской Федерации. На основании полученных данных представлены результаты исследований по объемам применения как торговых марок пестицидов, так и их действующих веществ [1, 2].

ОБЪЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ

В 2018 г. было израсходовано 65.05 тыс. т средств защиты растений, пестицидная нагрузка

(по препарату) составила 0.557 кг/га пашни. Основной объем применения пестицидов приходился на гербициды и десиканты, которым соответствовала максимальная нагрузка 0.422 кг/га. Несмотря на увеличение объема работ, пестицидная нагрузка в 2018 г. была почти в 2 раза меньше, чем в 1990 г. (1.0 кг/га).

Проведенные расчеты фактического использования химических средств защиты растений с учетом действующих веществ показали, что общий объем применения составил 19119.17 т. Использовали 229 наименований, на их основе применяли 221 комбинированное соединение, что составило 96.5% от общего объема применения действующих веществ. В общем объеме примененных действующих веществ доля инсектицидов составила 8.1% или 1789.2 т, фунгицидов и протравителей – 24.5% или 5395.9 т, гербицидов и десикантов – 66.7% или 14841.0 т. Комбинированные препараты составили 25.3% или 451.9 т в группе инсектицидов, гербицидов – 26.9% – 3990.1 т, максимальная доля – 64.4% или 3475.5 т в группе фунгицидов и протравителей.

В соответствии с объемом использования, наибольшая пестицидная нагрузка (по действующему веществу) в группе гербицидов и десикантов составила 0.127 кг/га, минимальная – 0.015 в группе инсектицидов, 0.046 кг/га – фунгицидов и протравителей. Пестицидная нагрузка по действующему веществу в общем объеме достигала 0.166 кг/га пашни. Содержание действующих ве-

ществ в препаративных формах в среднем было равно 35%.

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ОСНОВНЫХ ГРУПП ПЕСТИЦИДОВ

Классификация пестицидов по группам обеспечивает более полное их изучение, позволяет прогнозировать появление новых биологически активных форм. Анализ применения основных групп пестицидов проведен согласно классификации по химическому строению действующих веществ [3]. Основные классы действующих веществ инсектицидов составили: фосфорорганические соединения – 41.8, неоникотиноиды – 30.2, синтетические пиретроиды – 13.5, минеральные масла – 9.5, прочие классы – 5.0%. Наиболее востребованы из фосфорорганических соединений: диазинон (препараты Диазинон Экспресс, Диазин Евро, Диазол), диметоат (препараты Би-58 Новый, Данадим, Димет, Дитокс, Рогор-С), хлорпирифос (препараты Пиринекс, Хлорпирифос, Ципи Плюс), малатион (препараты Фуфанон, Карбофос). Препараты, входящие в эту группу, относятся к 1–2-му классу опасности. Из неоникотиноидов востребованы имидаклоприд (препараты Табу, Иמידор) и тиаметоксам (препарат Актара). Из синтетических пиретроидов применяли альфа-циперметрин (препараты Альфашанс, Фастак, Фаскорд, Цепеллин), циперметрин (препараты Шарпей, Арриво, Ципи, Циткор) и лямбда-цигалотрин (препараты Каратэ Зеон, Брейк), относящиеся к 3-му классу опасности. Минеральные масла представлены вазелиновым маслом. К более используемым комбинированным препаратам относятся смеси диметоата и бета-циперметрина (Кинфос), лямбда-цигалотрина и тиаметоксама (Борей), хлорпирифоса и циперметрина (Ципи Плюс). В группе инсектицидов использовали 58 наименований действующих веществ, из них 23 – двухкомпонентные смеси.

Фунгициды и протравители представляют 12 классов основных химических соединений и относятся ко 2–3-му классу опасности. Наибольшую группу составили азолы – 43.6% от общего расхода. Более востребованными были пропиконазол (препараты Альто Супер, Талендо), тебуконазол (препараты Колосаль, Барьер Колор, Редут), ципроконазол (препарат Рекрут), эпоксиконазол (препарат Рекс С). Бензимидазолы составили 15.0% от общего объема применения. Из них применяли карбендазим (препараты Дерозал Евро, Кардон, Комфорт), беномил (препараты Фундазол, Бенорад, Беназол) и тиофанат-метил (препарат Рекс Дуо). Из неорганических веществ ис-

пользовали серу – 3.3% (препараты Кумулус, Микротиол Специаль, Тиовит Джет). Производные дитиокарбаминовой кислоты составили 12.7%, наиболее распространены были манкоцеб (препараты Дитан, Манкоцеб, Пенкоцеб) и тирам (препараты ТМТД, Тир). Соединения меди представляли хлорокись и сульфат меди, которые составили 5.5%. Стробилурины представлены 4.4% (препараты Квадрис, Строби, Зато). К морфолинам относятся спироксамин (в смеси – препарат Фалькон), диметоморф (препараты Акробат Топ, Акробат МЦ) и фенпропиморф (в смеси – препарат Рекс Плюс) которые составили 7.0%. Комбинированные смеси представлены 96 наименованиями, из них 76 – двухкомпонентные и 20 – трехкомпонентные. Наиболее востребованными были комбинации манкоцеб + мефеноксам (препарат Ридомил Голд), меди хлорокись + цимоксанил (препараты Курзат, Ордан, Цихом), пропиконазол + тебуконазол (препараты Колосаль Про, Титул Дуо), пропиконазол + ципроконазол (препарат Альто Супер), спироксамин + тебуконазол + триадименол (препарат Фалькон), тиофанат-метил + эпоксиконазол (препарат Рекс Дуо). Инсектофунгициды представлены в смесях: имидаклоприд + пенцикурон (препарат Престиж), тиаметоксам + мефеноксам + флудиоксонил (препараты Круйзер, Круйзер Рапс, Селест Топ, Селест Макс, Сценник Комби), которые применяют как протравители семенного материала.

Группу гербицидов, десикантов и дефолиантов представляют 15 основных классов, которые относятся ко 2–3-му классу опасности. Производные фосфоновой кислоты (глифосаты) наиболее востребованы и достигли 1/3 объема применения гербицидов – 33.5%. Их представляют более 60 наименований препаратов (Торнадо, Рап, Тайфун, Ураган Форте, Спрут Экстра и др.). Производные хлорфеноксиуксусной кислоты достигли уровня применения 20.5%, представлены 2.4-Д – соли и эфиры (препараты Аминка, Аминопелик, Элант, Эстерон) и МЦПА – соли (препараты Гербитокс, Агритокс, Агрошанс, Агроксон). Производные арилоксифеноксипропионовой кислоты составили 2.8% (препараты Зеллек супер, Пума Супер, Фюзилад Форте, Миура, Пантера). К производным пиколиновой кислоты относится клопиралид, его расход был равен 1.3% (препараты Лонтрел гранд, Лорнет, Лонтрел-300). Циклогександионы представлены клетодимом, его расход <1% (препараты Центурион, Легион, Селектор). Производные сульфонилмочевинны составили 3.5%, из них использовали трибенурон-метил (препараты Артстар, Гранстар Про, Тризлак), метсульфурон-метил (препараты Маг-

нум, Зингер), трифлурсульфурон-метил (препараты Карибу, Кари-Макс, Флуорон). К классу триазинов относятся метамитрон, метрибузин и прометрин, объем их применения составил 7.0% (препараты Голтикс, Зенкор, Лазурит, Гезагард). Класс хлорацетанилидов составил 4.8%, более востребованным был С-Метолахлор (препараты Анаконда, Симба, Дуал Голд). К динитроанилинам относятся диметенамид-Р, пендиметалин, трифлуралин (препараты Фронтьер Оптима, Стомп, Трефлан), их доля – 1.5%. Производные фенилкарбаминовой кислоты представляют десмедифам и фенмедифам, объем их применения – 5.6% (препараты Бетанал, Битап, Бифор, Бицепс 22). Тиadiaзины представлены бентазоном, его расход – 6.0% (препараты Базагран, Корсар). Производное бензойной кислоты – дикамба, его расход составил 2.0% (препараты Банвел, Дианат, СтарТерр).

Группа комбинированных гербицидов включает 70 наименований двухкомпонентных, 17 – трехкомпонентных и 4 – четырехкомпонентных препаратов. Наиболее востребованы двухкомпонентные смеси 2.4-Д + дикамба (эферы), 2.4-Д + флорасулам (препараты Диален Супер, Прима, Балерина, Элант-Премиум), препараты бетанальной группы десмедифам + фенмедифам (препараты Бетан, Бицепс, Бифор) и трехкомпонентные препараты (бетанальная группа в сочетании с этофумезатом).

В Российской Федерации ассортимент используемых зарегистрированных торговых марок

химических средств защиты растений представляют 1489 наименований, из них отечественных – 388, импортных – 1101. Группу инсектицидов составляют 268 наименований, из них наиболее востребованы – 16; фунгицидов и протравителей – 369, востребованы – 33; гербицидов соответственно – 731 и 42.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выборе средств защиты растений важно не только сохранить урожай, но и не нанести ущерб окружающей среде. Это может быть достигнуто только за счет строгого соблюдения норм расхода и сроков применения пестицидов. В целях снижения экономических затрат и соблюдения экологической безопасности при проведении химических обработок рекомендуется использовать многокомпонентные препараты, баковые смеси пестицидов с регуляторами роста, БАВ и микроудобрениями, направленные на повышение иммунитета растений и борьбу с комплексом вредных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. М., 2018. 816 с.
2. Отчеты региональных филиалов ФГБУ “Россельхозцентр” за 2017–2018 гг.
3. Попов С.Я., Дорожкина Л.А., Калинин В.А. Основы химической защиты растений. М., 2003. 191 с.

Active Substances – the Basis of Chemical Plant Protection

V. V. Mikhaylikova^{a, #}, N. S. Strebkova^a, and E. A. Pustovalova^a

^a All-Russian Research Institute of Plant Protection of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation
p. VNIISS, 92, Voronezh region, Ramonsky district 396030, Russia

[#]E-mail: vniizr_director@mail.ru

Brief results and the analysis of volumes of actual application of means of protection of plants, both trademarks, and their active substances in the Russian Federation are resulted. The pesticide load is determined, classification by groups of pesticides and chemical structure of active substances is carried out and the range of the most demanded is revealed.

Key words: scope of application, pesticide load, active substance.

ВЛИЯНИЕ АЛЬГИЦИДОВ НА РОСТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОВОДОРОСЛИ *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Bréb.

© 2020 г. А. В. Лиманцев^{1,*}, М. В. Бидёвкина¹, М. В. Матросенко¹

¹Научно-исследовательский институт дезинфектологии
117246 Москва, Научный проезд, 18, Россия

*E-mail: info@niid.ru

Поступила в редакцию 24.05.2019 г.

После доработки 18.09.2019 г.

Принята к публикации 10.02.2020 г.

Исследовано влияние 2-х альгицидов (бензалкония хлорида и трихлоризоциануровой кислоты) на микроводоросль *Scenedesmus quadricauda*. Показана высокая эффективность подавления роста микроводоросли в культуре. Выявлены различия токсического действия этих веществ, обсуждаются возможные причины этих различий.

Ключевые слова: *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Bréb., микроводоросли, альгициды, биоциды, биотестирование, изоциануровая кислота, трихлоризоциануровая кислота, бензалкония хлорид.

DOI: 10.31857/S0002188120050087

ВВЕДЕНИЕ

Культуру пресноводной хлорококковой микроводоросли *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Bréb. используют в системе природоохранных мероприятий с целью выявления загрязнения (токсичности) водных сред (сточных и природных вод), с ее помощью можно выявлять и уточнять токсичность конкретных веществ и их смесей, например, экстрактов из различных материалов и продуктов, включая радиоактивные [1–9], а также исследовать особенности влияния веществ в сверхмалых (10^{-9} М/л и ниже) концентрациях [10]. Биотесты на основе изучения реакции *Scenedesmus quadricauda* применяют для экспериментального установления класса опасности отходов производства [11].

Также эту микроводоросль можно использовать при определении токсических характеристик веществ, предназначенных для целенаправленного уничтожения водорослей, присутствие которых нежелательно. В частности, представляет собой проблему “цветение” воды в открытых и закрытых искусственных водоемах (плавательных бассейнах, аквапарках, аквариумах, фонтанах, декоративных водоемах). Так как размножение клеток является интегральным и адекватным показателем их состояния [12], для определения различных влияний физической или химической природы используют изменения ростовых характеристик культуры водоросли.

Для временного прекращения роста водорослей используют вещества, применяемые в каче-

стве гербицидов в отношении высших растений, имеющие различный механизм действия, в частности, четвертичные аммониевые соединения (ЧАС), а также вещества, содержащие хлор. Для тестирования целевых свойств таких средств нами была применена оценка их влияния на рост культуры *Scenedesmus quadricauda*. Были проверены 2 средства, предназначенные для предотвращения размножения водорослей в плавательных бассейнах — препараты ААС и МР. В качестве действующего вещества в них использованы соответственно бензалкония хлорид (БХ, алкилдиметил(фенилметил)аммония хлорид, 18%-ный водный раствор) и трихлоризоциануровая кислота (ТХЦК, 95.5% д.в., твердые таблетки).

БХ (мол. м. 340.0 D) представляет собой поверхностно активную четвертичную аммониевую соль, обладающую противомикробной активностью широкого спектра, фунгицидной и фунгистатической, антипротозойной, противовирусной активностью [13]. ПДК БХ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования равна 0.3 г/м³.

ТХЦК (мол. м. 232.4 D) относится к дезинфекционным средствам, активность которых обусловлена образованием в воде хлорноватистой кислоты, в процессе ее распада образуется активная форма кислорода, в результате окисляющего действия которого происходит гибель микробной клетки (в том числе в спорной форме). ТХЦК проявляет также фунгицидную и противовирусную активность. В работе [14] показано, что “пороговые концентрации ... ТХЦК ... практически

совпадают с научно обоснованной величиной ПДК циануровой кислоты в воде водных объектов – 6.0 мг/л”. Можно ожидать, что ПДК ТХЦК будет составлять <1.0 г/м³. Цель работы – исследование альгицидного действия препаратов ААС и МР на культуру *Scenedesmus quadricauda*.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании применяли альгологически чистую культуру *S. quadricauda*, выращенную на среде Успенского № 1 [15]. Для культивирования использовали климатостат Р-2 (производство ООО “Омикрон”, Россия). Так как чувствительность *S. quadricauda* зависит от режима освещения (весна–осень) [1], было использовано стандартное чередование день–ночь по 12 ч (соответствует периоду равноденствия). Освещенность составляла 2.5 кЛк, температура культивирования 20 ± 1°С. Культивирование проводили в пробирках с объемом среды 25 мл. Пробирки прикрывали колпачками из фольги. Равномерность освещения и перемешивание достигали использованием устройств, осуществляющих вращение круглого штатива с пробирками.

Численность клеток определяли методом прямого счета в камере Горяева в 25-ти больших квадратах. Для каждой концентрации препаратов и контроля использовали трехкратную повторность. Каждую повторность подсчитывали в 2-х половинах камеры Горяева.

Для определения альгицидного действия был выбран период наиболее интенсивного размножения клеток (экспоненциальная фаза), поскольку именно в этот период проявляется наибольшая чувствительность культуры к воздействию токсикантов. Альгицидное средство в различных концентрациях добавляли в культуральную среду в фазе экспоненциального роста (недельная культура). Концентрации БХ составляли 0.045, 0.09, 0.45, 0.9, 1.8, 4.5 мг/л (1.3×10^{-7} , 2.6×10^{-7} , 1.3×10^{-6} , 2.6×10^{-6} , 5.2×10^{-6} , 1.3×10^{-5} М/л; максимальное разведение 4.5×10^{-8}). Испытанные концентрации ТХЦК – 0.095, 0.30, 0.95, 3.0, 9.5, 30.0 мг/л (4.1×10^{-7} , 1.3×10^{-6} , 4.1×10^{-6} , 1.3×10^{-5} , 4.1×10^{-5} , 1.3×10^{-4} М/л, максимальное разведение 9.5×10^{-8} , использовали ряд Фульда с инкрементом 3.16).

Общую численность клеток выражали в тыс. кл./мл (или в соответствующих десятичных логарифмах). При изучении БХ и ТХЦК начальные концентрации клеток водоросли составили соответственно 34.7 и 20.5 тыс. кл./мл.

Коэффициент ингибирования ($K_{\text{инг}}$) (в %) вычисляли по формуле:

$$K_{\text{инг}} = 100 \times (N_{\text{контроль}} - N_x) / N_{\text{контроль}}$$

где N – количество клеток в контроле и опыте. Отрицательные величины коэффициента ингибирования соответствовали активации размножения клеток по отношению к контролю.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выбранные начальные концентрации клеток входят в диапазон концентраций, рекомендуемых [16]; при дальнейшем увеличении плотности культуры водоросли чувствительность к токсикантам уменьшается, что ранее было показано для меди, хрома, кадмия, цинка, стрептомицина [17, 18].

Исходное состояние культуры определяли темпом размножения клеток водоросли. В контроле начальное время удвоения (в первые 2-е сут) составляло от 0.8 до 1.3 сут, что указывало на нормальное состояние культуры. Спустя 2 нед скорость размножения уменьшалась, при этом время удвоения составляло от 5 до 9 сут. Численность клеток при этом достигала от 2.4 до 3.7 млн. кл./мл.

Одной из причин замедления скорости размножения клеток *S. quadricauda* с увеличением их численности является изменение величины рН среды. Например, при рН 7.8 время начального удвоения составило около 1.8 сут, при рН 10.0 – около 9 сут. В контроле рН за 8 сут увеличивался с 7.8 до 10.8 за счет фотосинтеза [19]. Свою роль в ингибировании роста клеток в контроле при продолжительном культивировании могли играть также экзометаболиты.

Культура *S. quadricauda* состоит из значительной части покоящихся клеток, которые не участвуют в размножении. Доля размножающихся клеток различна в разные фазы развития культуры и при воздействии различных веществ. Именно на них в относительно низких концентрациях оказывают влияние тяжелые металлы [20]. При этом уменьшение численности клеток по отношению к контролю при воздействии токсиканта может происходить не за счет гибели клеток, а вследствие перехода клеток в покоящееся состояние. Дополнительный вклад в уменьшение численности клеток культуры вносит процесс их лизиса.

Полученные результаты указывали на высокую эффективность изученных веществ в плане подавления размножения клеток водоросли (рис. 1). Например, значительное снижение роста водорослей при применении БХ достигалось при его концентрациях между 1.3×10^{-6} и 2.6×10^{-6} М/л и больше. ТХЦК также действовала в микромолярном диапазоне (между 1.3×10^{-6} и 4.1×10^{-6} М/л и больше). То есть максимальная эффективность этих веществ была практически в одном и том же диапазоне концентраций. Однако имелось и важное отличие в их действии на клетки водоросли.

Если БХ при высоких концентрациях приводил к полному очищению культуры от клеток, то при максимально высоких испытанных концентрациях ТХЦК оставались жизнеспособные клетки; в присутствии ТХЦК размножение этих клеток не происходило. Численность таких клеток составляла порядка 10–20 тыс./мл и оставалась практически неизменной на протяжении 2-х нед. То есть эффект ТХЦК в значительной степени объясняется альгостатическим действием.

При действии обоих веществ обнаружили явление адаптации клеток к токсикантам. Очень ярко это видно на примере БХ. При концентрации вещества 2.6×10^{-7} М/л было заметно значительное уменьшение скорости роста культуры по сравнению с контролем. Однако между 4-ми и 11-ми сутками размножение клеток становилось даже более интенсивным по сравнению с контролем. Величины численности клеток на плато в контроле и при воздействии БХ выравнивались. Усиление размножения клеток между 4-ми и 11-ми сутками наблюдали при более высокой концентрации БХ (1.3×10^{-6} М/л). Однако, в конечном итоге, при такой концентрации токсиканта клетки полностью погибали. В случае ТХЦК также наблюдали процесс адаптации при концентрации 1.3×10^{-6} М/л. При этом вначале происходило торможение роста, хорошо заметное до 2-х суток культивирования, после чего скорость роста становилась практически равной контрольной, а численность клеток спустя 2 нед также достигала уровня контроля. Даже при концентрации ТХЦК 4.1×10^{-7} М/л влияние вещества различалось в разных фазах роста культуры, при этом в течение первых 2-х сут обнаруживалось ингибирование с последующим повышением скорости размножения и достижением контрольной численности клеток в контроле. То есть малые концентрации токсиканта спустя некоторое время вызывали увеличение скорости размножения клеток по сравнению с контролем.

Отмеченные изменения воздействия токсиканта в разных фазах роста культуры были выражены стимуляцией размножения клеток при низких концентрациях и дальнейшем ослаблении размножения при повышении концентрации токсиканта. Такая же закономерность показана для других веществ-поллютантов (например, меди, хрома, серебра; активация роста происходила соответственно при 1.6×10^{-8} , $3.4\text{--}10.2 \times 10^{-6}$, 9.2×10^{-10} М/л) [1, 20]. То есть активация размножения клеток может служить показателем токсического действия вещества.

Учет адаптивного влияния низких концентраций токсиканта предполагает использование заведомо токсичных концентраций с целью предотвратить снижение чувствительности популяций микроводорослей к альгициду.

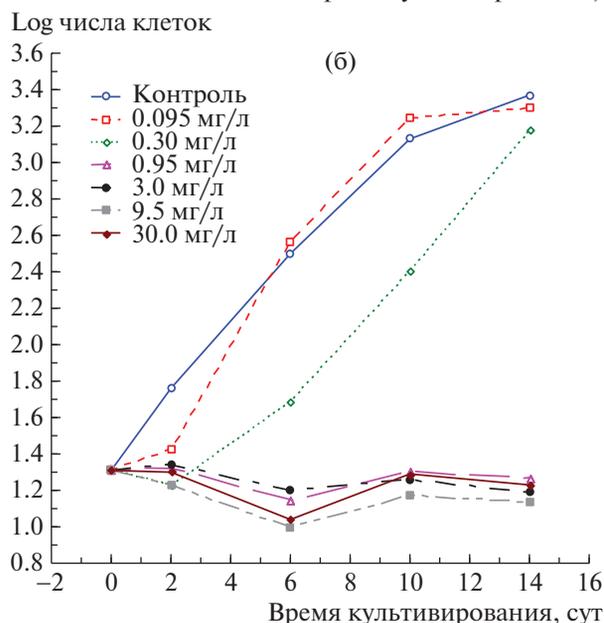
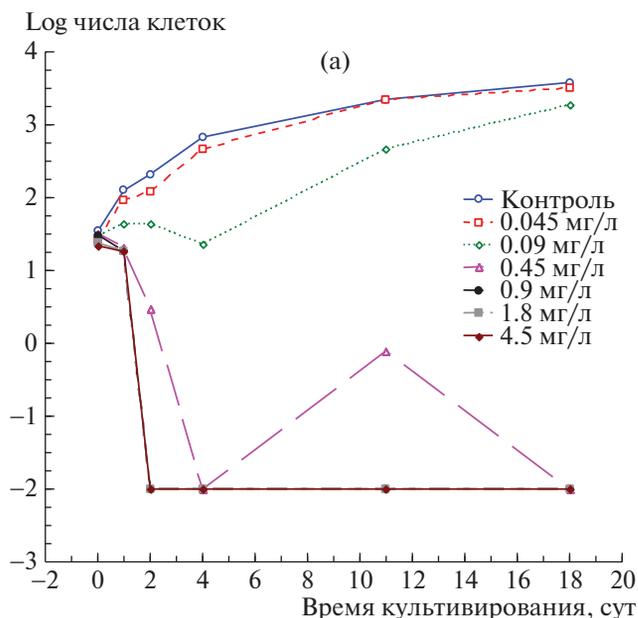


Рис. 1. Рост культуры водорослей при разных концентрациях БХ (а) и ТХЦК (б). На оси ординат 0 соответствует 1000 кл./мл, единичные клетки или полное их отсутствие условно — логарифму-2.

Приведены зависимости ингибирования роста культуры под влиянием БХ и ТХЦК от логарифма концентрации (в тыс. кл./мл) для различных сроков культивирования (рис. 2). Сравнение графиков на рис. 2 указало еще на одно различие влияния БХ и ТХЦК. Например, в случае применения БХ ингибирование роста культуры увеличивалось монотонно по мере возрастания концентрации токсиканта во всем диапазоне времени культивирования, то влияние ТХЦК в начале культивирования практически не зависело от ее concentra-

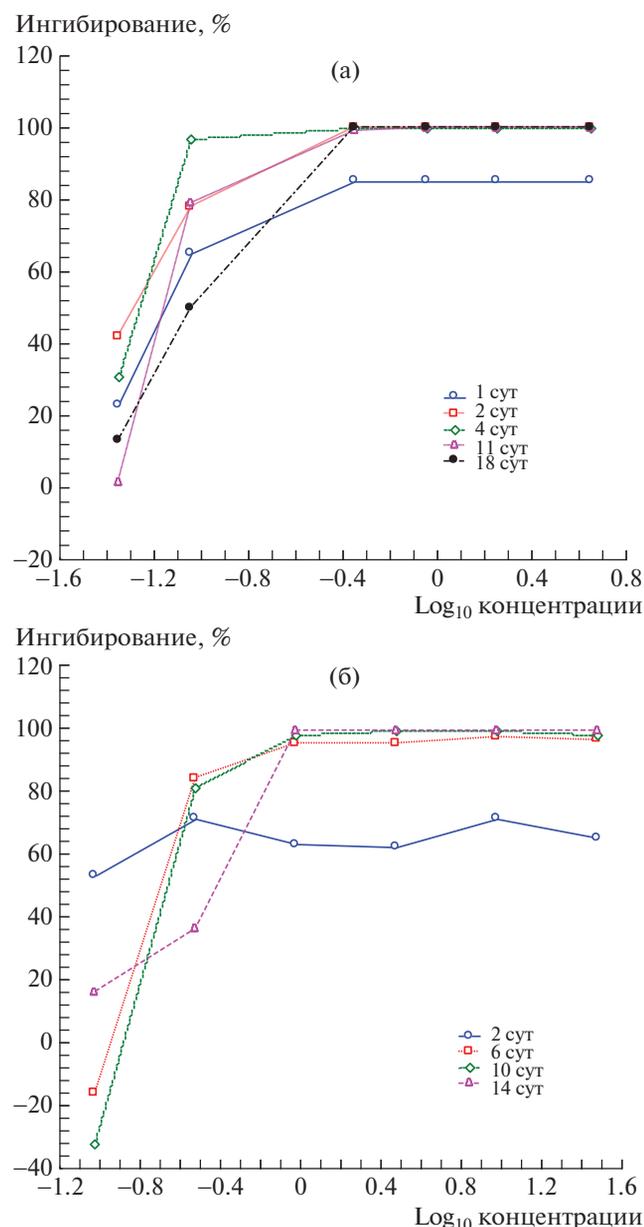


Рис. 2. Зависимость ингибирования роста *S. quadricauda* от концентрации БХ (а) и ТХЦК (б) при различном времени культивирования водоросли.

ции. Это указывало на то, что влияние ТХЦК скорее всего реализуется сложным механизмом, в котором имеется звено, реагирующее по типу “все или ничего” в узком диапазоне концентраций. Причем это звено более чувствительное в сравнении с тем, которое отвечает за “базовую” токсичность. Известно, что ТХЦК содержит в своем составе 3 атома хлора. При растворении ТХЦК в воде хлор отщепляется от молекулы, образуя в воде активный хлор, который оказывает токсическое влияние на водоросль. В то же время при исследованиях на животных не обнаружены

значительные различия токсичности между три- и дихлоризоциануровыми кислотами [14]. Возможно, особенность концентрационной зависимости на 2-е сутки культивирования связана не только с отщепляющимся хлором, но и с влиянием собственно молекулы изоциануровой кислоты: известно, что циануровая кислота высокотоксична в отношении ячменя и редиса [21]. Не исключено, что при этом играет роль также динамика освобождения хлора из состава ТХЦК.

Учитывая, что механизмы действия БХ и ТХЦК различаются, можно ожидать наличие синергичного эффекта при их совместном применении, что можно использовать при создании комплексных альгицидных средств.

Условия культивирования микроводоросли и высших растений близки. При массовом культивировании микроводоросли *Scenedesmus* обычно используют те же соли, что и при выращивании высших растений [22]. Это указывает на возможность использования культуры *S. quadricauda* для тестирования ингибиторов роста (или гербицидов) для высших растений. Данный объект и характеристики его роста можно использовать для экспресс-оценки наличия токсических свойств удобрений, при отборе оптимальных концентраций удобрений и их состава, для контроля эффективности детоксикационных мероприятий, при отборе биостимуляторов и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, показано, что, хотя эффективное ингибирование роста культуры микроводоросли *Scenedesmus quadricauda* испытанными альгицидами достигалось при близких концентрациях, механизм действия этих веществ различался. Например, действие ТХЦК приводило к подавлению размножения клеток. Даже при высоких концентрациях ТХЦК количество клеток водоросли в течение 2-х нед культивирования практически не уменьшалось. В то же время действие БХ приводило не только к прекращению размножения клеток, но и к их полному лизису. Эти особенности следует учитывать при составлении рецептуры альгицидных средств, предназначенных к применению в открытых и закрытых искусственных водоемах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джао Ицзюнь. Влияние изменяющихся токсических нагрузок на структурно-функциональные характеристики водоросли *Scenedesmus quadricauda* в культуре: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, Биол. фак-т, 1994. 19 с.
2. Федосеева Е.В., Сапункова Н.Ю., Терехова В.А. Практическая экотоксикология: оценка чувстви-

- тельности биотест-культур. Уч. пособ. М.: Геос, 2016. 54 с.
3. Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей // Федеральный Реестр. ФР.1.39.2007.03223. 2007. 47 с.
 4. *Духовная Н.И.* Показатели развития фитопланктонных сообществ в водоемах с разным уровнем радиоактивного загрязнения: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Урал. научн.-практ. центр радиацион. медицины, 2011. 22 с.
 5. Методика определения острой токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по изменению оптической плотности культуры водоросли *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Bréb. // ПНД ФТ 14.1:2.4.17-2011. Т 16.1:2:3:18-2011. М., 2011. 28 с.
 6. *Рябухина Е.В., Фомичева Е.М.* Биотестирование и водная токсикология: метод. указания. Ярославль: ЯрГУ, 2012. 53 с.
 7. Оценка токсикологического загрязнения природных вод и донных отложений водных экосистем по коэффициенту регенерации популяции. Рекомендации Р 52.24.695-2007. 20 с.
 8. *Ипатова В.И., Дмитриева А.Г., Дрозденко Т.В.* Сравнительная токсичность солей и наночастиц серебра для микроводоросли *Scenedesmus quadricauda* // Токсикол. вестн. 2016. № 2(137). С. 45–51.
 9. Вода. Определение токсичности с использованием зеленых пресноводных одноклеточных водорослей. ГОСТ Р 54496-2011. М., 2011. 58 с.
 10. *Маврин Г.В., Смирнова Н.Н., Инюшева А.А., Рощина О.С., Павлова Т.А., Фридланд С.В., Мелкозян Р.Г.* Влияние малых и сверхмалых концентраций соединений Этафосф, Амидофосф и Анифосф на динамику численности тест-объектов *Daphnia magna* Straus и микроводоросли *Scenedesmus quadricauda* // Экол. промышл. произ-ва. 2014. № 2(86). С. 39–43.
 11. Об утверждении критериев отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 15 июня 2001 г., № 511. 8 с.
 12. *Прохоцкая В.Ю.* Структурно-функциональные характеристики модельной популяции *Scenedesmus quadricauda* при интоксикации: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, Биол. фак-т, 2000. 24 с.
 13. *Яремчук А.А., Хишова О.М., Половко Н.П.* Микробиологическое обоснование использования бензалкония хлорида в мягкой лекарственной форме для наружного применения // Вестн. фармации. 2012. № 2(56). С. 39–45.
 14. *Печникова И.А.* Сравнительная оценка токсичности и опасности сим-триазинов в воде на примере производных циануровой кислоты и меламина: Дис. ... канд. мед. наук. М.: НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина РАМН, 2013. 133 с.
 15. *Успенская В.И.* Экология и физиология питания пресноводных водорослей: М.: Изд-во МГУ, 1966. 124 с.
 16. *Ипатова В.И.* Влияние размера популяции тест-объекта *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Bréb. на результаты биотестирования // Вопр. совр. альгологии. 2017. № 1(13). С. 8.
 17. *Franklin N.M., Stauber J.L., Apte S.C., Lim R.P.* Effect of initial density on the bioavailability and toxicity of copper in microalgal bioassays // Environ. Toxicol. Chem. 2000. V. 21. P. 742–751.
 18. *Vasseur P., Pandard P., Burnel D.* Influence of some experimental factors on metal toxicity to *Selenastrum capricornutum* // Toxic Assess. 1988. V. 3. P. 331–343.
 19. *Шавырина О.Б.* Токсичность меди для культуры зеленой водоросли *Scenedesmus quadricauda* при флуктуациях уровня активной реакции среды (pH) // Международ. журн. прикл. и фундамент. исслед-й. 2016. № 4-4. С. 741–743.
 20. *Марушкина Е.В.* Исследование состояния популяции водоросли *Scenedesmus quadricauda* в норме и при интоксикации методом микрокультур: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, Биол. фак-т. 2005. 21 с.
 21. The Merck Index. 9th ed. Rahway, New Jersey: Merck & Co., Inc., 1976. 351 p.
 22. *Карякин Д.О., Мальцевская Н.В., Новичева М.В., Кулабухов В.Ю.* Оптимизация питательной среды для культуры *Scenedesmus* sp. // Международ. научн.-исслед. журн. 2017. № 8(62). Ч. 2. С. 10–15.

Influence of Algicides on the Growth Characteristics of the Micro-Alga *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Bréb.

A. V. Limantsev^{a, #}, M. V. Bidevkina^a, and M. V. Matrosenko^a

^aScientific Research Disinfectology Institute of Federal Service in Supervision of Protection of Rights of Consumers and Prosperity of a Man,
Nauchniy proezd 18, Moscow 117246, Russia

[#]E-mail: info@niid.ru

The influence of two algicides (benzalkoniya chloride and trichloroisocyanuric acid) on the micro-alga *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Bréb. is investigated. The high efficiency of the multiplication cells micro-alga suppression in the culture is shown. Differences in the toxic action of these substances are revealed. The possible reasons for these differences are discussed.

Key words: *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Bréb., micro-alga, algicides, biocides, isocyanuric acid, trichloroisocyanuric acid, benzalkoniya chloride.

УДК 632.51:633.11“324”(470.31)

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРОЕНИЯ И ДИНАМИКИ СОРНОГО КОМПОНЕНТА АГРОФИТОЦЕНОЗА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЦЕНТРАЛЬНОМ НЕЧЕРНОЗЕМЬЕ

© 2020 г. Ю. Я. Спиридонов^{1,*}, А. Т. Калимуллин¹, В. А. Абубикеров¹,
И. Ю. Спиридонова¹, Г. С. Босак¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии
143050 Московская обл., Одинцовский р-н, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, влад. 5, Россия

*E-mail: spiridonov@vniif.ru

Поступила в редакцию 15.08.2019 г.

После доработки 31.08.2019 г.

Принята к публикации 10.02.2020 г.

На основе анализа геоботанических описаний сорной растительности, проведенных на многолетнем стационарном поле в Московской обл. в посевах озимой пшеницы в Центральном Нечерноземье РФ, выявлены доминирующие виды. Метеоусловия вегетационного сезона 2016 г. были близкими к среднемуголетним, тогда как погодные условия 2017 и 2018 гг. были экстремальными. В зависимости от года наблюдений отмечена изменчивость количественного состава (от 89 до 161 шт./м²) и развития надземной фитомассы (от 588 до 1179 г/м²) изученных сорных компонентов агрофитоценозов. Преобладание озимых однолетников наблюдали как в теплый и засушливый вегетационный период 2018 г. (51.1% надземной фитомассы), так и в прохладный и дождливый сезон 2017 г. (87.7%). Проведена сравнительная оценка эффективности известных гербицидов в сложившемся ценозе сорняков в посевах озимой пшеницы в условиях вегетационных сезонов 2016–2018 гг.

Ключевые слова: сорная растительность, Центральное Нечерноземье, озимая пшеница, гербициды, засушливый, дождливый и оптимальный вегетационные периоды.

DOI: 10.31857/S0002188120050130

ВВЕДЕНИЕ

Новизна представленного исследования состоит в том, что выявлены особенности формирования сорных ценозов для условий вегетационных сезонов 2016–2018 гг. европейского Нечерноземья, резко отличавшихся гидротермическими показателями. Агрофитоценозы в агроландшафтах формируются как комплексные функционально связанные растительные сообщества культурных и сорных растений. Взаимоотношения растений в агрофитоценозе составляют его существо и содержание, определяющее видовой состав компонентов, строение и развитие [1–4].

Доминантами агрофитоценозов являются высеянные человеком культурные растения, и их роль в создании внутренней среды фитоценоза, его местообитания является решающей. Антропогенный фактор, определяющий особенности местообитания агрофитоценоза, является ведущим, подавляя в некоторых случаях неблагоприятные для растений свойства климата и почвы [5–7].

В этой связи постоянный стационарный мониторинг динамики ценоза сорной растительности (видовой состав, плотность произрастания, распространенность и вредоносность) в посевах сельскохозяйственных культур выявляет состояние агроландшафтов и важен для получения оперативной информации как об ожидаемом уровне засоренности полей наиболее вредоносными сорняками, так и о прогнозируемом от них ущербе для растениеводства в целом [8–11].

Цель работы – продолжение многолетних систематических работ отдела гербологии ВНИИФ в мониторинге состояния агроландшафтов, включающих изучение сорного компонента в посевах зерновых колосовых культур в зависимости от складывающихся погодных условий вегетационного сезона и их влияния на эффективность химических систем защиты растений от сорняков на продуктивность сельскохозяйственных культур для конкретного почвенно-климатического региона РФ.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 2016–2018 гг. в 4-польном экспериментальном стационарном севообороте отдела полевых испытаний ВНИИФ в посевах озимой пшеницы сорта Московская 39, идущей после чистого пара, по общепринятой методике полевых и стационарных гербологических исследований [8–11]. Почва стационарного опытного поля отдела гербологии – типичная для европейского Нечерноземья РФ, дерново-подзолистая средне окультуренная с содержанием гумуса 3.0%, рН_{H2O} 6.1, емкостью катионного обмена (ЕКО) 15 мг-экв/100 г почвы.

В схемы полевых экспериментов были включены как контрольные делянки с естественным ценозом сорняков, так и обработанные различными гербицидами. Площадь каждой учетной делянки составляла 20 м² при рендомизированной пятикратной повторности.

При оценке эффективности химических способов борьбы со сложившимся ценозом сорняков в посевах озимой пшеницы были использованы следующие гербицидные препараты:

1. Дротик, ККР (2,4-Д сложный 2-этилгексильный эфир) в норме 0.8 л/га для борьбы с однолетними и некоторыми многолетними ранневесенними сорняками;

2. Фенизан, ВР (дикамба и хлорсульфурон) в норме 0.2 л/га для борьбы с устойчивыми к 2,4-Д

двудольными, в том числе и некоторыми многолетними видами сорняков;

3. Генсек, ВРК (дикамбы + пиклорам + клопиралид) в дозе 0.25 л/га для борьбы с широким спектром злостных двудольных многолетних сорняков в течение всего периода вегетации культуры.

В соответствии с рекомендованной технологией используемые в экспериментах гербицидные препараты вносили весной в фазе кушения озимой пшеницы ранцевым опрыскивателем с расходом рабочей жидкости 200 л/га.

Для оценки сорного компонента агроландшафтов использовали количественно-весовые методы учета. Уровень засоренности посевов на опытных делянках определяли в традиционные сроки применения гербицидов в изученном регионе и при последующих наблюдениях за эффективностью их применения. В весенний период, когда сорняки находились в ранних фазах развития (2–3 настоящих листа, розетка, начало стеблевания), а также при появлении их новых всходов в период вегетации пшеницы (семядольные листья, фаза 1-го настоящего листа) проводили только количественный учет. В остальные сроки оценки засоренности (через 30, 45 сут после обработки гербицидами и перед уборкой урожая озимой пшеницы) использовали весовой и количественный методы учета (наиболее важный показатель оценки засоренности агрофитоценоза). Во все сроки учетов на учетных площадках разме-

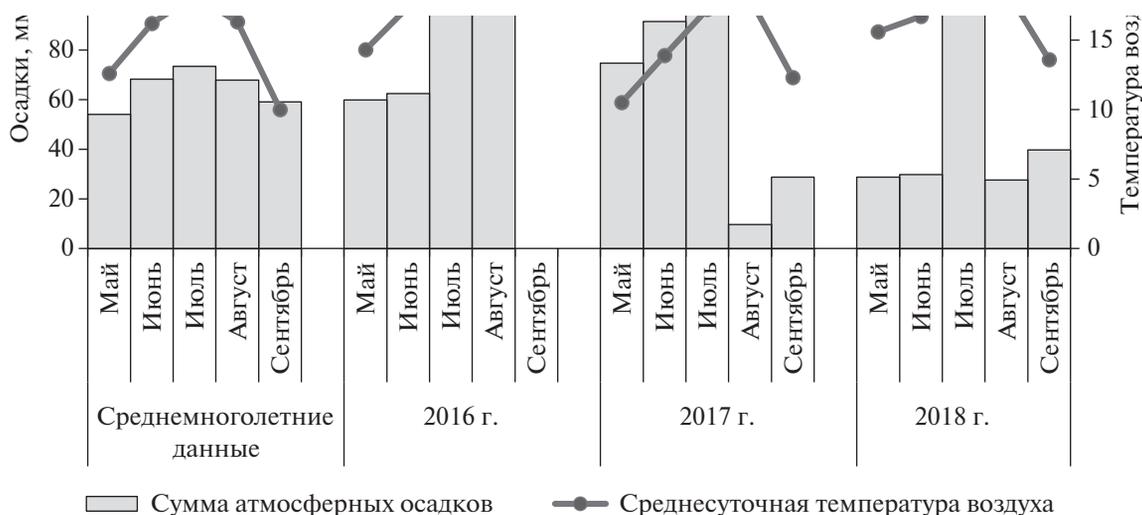


Рис. 1. Климатограммы, характеризующие метеоусловия 2016–2018 гг. в сравнении со среднемноголетними данными (Одинцовский р-н Московской обл.).

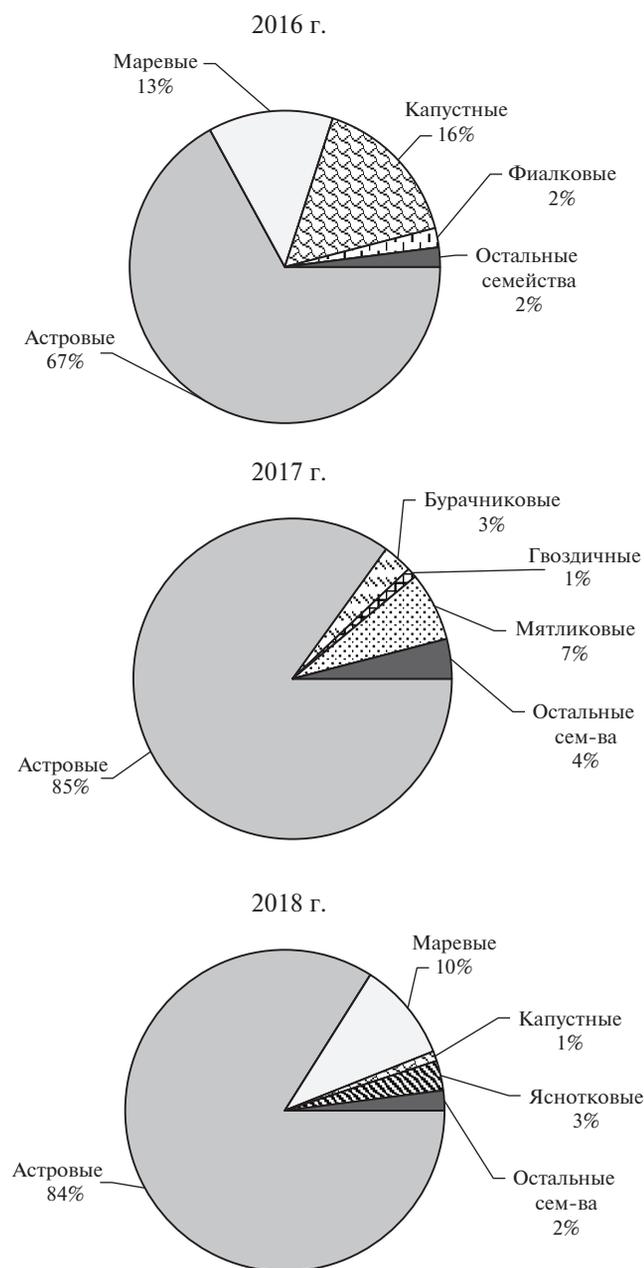


Рис. 2. Доля видов сорняков различных семейств (по величине надземной биомассы) в фитоценозах озимой пшеницы (2016–2018 гг.).

ром 0.5×0.5 м и в пятикратной повторности подсчитывали общее количество сорняков и сырую массу всех надземных органов растений ($\text{г}/\text{м}^2$), а также дифференцированно число особей каждого ботанического вида на 1 м^2 (шт./ м^2). Весовое обилие является наиболее полным и объективным показателем средообразующей роли сорного компонента в структуре агрофитоценоза.

Учет урожая зерна озимой пшеницы проводили в период полной зрелости культуры с помо-

щью малогабаритного комбайна Хеге-125 на всей площади опытных делянок.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Погодные условия 2016 г. были в целом благоприятными для роста и развития как сорной растительности, так и озимой пшеницы (рис. 1). Весь период вегетационного сезона среднесуточная температура воздуха была наиболее близкой к среднемноголетней норме для изученной зоны.

Погодные условия вегетационного сезона 2017 г. отличались от среднемноголетних ранним стаиванием снежного покрова, более низкими температурными показателями и высоким уровнем выпавших атмосферных осадков в течение вегетационного сезона, что привело к высокой влагообеспеченности почвы при относительно низких температурах воздуха. Количество выпавших осадков за сезон было больше среднемноголетней нормы в мае на 20.7, в июне — на 23.3, в июле — на 64.2 мм. В то же время вегетационный период 2017 г. был заметно холоднее: в июне и июле температура воздуха была ниже среднемноголетней на 1.0 и 2.3°C. В этом случае погодные условия затрудняли развитие теплолюбивых сорных видов, таких как марь белая и ежовник обыкновенный.

В мае и июне 2018 г. количество атмосферных осадков было меньше среднемноголетней нормы, а температурные показатели на 2–5°C превышали норму. Июль и август в регионе были теплее обычного на 3–5°C и достаточно хорошо обеспечены осадками, что способствовало нормальному росту и развитию растений как озимой пшеницы, так и сорняков.

При сложившихся различных погодных условиях вегетационных сезонов 2016–2018 гг. в посевах озимой пшеницы сформировались следующие ценозы сорняков: в 2016 г. сорная флора была представлена 18 видами, входящими в 17 родов и 9 семейств; в 2017 г. — 22 вида, 20 родов и 18 семейств; в 2018 г. — 12 вида, 11 родов и 7 семейств (рис. 2). Отмечено, во всех 3-х ценозах преобладали виды сорняков из семейства Астровых, которые в сезоне 2016 г. занимали 67%, а в сезонах 2017 и 2018 гг. — 85 и 84% соответственно. Из других 4-х семейств в сезоне 2016 г. семейство Капустные занимало 15% и Маревые — 13%, в сезоне 2017 г. — Мятликовые — 7%, в 2018 г. — Маревые — 10%. Установлено, что количественные показатели, характеризующие комплекс сорных видов вегетационного сезона 2017 г. (прохладного и дождливого), значительно превосходили параметры сезона



Рис. 3. Состав жизненных форм сорных ценозов (% от общего количества) в посевах озимой пшеницы (2016–2018 гг.).

2018 г., отличавшегося высокими температурами и малым количеством атмосферных осадков.

Биоморфологический спектр сорных сообществ показал, что 45.5% зимующих однолетников было в сезоне 2017 г. и 44.5% — в 2016 г., в то время как в засушливом 2018 г. их доля составила лишь 23% (рис. 3). При этом в период наибольшего развития сеgetальной растительности агрофитоценозов в засушливом 2018 г. по массе преобладали яровые однолетники (53.8%), тогда как в 2016 и 2017 гг. их весовое присутствие менялось в пределах 33.3–36.4%.

В целом за годы исследования на малолетние озимые и яровые виды приходилось 77.8 (2016 г.), 81.9 (2017 г.) и 76.8% (2018 г.) надземной массы, что свидетельствовало об их большой роли в агрофитоценозе (рис. 4).

В фазе колошения озимой пшеницы (3 июня 2016 г., 23 июня 2017 г., 10 июня 2018 г.) наблюдали самый высокий уровень засоренности посевов (588, 664, 1170 г/м² соответственно), при этом в сезоне 2018 г. на зимующий однолетник ромашку непахучую приходилось 28.6% сорной фитомассы, в 2016 г. ее количество составляло 9.6%, а во

влажном и прохладном сезоне 2017 г. достигло 66.0% (рис. 5а). В засушливый и теплый сезон 2018 г. высокой фитомассой отличались василек синий (21.2%) и бодяк полевой (35.5% от общей массы сорняков), а во влажных и холодных сезонах 2016 и 2017 гг. на эти виды приходилось лишь 9.4 и 5.7% соответственно. Более равномерным присутствием компонентов сорного ценоза отмечен сезон 2016 г., наиболее близкий по метеорологическим параметрам к среднемноголетним показателям для региона. При этом наряду с эдификатором сорного ценоза бодяком полевым (35.5% долевого участия вида), довольно значительное количество по массе продуцировали такие малолетние виды, как крестовник обыкновенный (16.8%), пастушья сумка обыкновенная (15.6%) и марь белая (13.3%). По устойчивости, как видно из анализа динамики компонентов, изученные сорные сообщества были ближе к монодоминантным. Число и доля участия в общей массе доминирующих видов были обусловлены прежде всего такими сорными видами как ромашка непахучая, бодяк полевой и василек синий: по 2 года доминировали ромашка непахучая (в контрастных по метеоусловиям 2017 и 2018 гг.)

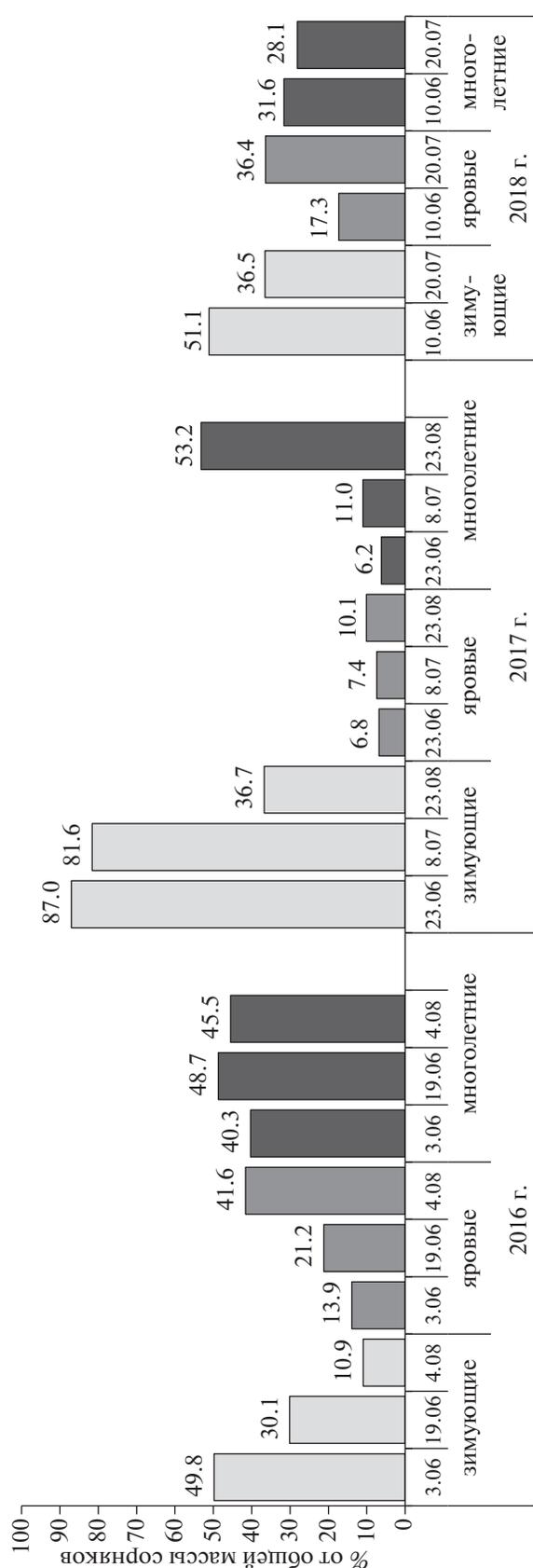


Рис. 4. Соотношение биологических групп сорняков (по биомассе, %) в посевах озимой пшеницы (2016–2018 гг.).

и бодяк полевой (на фоне благоприятного по условиям увлажнения 2016 г. и засушливого 2018 г.). В относительно засушливом сезоне 2018 г. большой надземной фитомассой выделялись марь белая (112 г/м^2) и василек синий (248 г/м^2), а в благоприятном по метеоусловиям 2016 г. значительную сорную массу (92 г/м^2) синтезировал крестовник обыкновенный (рис. 5б).

По времени массового цветения выделены 4 группы сорных видов: 1 – ранневесенние, цветущие в апреле (мятлик однолетний, пастушья сумка обыкновенная, одуванчик лекарственный, мышехвостник маленький, ярутка полевая, проломник северный), 2 – весенние, цветущие в мае (звездчатка средняя, крестовник обыкновенный, ромашка непахучая, фиалка полевая, незабудка полевая, подмаренник цепкий), 3 – раннелетние, цветущие в июне (бодяк полевой, гречишка выюнковая, марь белая, подорожник большой, василек синий, ромашка душистая, жерушник болотный) и 4 – летние, цветущие в июле (горец птичий, осот полевой, пикульник обыкновенный, метлица обыкновенная) (рис. 6).

Таким образом, проведенная в условиях стационарного поля научно-исследовательская работа по особенностям формирования фитоценоза сорной растительности в посевах озимой пшеницы в зависимости от сложившихся гидротермических условий вегетационного периода показала, что погодные условия при всех равных ситуациях играют существенную роль в особенностях выращивания сельскохозяйственных культур.

В этой связи стратегия применения гербицидов, как основного средства борьбы с сорняками, требует грамотного и научно обоснованного подхода не только к правильному выбору препарата (в зависимости от целевого объекта) и нормы его применения, но и учета фазы роста и развития сорных компонентов и культурных растений [9, 10].

Индикатором условий обитания и внутренних взаимоотношений между компонентами фитоценоза является ритм первичного продукционного процесса, отраженный в динамике, составе и структуре сорного сообщества, который может быть использован в практических целях при решении проблемы защиты культурных растений от сорняков.

В наших исследованиях было показано, что в середине вегетационных сезонов 2016 и 2018 гг. в сорной массе преобладали раннелетние виды (64.8 и 49.6% соответственно), а также бодяк полевой (29.8%) и марь белая (9.5%). В сезоне 2017 г., отличавшемся экстремально низкими температурами вегетационного сезона и обильными осад-

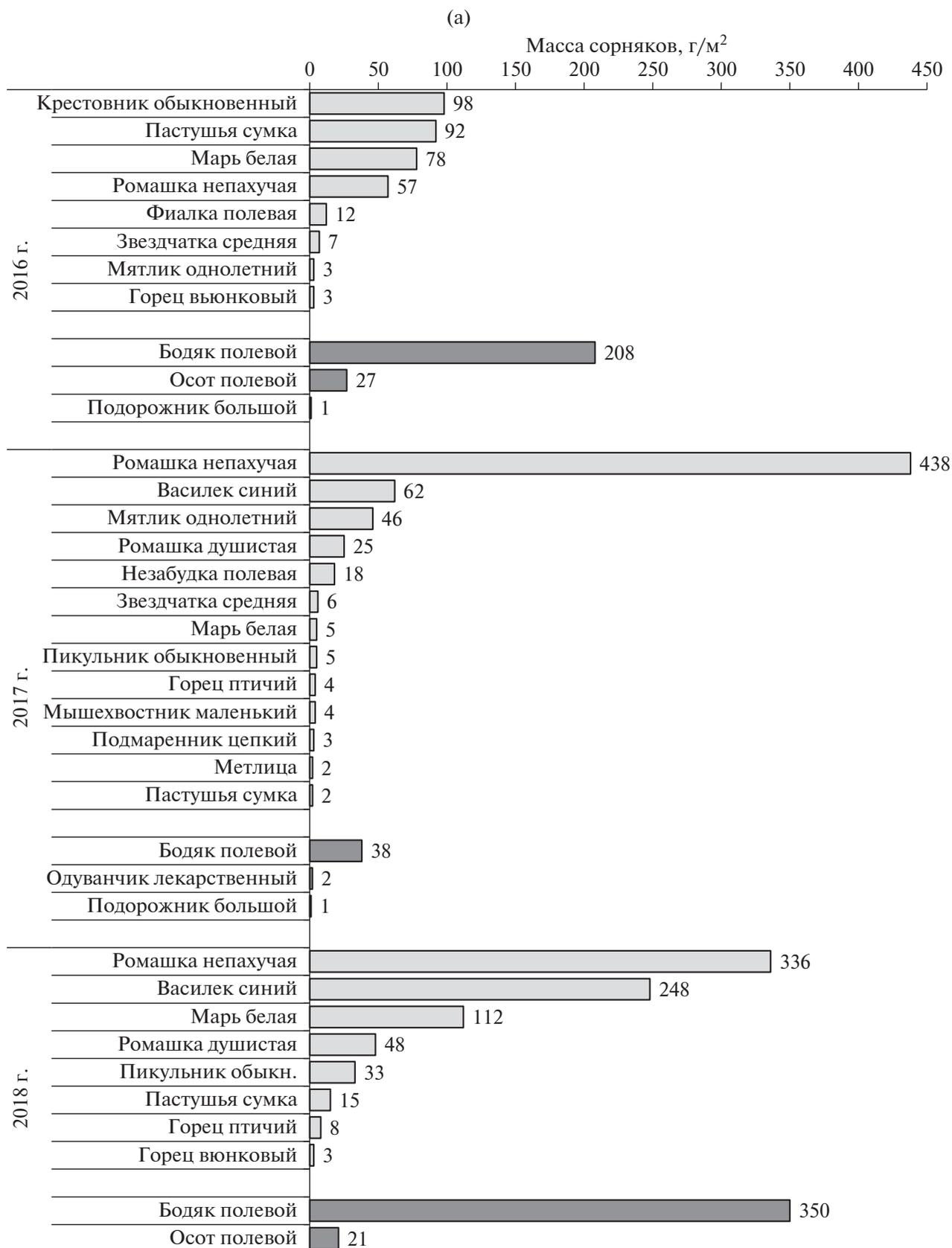


Рис. 5. Соотношения видов сорняков (а) и доминирующих сорных видов (б) в агроценозах озимой пшеницы в середине вегетационного сезона в зависимости от погодных условий вегетационного периода.

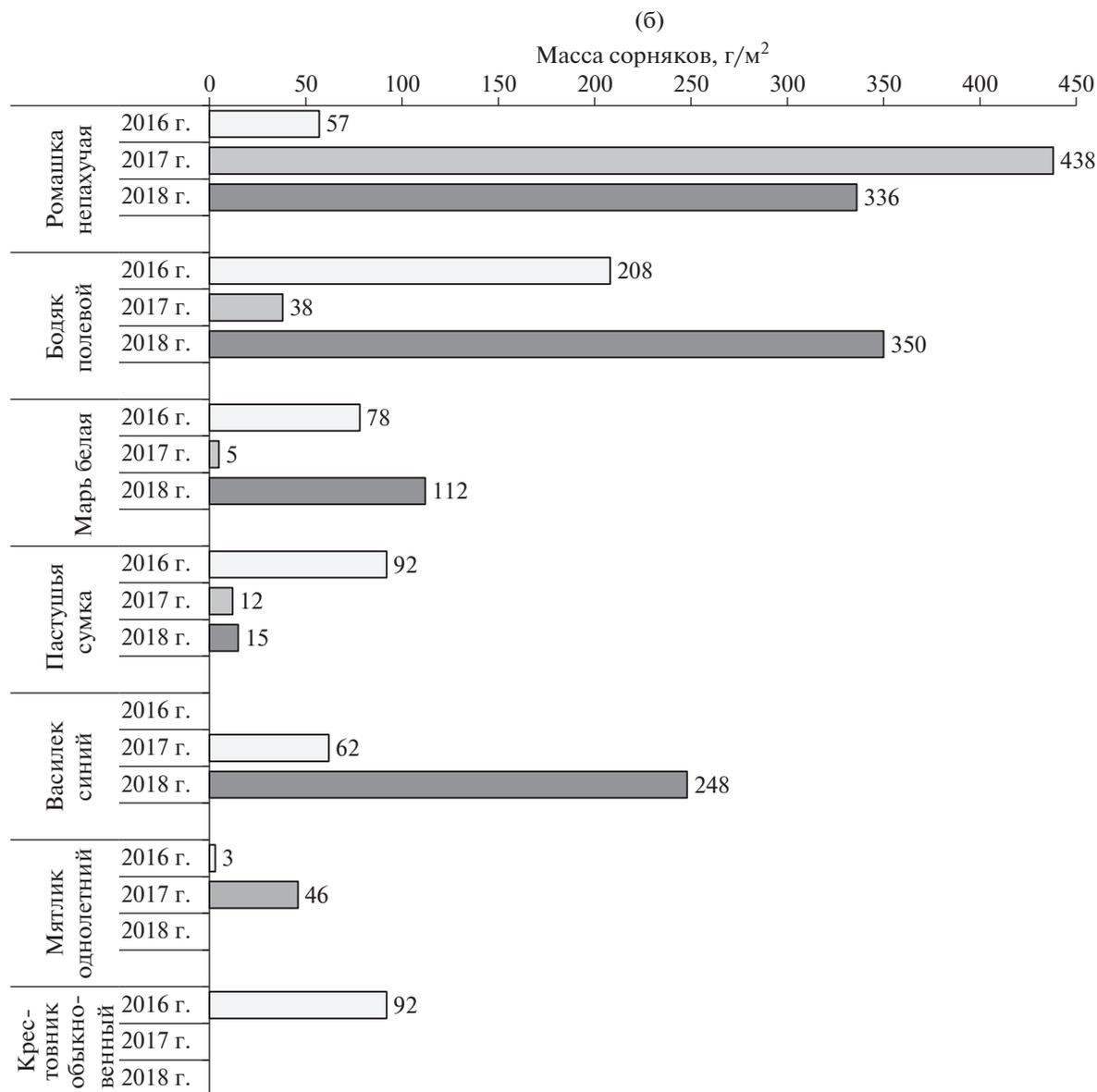


Рис. 5. Окончание

ками в середине сезона, злостный сорняк ромашка непахучая в ценозе занимала 66%, а дополняли структуру сорного ценоза раннелетние виды – василек синий (9.4%), бодяк полевой (5.7%) и ранневесенний мятлик однолетний (7.0%). В целом наибольший вред развитию озимой пшеницы наносили раннелетние сорные виды (особенно василек синий, марь белая и бодяк полевой), за ними по степени вредоносности следовала группа весенних видов (ромашка непахучая и в отдельные годы крестовник обыкновенный), а также ранневесенних видов (в обеспеченные атмосферными осадками годы – пастушья сумка и мятлик однолетний).

Погодные условия вегетационных сезонов 2016–2018 гг. существенно повлияли на урожайность озимой пшеницы, выращенной на постоянном по свойствам почвы и агротехническим приемам стационарном участке: в контроле без каких-либо способов борьбы с сорняками, этот показатель менялся от 30.0 ц/га в относительно холодном и дождливом сезоне 2017 г., до 38.1 ц/га в оптимальном по гидротермическим показателям сезоне 2016 г. (табл. 1). Применение гербицидов положительно влияло на долю сохраненного урожая, но их эффективность менялась в зависимости от гидротермических условий вегетационного сезона.

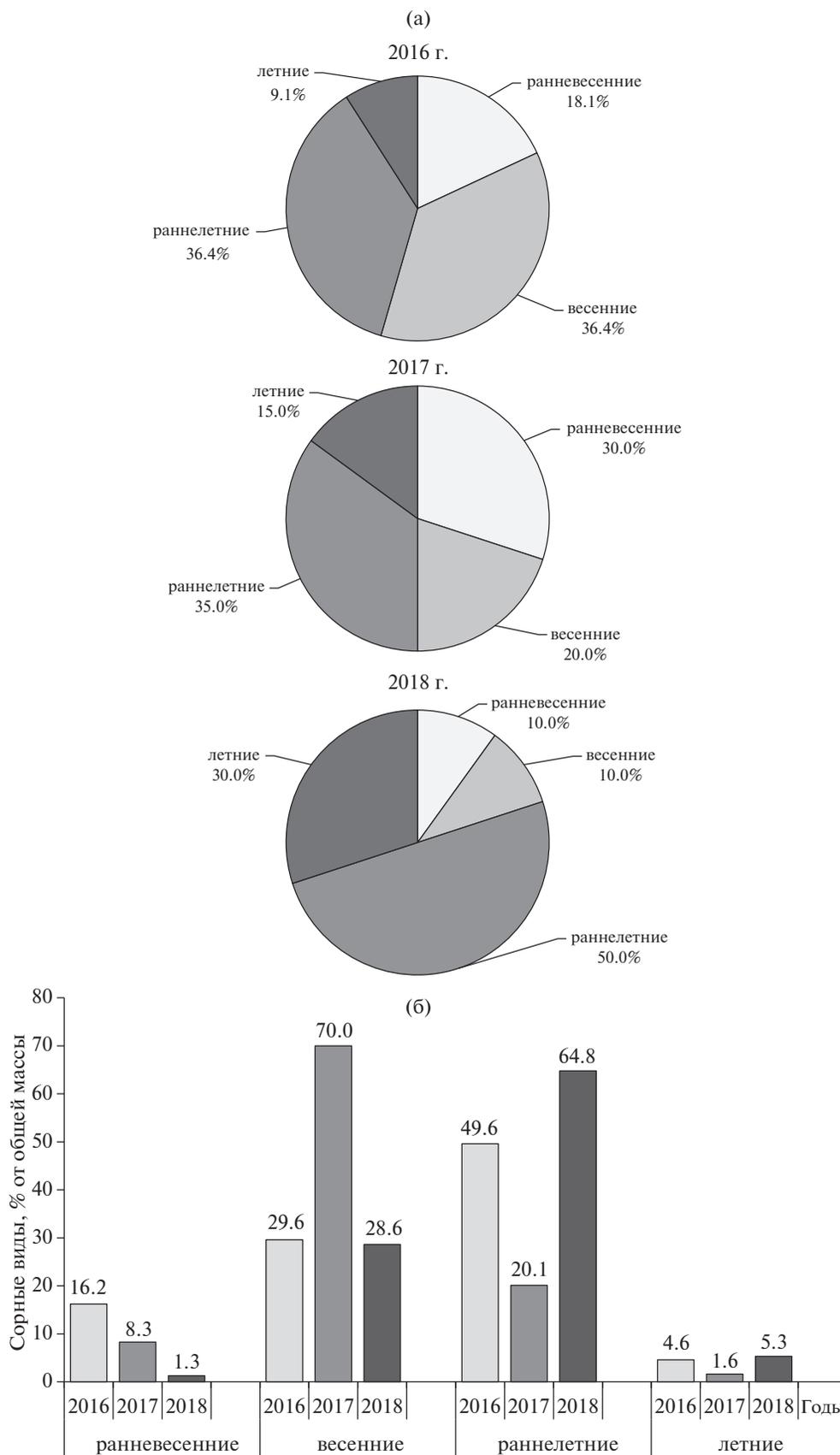


Рис. 6. Фенологический спектр сорных видов (% от общего количества) – (а) и ритм развития сорных видов в посевах озимой пшеницы в середине вегетационного сезона (% от общей биомассы) – (б) в середине вегетационного сезона.

Таблица 1. Влияние погодных условий вегетационных сезонов на урожайность озимой пшеницы сорта Московская 39 в условиях Европейского Нечерноземья РФ (ОПИ, опытный стационар ВНИИФ, Московская обл., 2016–2018 гг.)

Вариант	Доза гербицида, л/га	Снижение засоренности, % к контролю*	Урожайность культуры, ц/га	Защищенная урожайность	
				ц/га	% к контролю
2016 г.					
Фенизан, ВР	0.2	82.5	53.6	15.2	39.9
Генсек, ВГР	0.25	94.3	56.8	18.4	48.3
Дротик, ККР (эталон)	0.8	73.2	46.1	8.7	22.8
Контроль без гербицидов	—	—	38.1	—	—
<i>HCP</i> ₁₀			2.4		
2017 г.					
Фенизан, ВР	0.2	51.4	43.8	13.8	46.0
Генсек, ВГР	0.25	92.1	46.5	16.5	55.0
Дротик, ККР (эталон)	0.8	67.3	38.1	8.1	27.0
Контроль без гербицидов	—	—	30.0	—	—
<i>HCP</i> ₁₀			2.1		
2018 г.					
Фенизан, ВР	0.2	85.4	46.6	12.3	41.0
Генсек, ВГР	0.25	90.3	51.3	17.0	56.7
Дротик, ККР (эталон)	0.8	66.3	44.2	9.9	33.0
Контроль без гербицидов	—	—	34.3	—	—
<i>HCP</i> ₁₀			2.8		

*Учет засоренности проведен через 45 сут после применения гербицидов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для успешного решения проблемы со сложившейся ситуацией с засорением посевов озимой пшеницы в условиях Европейского Нечерноземья РФ следует применять гербицидные препараты с содержанием нескольких действующих веществ как быстрого, так и пролонгированного действия через почву, которые способны контролировать рост и развитие всех видов сорняков в течение всего периода вегетации культуры.

В изученных стационарных условиях наибольшую эффективность в борьбе со сложным многовидовым ценозом сорняков в посевах пшеницы проявил гербицид генсек, ВГР с 3-компонентным содержанием действующих веществ, который в 2 раза превосходил по уровню защищенной урожайности культуры эталонный однокомпонентный гербицид дротик, ККР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марков М.В. Избр. тр. Научн. изд-е. Казань, 2000. С. 343–350.
2. Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Солонец А.И. Современная наука о растительности. М.: Логос, 2001. 264 с.
3. Шпанев А.М., Байбакова Н.Я. Однолетние злаковые сорняки в агроценозах Воронежской области // Земледелие. 2014. № 8. С. 41–43.
4. Шпанев А.М., Голубев С.В. Биоценоз озимых зерновых культур (Юго-Восток ЦЧЗ). СПб., 2008. 284 с.
5. Лулева Н.Н., Никольский А.Н., Бочкарев Д.В. Распространение сорных растений в регионах (на примере Республики Мордовия и Ленинградской области) // Вестн. защиты раст. 2017. № 1(91). С. 33–38.
6. Хохряков А.П. Таксономические спектры и их роль в сравнительной флористике // Бот. журн. 2000. Т. 85. Вып. 5. С. 1–11.
7. Маевский П.Ф. Флора средней полосы Европейской части России. 11-е изд. М.: Товарищ-во науч. изданий КМК, 2014. 635 с.
8. Шмидт В.М. Статистические методы в сравнительной флористике. Л.: Наука, 1980. 176 с.
9. Спиридонов Ю.Я., Ларина Г.Е., Шестаков В.Г. Методическое руководство по изучению гербицидов, применяемых в растениеводстве. М.: Печатный Город, 2009. 252 с.
10. Спиридонов Ю.Я., Соколов М.С., Глинушкин А.П., Каракотов С.Д., Коршунов А.В., Торопова Е.Ю., Са-

раев П.В., Семёнов А.М., Семёнов В.М., Никитин Н.В., Калиниченко В.П., Лысенко Ю.Н. Адаптивно-интегрированная защита растений (монография). М.: Печатный Город, 2019. 616 с.

11. Спиридонов Ю.Я., Шестаков В.Г. Рациональная система поиска и отбора гербицидов на современном этапе. М.: РАСХ–ВНИИФ, 2006. 272 с.

Some Regularities of the Structure and Dynamics of the Weed Component of Winter Wheat Agrophytocenosis in the Central Non-Black Earth Region

**Yu. Ya. Spiridonov^{a,#}, A. T. Kalimullin^a, V. A. Abubikerov^a,
I. Yu. Spiridonova^a, and G. S. Bosak^a**

^a *All-Russian Research Institute of Phytopathology
ul. Institut, bld. 5, Moscow region, Odintsovo district, Bolshye Vyazemy 143050, Russia*

[#] *E-mail: spiridonov@vniif.ru*

Based on the analysis of geobotanical descriptions of weeds, conducted on a long-term stationary field in the Moscow region in winter wheat crops in the Central non-black earth region of the Russian Federation, the dominant species were identified. The weather conditions of the 2016 growing season were close to the average long-term, while the weather conditions of 2017 and 2018 were extreme. Depending on the year of observations, the variability of the quantitative composition (from 89 to 161 pieces/m²) and the development of aboveground phytomass (from 588 to 1179 g/m²) of the studied weed components of agrophytocenoses was noted. The predominance of winter annuals was observed both in the warm and dry growing season of 2018 (51.1% of above-ground phytomass) and in the cool and rainy season of 2017 (87.7%). A comparative assessment of the effectiveness of known herbicides in the established weed cenosis in winter wheat crops in the conditions of the 2016–2018 growing seasons was carried out.

Key words: weeds, Central non-black earth, winter wheat, herbicides, dry, rainy and optimal growing periods.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФИТОСАНИТАРНОЙ СИТУАЦИИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ ПРОТИВ КОЛОРАДСКОГО ЖУКА И РИЗОКТОНИОЗА В ПОСАДКАХ ЦВЕТНЫХ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ

© 2020 г. А. А. Малюга^{1,*}, Н. С. Чуликова¹, Н. Н. Енина¹

¹Сибирский научно-исследовательский институт земледелия и химизации сельского хозяйства СФНЦА РАН 630501 р.п. Краснообск, Новосибирский р-н, Новосибирская обл., Россия

*E-mail: anna_malyuga@mail.ru

Поступила в редакцию 29.12.2019 г.

После доработки 29.01.2020 г.

Принята к публикации 10.02.2020 г.

Представлены данные об особенностях формирования фитосанитарной ситуации в посадках цветных сортов картофеля (Purple Majesty, Vitelotte и Фиолетовый) в отношении ризоктониоза и колорадского жука в условиях Западной Сибири. Более всего повреждались вредителем растения сорта Vitelotte (33.2–63.9%), менее – сортов Purple Majesty и Фиолетовый (16.0–36.3 и 28.6–55.0% соответственно). Наименьшая численность гриба *R. solani* в почве отмечена в посадках сорта Фиолетовый (33.3 споры/100 г почвы), у сортов Purple Majesty и Vitelotte данный показатель был равен 40.4–41.5 споры/100 г почвы. Развитие заболевания на растениях сорта Vitelotte было равно 22.3–44.8, сорта Фиолетовый – 27.0–53.0, сорта Purple Majesty – 45.5–47.8%. Распространенность склероциальных форм черной парши на клубнях сорта Purple Majesty составила 44.5, Фиолетовый – 39.0, Vitelotte – 28.9%. Протравливание клубней перед посадкой препаратом селест Топ сократило численность колорадского жука практически до нуля, а опрыскивание посадок препаратом фастак в период вегетации – в 1.5 раза на сортах Purple Majesty и Vitelotte, и в 2.7 раза на сорте Фиолетовый. Протравливание семенных клубней перед посадкой препаратом селест Топ позволило существенно снизить количество выпадов всходов и развитие ризоктониоза на растениях в период вегетации.

Ключевые слова: картофель, цветные сорта, фитосанитарная ситуация, инсектицид, инсектофунгицид, ризоктониоз, колорадский жук, продуктивность.

DOI: 10.31857/S0002188120050099

ВВЕДЕНИЕ

Вредители и болезни растений, сорные растения наносят огромный экономический ущерб деятельности человека в сельском и лесном хозяйствах. По данным ФАО, потери урожая сельскохозяйственной продукции, несмотря на предпринимаемые человеком меры по ее защите, достигают 30% [1].

Один из наиболее эффективных, экологически безопасных и экономически выгодных способов стабилизации фитосанитарного состояния посадок картофеля – правильно подобранный сорт, который за счет своих биологических особенностей и антропогенных воздействий полностью реализует свой потенциал в почвенно-климатических условиях региона возделывания. Защита растений является одним из важных резервов в повышении урожайности картофеля и качества полученной продукции. Однако реакция сортов на средства химизации может быть

различной, т.к. они по-разному реагируют на вред, наносимый им фитофагами и фитопатогенами [2, 3]. Сорта, обладая неравноценной устойчивостью к воздействию вредящих организмов, специфичностью экологических связей с окружающей средой, требуют индивидуального подхода при выборе каждого агротехнического приема выращивания, в том числе и к системе защитных мероприятий [4, 5].

Стремясь к получению стабильно высоких урожаев картофеля надлежащего качества при снижении затрат на их производство и уменьшении отрицательных действий на окружающую среду, необходимо связать в единое целое преимущества современных сортов, адаптированных агротехнических приемов возделывания, методов биологической и химической борьбы с вредными организмами. Определив основные закономерности этих взаимодействий и их параметры, мож-

но определить роль каждого используемого приема в их изменении, что позволит создать эффективные технологии как с экономической, так и с экологической точки зрения.

Биоэкологические особенности основных организмов, вредящих картофелю в условиях Западной Сибири, таковы, что использование отдельных защитных мероприятий малоэффективно. В этом случае необходим комплексный подход в борьбе с ними, включающий в себя использование сортов, агротехнических мероприятий, и инсектицидов нового поколения. Использование этих базовых элементов позволит оптимизировать фитосанитарную ситуацию при производстве картофеля в условиях региона, в том числе и цветных сортов.

В последнее десятилетие можно наблюдать мощный всплеск новых селекционных направлений. Довольно популярное среди них – работа с сортами картофеля, характеризующимися разноцветной мякотью: фиолетовой, красной, синей, розовой и оранжевой. Самыми первыми представили подобные сорта сотрудники южнокорейского Национального университета Кангвона на Международном конгрессе и отраслевой выставке в 2007 г. Сегодня разноцветный картофель выращивают и селекционируют во многих странах мира [6].

Селекционным материалом для картофеля, содержащего антоцианы, стали подвиды картофеля, в диком виде произрастающие на территории Южной Америки. Клубни этих растений тоже окрашены в разные цвета, но характеризуются мелкими размерами. Удивительную цветовую гамму обуславливает биохимический состав картофеля. В разноцветных клубнях крахмала меньше, чем в белых, зато содержится больше инулина. Основное отличие, впрочем, другое: в цветных клубнях присутствуют каротиноиды, флавоноиды и антоцианы. В клубнях с белой мякотью содержится 50–100 мг каротиноидов/100 г картофеля, с ярко-желтой – до 200 мг. Оранжевые и красные внутри клубни включают больше всего этого вещества – 509–2000 мг. В красных, фиолетовых или синих клубнях в 2 раза больше флавоноидов, чем в желтых или белых.

Клубни с фиолетовой мякотью – богатый источник антоцианов, в частности, их ацилированных производных. У сортов картофеля обнаружены производные антоцианидинов – петунидина, пеларгонидина, пеонидина и мальвидина. В окрашенных клубнях содержание антоцианов сопоставимо с таковым в чернике, ежевике, клюкве и красном винограде – культур, в которых эти со-

единения синтезируются в наибольшем количестве. При этом флавоноиды в основном накапливаются в картофельной кожуре, богатой веществами, которые представляют фармакологический интерес. Важно, что после кулинарной обработки количество антоцианов либо снижается незначительно, либо не изменяется. То же происходит и при хранении картофеля [7, 8].

Клинические исследования в США показали, что наличие таких растительных пигментов дает возможность при регулярном употреблении в пищу разноцветного картофеля заметно снизить развитие атеросклероза и онкологических заболеваний, улучшить зрение и укрепить стенки кровеносных сосудов. Сок некоторых сортов разноцветного картофеля обладает антибактериальными свойствами. Эти сорта употребляют только сырыми, в качестве лекарства при заболеваниях желудочно-кишечного тракта [9–13].

Было замечено, что цветные сорта картофеля более устойчивы к неблагоприятным погодным условиям. Их чаще выращивают в северных районах США, Канады, в Скандинавии и даже на Аляске. Все они ранние или среднеранние, со сроком сбора урожая от 70 до 100 сут после посадки, что позволяет им созреть в суровых северных условиях [14–16]. Селекция цветных сортов – привилегия не только Кореи, им занимаются и в США, и в России, и в ближнем зарубежье [6, 17, 18].

Несмотря на возрастающую популярность цветных сортообразцов, работ по изучению фитосанитарного состояния в отношении болезней грибной этиологии и вредителей, а также разработке систем рационального применения современных средств защиты растений в посадках подобных сортов в нашей стране и мире практически нет. Например, характеристика цветного сорта Фиолетовый ограничивается информацией о его умеренной устойчивости к ризоктониозу и парше обыкновенной [18]. Окраска кожуры клубня цветных сортов картофеля (розовая, красная, красно-, сине- и темно-фиолетовая), мякоти клубня (красная и фиолетовая, сплошная или очаговая, разной насыщенности), глазков и цветков (красная и синяя, неодинаковой интенсивности), листьев и стеблей (от слабой до очень интенсивной) обусловлена антоцианами. Данные пигменты участвуют в защите фотосинтетического аппарата и цитоплазматической мембраны клетки, нейтрализуют свободные радикалы, предохраняя от их неблагоприятного воздействия, повышают эффективность усвоения фосфора и азота, способствуют усилению осморегулирующей функции, снижают температуру замерзания содержимого клетки, обеспечивают хелатирование

и секвестирование ионов тяжелых металлов. Эти свойства в том или ином сочетании позволяют растениям приспособиться к неблагоприятным условиям – избыточному УФ-излучению, засухе, экстремальным температурам, засолению почвы, дефициту фосфора и азота, токсическому действию гербицидов и ионов тяжелых металлов [7]. Также антоцианы обладают антимикробной активностью [19, 20]. Например, показан их существенный вклад в устойчивость картофеля к “черной ножке” – гнили *Pectobacterium carotovorum*: на срезах клубней с фиолетовой мякотью площадь поражения была в среднем на 28.6% меньше, чем у картофеля с желтой мякотью [21]. В растительных тканях в зоне инфицирования происходило быстрое окисление фенольных соединений, в том числе антоцианов, с последующей лигнификацией, суберинизацией и программируемой гибелью клеток.

Из потребительских качеств картофеля как продовольственной культуры наибольшее значение имеет содержание антоцианов в клубнях и особенно в их мякоти. Известно, что антоцианы, поступающие с растительной пищей, могут предупреждать сердечно-сосудистые заболевания, сахарный диабет II типа, артрит, ожирение, патологии зрения, различные виды рака и нейродегенеративные заболевания, обладают противовоспалительным действием. Молекулярные механизмы, лежащие в основе этих свойств, до конца не ясны [7, 9, 12, 13].

Для Западной Сибири сорта цветного картофеля являются новыми, и характеристика фитосанитарной ситуации в их посадках в литературных источниках отсутствует. В связи с вышесказанным, цель работы – выявить закономерности формирования фитосанитарной ситуации в посадках цветных сортов картофеля и определить биологическую эффективность химических препаратов в отношении колорадского жука и ризоктониоза.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Методологической основой работы был системно-альтернативный подход, реализованный в 2-факторном полевом эксперименте [22]. Исследование проведено на полях стационара СибНИИЗиХ СФНЦА РАН Новосибирской обл., почвенно-климатические условия которого типичны для лесостепной зоны Западной Сибири. Основные элементы технологии возделывания картофеля соответствуют общепринятым для данного района [23]. Агротехника картофеля включала зяблевую безотвальную обработку, ран-

невесеннее боронование, культивацию (15–20 см), нарезку гребней. Посадку клубней производили в борозды с последующим закрытием почвой. Уход за посадками включал гербицидные и междурядные обработки, окучивание, обработки в период вегетации против вредителей и болезней. Перед уборкой была проведена десикация ботвы препаратом реглон Супер, ВР (150 г/л, норма расхода 2 л/га). Уборку проводили картофелекопалкой. Опыт закладывали согласно методике проведения полевых исследований [24].

Для изучения особенностей формирования фитосанитарной ситуации в посадках цветных сортов картофеля в отношении колорадского жука и ризоктониоза 1/3 площади посадок была обработана в фазах всходов и созревания инсектицидом на основе альфа-циперметрина (препарат фастак, КЭ, 100 г/л, норма расхода 0.1 л/га), вторая часть посадок была защищена от колорадского жука и ризоктониоза путем протравливания посадочных клубней инсектофунгицидом на основе тиаметоксама, дифенокназола и флудиоксонила (препарат селест Топ, КС, 262.5 г/л + 25 г/л + 25 г/л, норма расхода 0.4 л/т) [25]. Третью часть возделываемого картофеля выращивали без защитных мероприятий (контроль). В опыте изучали 3 цветных сорта картофеля: Purple Majesty, Vitelotte и Фиолетовый.

Повторность опыта двухкратная, количество растений в повторности – 20 шт. Густота посадки – 35.7 тыс. растений/га, площадь питания – 0.4 × 0.7 м.

Эксперимент проводили на фоне естественного заселения посадок колорадским жуком (*Leptinotarsa decemlineata* Say.) и естественном инфекционном фоне ризоктониоза (*Rhizoctonia solani* Kühn.).

Наблюдения за фенологией растений и колорадского жука, а также динамикой численности вредителя и степенью поврежденности им растений вели в полевых условиях по общепринятым методикам [26–29]. Учеты проводили еженедельно в течение всего периода вегетации картофеля. Определяли численность имаго, кладок яиц, личинок вредителя, без удаления их с растений. Учет пораженности растений картофеля ризоктониозом проводили через 4, 10 нед после посадки культуры по методике [30]. Уборка картофеля была сплошной, урожайность определяли весовым методом [27].

Статистическая обработка полученных данных проведена с помощью пакета прикладных программ СНЕДЕКОР [31].

Таблица 1. Фенокалендарь развития колорадского жука на цветных сортах картофеля (средние за 2017–2019 гг.)

Месяц									
май		июнь			июль			август	
декада									
3-я	1-я	2-я	3-я	1-я	2-я	3-я	1-я	2-я	3-я
Первое поколение									
(+)	(+)	(+)							
		+	+	+	+	+			
			*	*	*	*	*		
				–	–	–	–	–	–
					0	0	0	0	0
						+	+	+	+
									(+)
Второе поколение									
							*	*	*

Примечание. Условные обозначения: (+) – имаго в недеятельном состоянии, + – имаго, * – яйцекладка, прочерк – личинка, 0 – предкуполка и куполка.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Развитие колорадского жука на сортах Purple Majesty, Vitelotte и Фиолетовый было сходно. В условиях региона вредитель развивается на растениях картофеля цветных сортов в 2-х поколениях (2-е – неполное). Первые перезимовавшие имаго на посадках картофеля появлялись во 2-й декаде июня, где они питались до 3-й декады июля. После непродолжительного питания они приступали к откладке яиц в 3-й декаде июня. Яйцекладка продолжалась до 1-й декады августа. Отрождение личинок в среднем отмечено через 7 сут от момента обнаружения первой яйцекладки. Данный процесс начинался с начала 1-й декады июля и заканчивался в 3-й декаде августа (после десикации растений). На окукливание личинки уходило со 2-й декады июля. К 3-й декаде июля заканчивалось развитие 1-го поколения, и начинался выход имаго нового поколения. Имаго 1-го поколения активно питались на растениях картофеля и через несколько суток приступали к спариванию и откладке яиц. Яйцекладка продолжалась с 1-й по 3-ю декаду августа. На момент десикации картофеля на растениях преобладали личинки 3–4-го возраста, имаго 1-го поколения и яйцекладки (табл. 1).

В посевах всех цветных сортов картофеля зафиксированы 2 пика подъема численности фитофага (имаго и личинок всех возрастов) (рис. 1а). Первый пик был связан с массовым отрождением личинок и в основном зафиксирован в фазе цве-

Таблица 2. Распространенность форм ризоктониоза на клубнях картофеля цветных сортов в лесостепи Западной Сибири (средние за 2017–2019 гг.), %

Формы ризоктониоза	Сорт		
	Purple Majesty	Vitelotte	Фиолетовый
Несклероциальные формы			
Сетчатый некроз	86.5	60.4	89.4
Углубленная пятнистость	18.3	0.4	10.2
Трещины	4.1	0	4.7
Уродливость	0.4	0	1.3
Склероциальные формы			
Всего	44.5	28.9	39.0
Склероции на 1/10 поверхности клубня	36.1	23.5	35.7
Склероции на 1/4 поверхности клубня	7.7	5.4	3.3
Склероции на 1/2 поверхности клубня	0.7	0	0

тения. Второй пик фитофага приходился на время фазы созревания культуры, и он в основном определялся массовым выходом имаго летнего поколения из почвы (несмотря на то, что в посадках в этот момент присутствовали и личинки). Численность первых перезимовавших имаго, появившихся в 3-й декаде июня на сортах Purple Majesty, Vitelotte и Фиолетовый, составила 0.1–0.3 экз./растение. Максимальное количество личинок на сортах Purple Majesty и Vitelotte отмечено в фазе цветения картофеля (1-я декада июля) – от 4 до 5.3 экз./растение, а на сорте Фиолетовый – в фазе созревания (2-я декада июля) – 6.8 экз./растение.

Следующий максимум численности насекомых (имаго и личинок) был зафиксирован в фазе созревания: на сорте Vitelotte (3-я декада июля) – 4.9, на сортах Фиолетовый и Purple Majesty (1-я декада августа) – 5.1 и 8.2 экз./растение соответственно. В среднем за вегетационный период существенной разницы в численности вредителя между цветными сортами не отмечено (рис. 1б).

Степень повреждения растений напрямую зависела от численности колорадского жука на растениях картофеля. Более всего повреждались растения сорта Vitelotte (3.8 балла или 33.2–63.9%). У сортов Purple Majesty и Фиолетовый степень

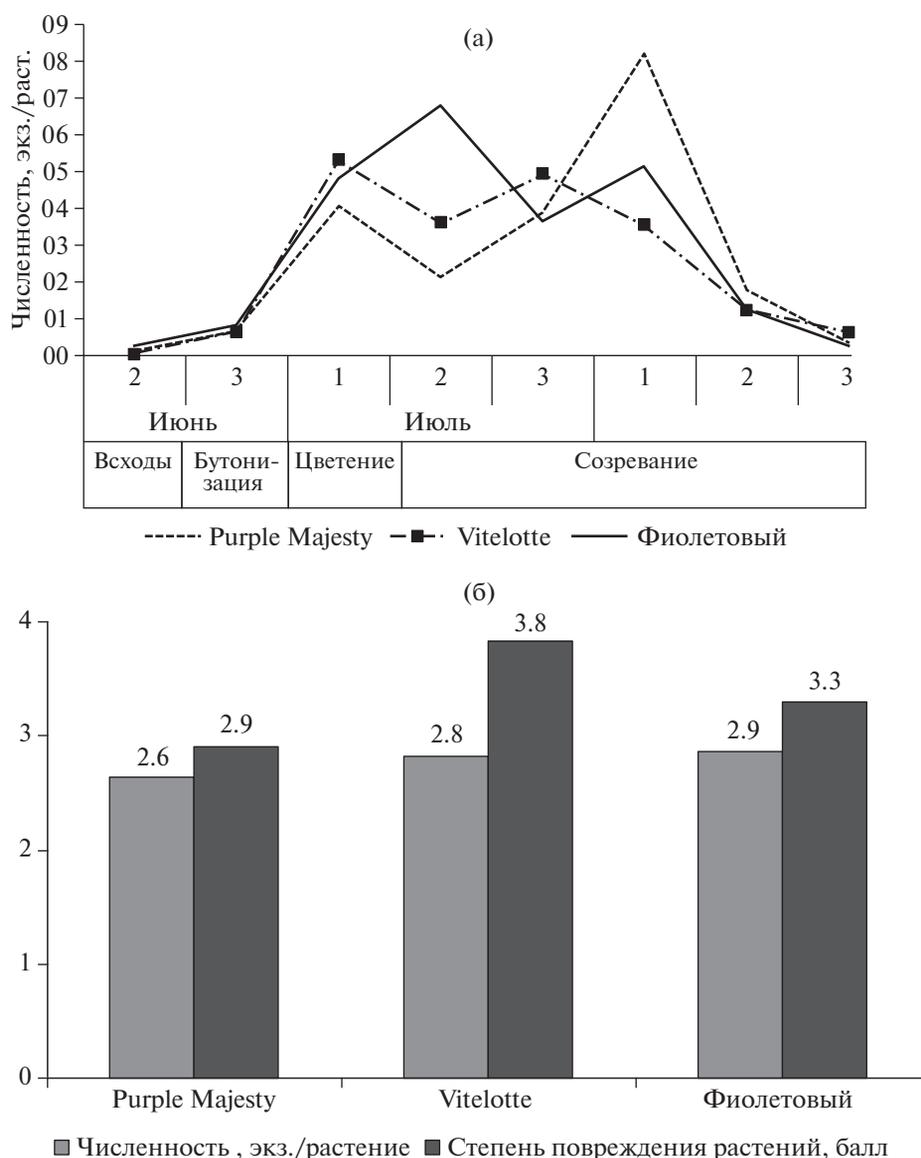


Рис. 1. Изменение численности колорадского жука в течение вегетации (имаго и личинки всех возрастов), экз./растение (а) и ее влияние на степень повреждения растений цветных сортов картофеля, % (б) (средние за 2017–2019 гг.).

повреждения растений была меньше (2.9 балла или 16.0–36.3% и 3.3 балла или 28.6–55.0% соответственно).

Помимо колорадского жука в Западной Сибири одним из самых вредоносных заболеваний является ризоктониоз или черная парша картофеля. Клубни цветных сортов поражаются в условиях Западной Сибири как несклероциальными, так и склероциальными формами ризоктониоза (табл. 2). На клубнях сортов Purple Majesty и Фиолетовый из первых форм преобладают сетчатый некроз и углубленная пятнистость: соответственно 86.5–89.4 и 10.2–18.3%. На сорте Vitelotte распространенность этих форм существенно меньше – 60.4 и

0.4%. На двух первых сортах также присутствуют трещины и уродливости, вызванные наличием на клубнях гриба *R. solani*. В то же время сорт Vitelotte данными формами не поражается.

Клубни всех 3-х сортов в значительной степени заселяются склероциями. В большей степени этому подвержен сорт Purple Majesty, для которого распространенность склероций на клубнях составляла 44.5%, далее шел сорт Фиолетовый – 39.0 и менее всего склероции встречались на сорте Vitelotte – 28.9%.

Рассматривая динамику численности гриба *R. solani* в почве, необходимо отметить ее различия в зависимости от сорта (рис. 2а). Например, в

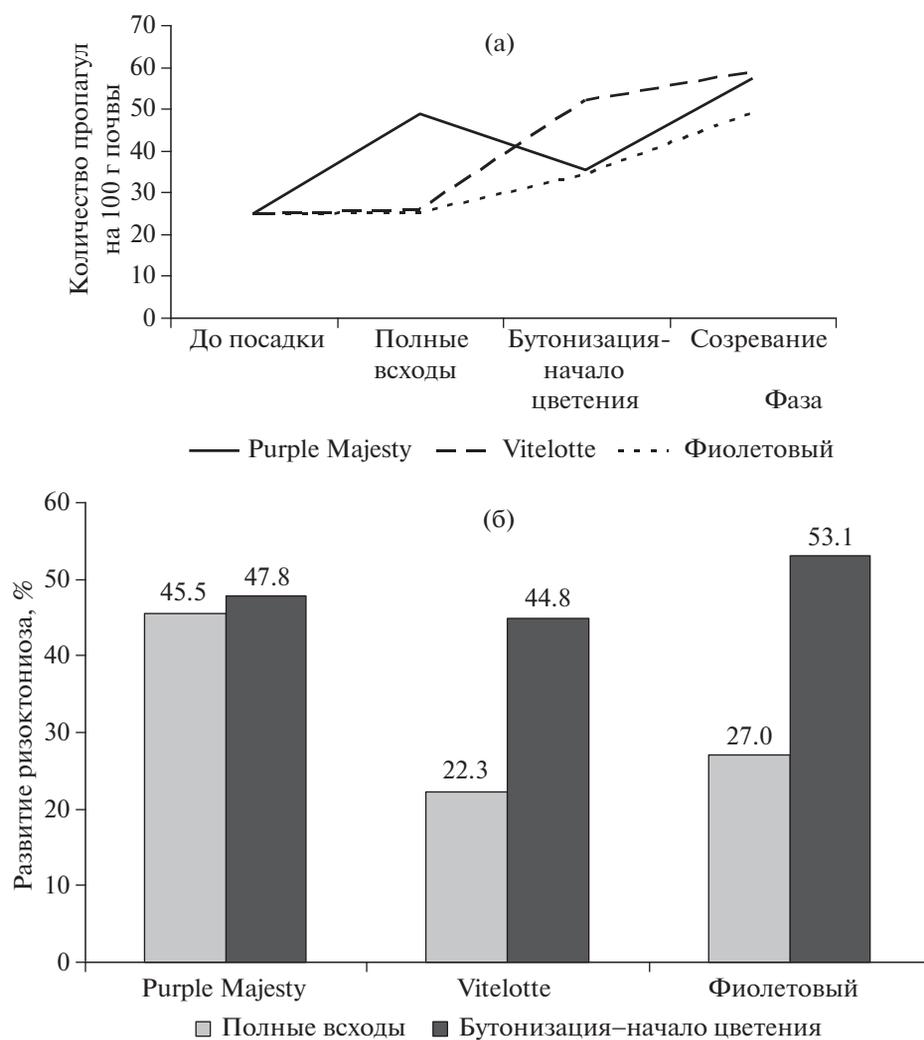


Рис. 2. Динамика численности *R. solani* в почве под посевами цветных сортов картофеля (а) и развитие ризоктониоза на растениях этих сортов (б) (средние за 2017–2018 гг.).

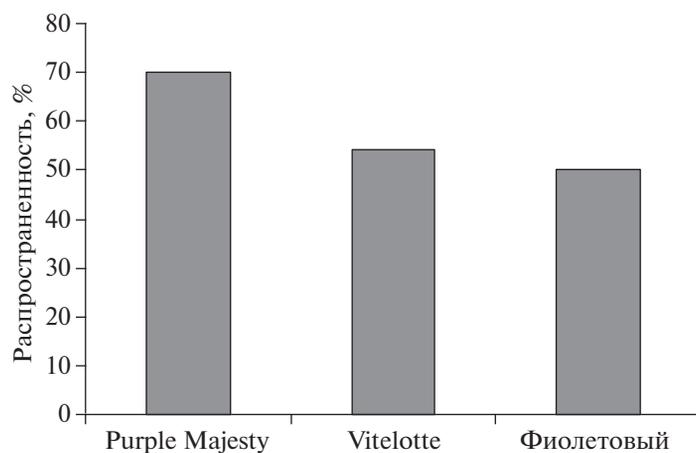


Рис. 3. Распространенность “белой ножки” на растениях цветных сортов картофеля в период вегетации (средние за 2018–2019 гг.), %.

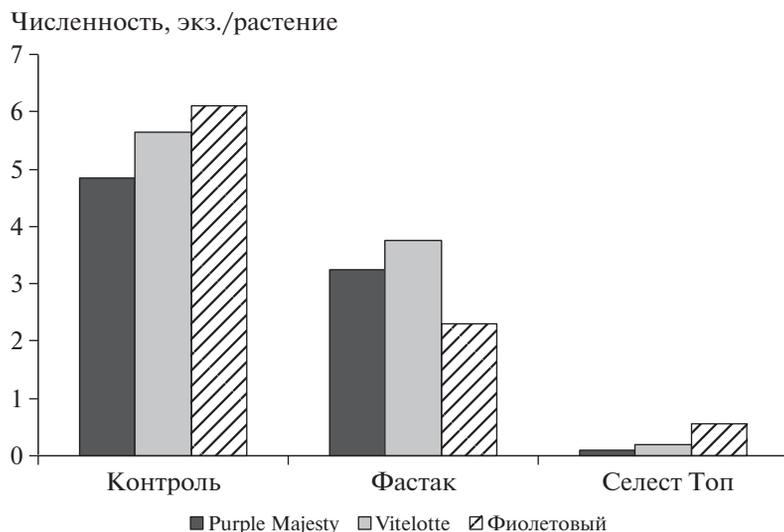


Рис. 4. Влияние средств защиты растений на среднюю численность колорадского жука в течение вегетации (средние за 2017–2018 гг.), экз./растение.

почве под посевом сорта Purple Majesty наблюдали 2 пика численности гриба, первый из которых (48.7 пропагул/100 г почвы) был отмечен в период полных всходов, а второй (57.2 пропагулы/100 г почвы) в конце фазы созревания культуры. В то же время у сортов Vitelotte и Фиолетовый был один пик численности (соответственно 59.0 и 49.1 пропагулы/100 г почвы) в конце фазы созревания.

Наименьшая численность гриба *R. solani* в почве в среднем за период вегетации была отмечена под сортом Фиолетовый, она составила 33.3 пропагулы/100 г почвы. У сортов Purple Majesty и Vitelotte данный показатель соответственно был равен 41.5 и 40.4 пропагулы/100 г почвы.

В первых фазах онтогенеза более всего поражались ризоктониозом растения сорта Purple Majesty, где развитие болезни достигало 45.5%. Два остальных сорта в период всходов были поражены болезнью в значительно меньшей степени: развитие заболевания на растениях сорта Vitelotte составило 22.3, на сорте Фиолетовый – 27.0% (рис. 2б).

Подобные различия в патогенезе возбудителя на растениях картофеля цветных сортов объяснимы различиями в численности возбудителя в почве. Это связано с тем, что в условиях Западной Сибири, в патологическом процессе ризоктониоза наибольшее значение играет почвенная инфекция (доля влияния почвенной популяции возбудителя превышает влияние семенной в 1.5–2.0 раза), поэтому и развитие заболевания на стеблях картофеля в большей степени зависит от численности *Rhizoctonia solani* в почве.

Интенсивность патологического процесса ризоктониоза на растениях цветных сортов картофеля за счет почвенной инфекции в условиях Западной Сибири подтверждена значительным распространением на стеблях “белой ножки” (рис. 3).

Протравливание клубней перед посадкой препаратом селест Топ или опрыскивание посадок препаратом фастак в период вегетации позволило сократить численность вредителя в первом случае практически до нуля, а во втором – в 1.5 раза на сортах Purple Majesty и Vitelotte, и в 2.7 раза на сорте Фиолетовый (рис. 4).

Протравливание семенных клубней перед посадкой препаратом селест Топ позволило существенно снизить количество выпадов всходов и развитие ризоктониоза на растениях в период вегетации (рис. 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В посевах всех цветных сортов картофеля зафиксированы 2 пика подъема численности колорадского жука (имаго и личинок всех возрастов), которые отмечены в фазах цветения и созревания культуры. Максимальное количество вредителя было в периоды цветения и созревания картофеля – от 4.0 до 8.2 экз./растение. В среднем за вегетационный период существенной разницы в численности вредителя между цветными сортами не было. Степень повреждения растений напрямую зависела от численности колорадского жука на растениях картофеля. Более всего были повреждены растения сорта Vitelotte (3.8 балла или 33.2–63.9%). У сортов Purple Majesty и Фиолето-

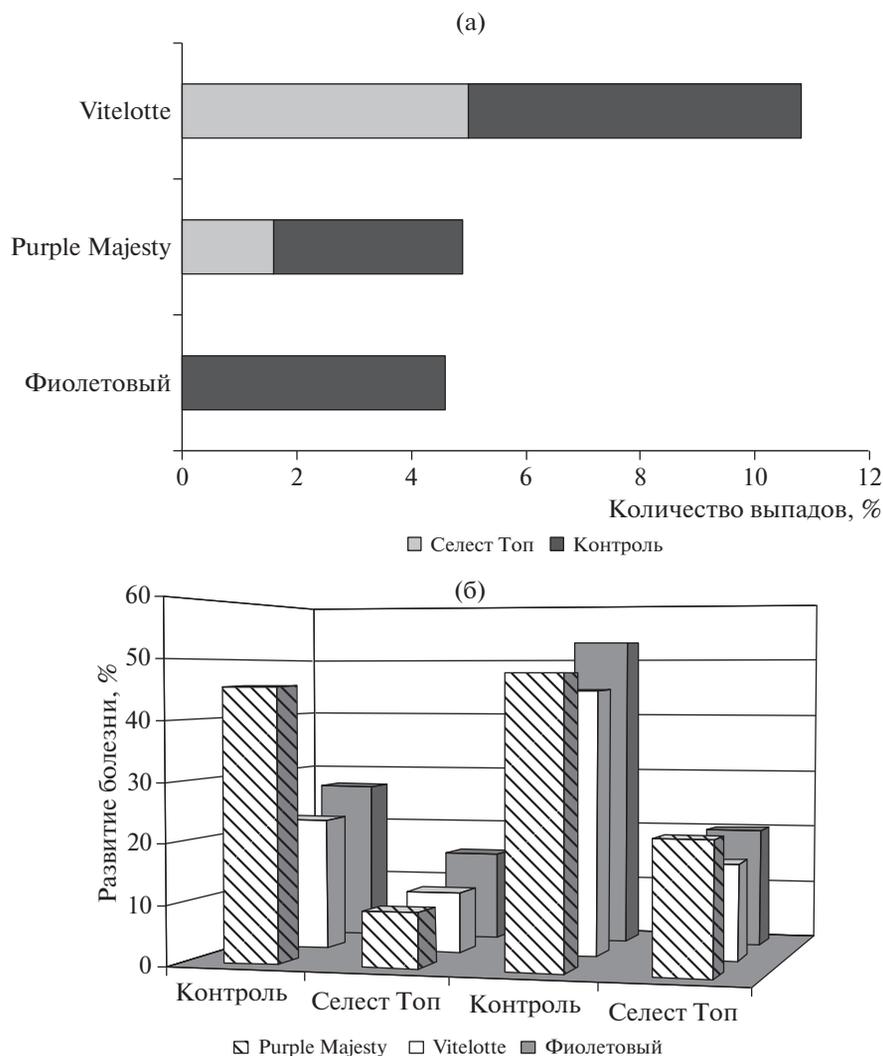


Рис. 5. Влияние протравителя селест Топ, КС на количество выпадов всходов цветных сортов картофеля от ризиктониоза (а) и его эффективность в отношении ризиктониоза (б) (средние за 2017–2018 гг.).

вый степень повреждения растений была меньшей (2.9 балла или 16.0–36.3% и 3.3 балла или 28.6–55.0% соответственно).

Численность гриба *R. solani* в почве зависела от сорта картофеля. В почве под посевом сорта Purple Majesty наблюдали 2 пика численности гриба, первый из которых (48.7 пропагул/100 г почвы) был отмечен в период полных всходов, второй (57.2 пропагулы/100 г почвы) – в конце фазы созревания культуры. В то же время в почве под посевами сортов Vitelotte и Фиолетовый был один пик численности гриба (соответственно 59.0 и 49.1 пропагулы/100 г почвы) в конце периода созревания. Наименьшая численность гриба *R. solani* в почве в среднем за период вегетации была отмечена под сортом Фиолетовый, она составила 33.3 пропагулы/100 г почвы. У сортов Purple Maj-

esty и Vitelotte данный показатель соответственно достиг 41.5 и 40.4 пропагулы/100 г почвы.

Цветные сорта картофеля поражались различными формами ризиктониоза. На клубнях сортов Purple Majesty и Фиолетовый преобладают сетчатый некроз и углубленная пятнистость, соответственно 86.5–89.4 и 10.2–18.3%. На клубнях сорта Vitelotte распространенность этих форм инфекции была существенно меньше – 60.4 и 0.4%. Клубни всех 3-х сортов в значительной степени заселялись склероциями (распространенность на сорте Purple Majesty составила 44.5, Фиолетовый – 39.0, Vitelotte – 28.9%). В первых фазах онтогенеза более всего поражались ризиктониозом растения сорта Purple Majesty, где развитие болезни достигало 45.5%. Развитие заболевания на растениях сорта Vitelotte составило 22.3, Фиолетовый – 27.0%.

Различия в патогенезе возбудителя на растениях картофеля цветных сортов объяснимы различиями в численности возбудителя в почве. Это связано с тем, что в условиях Западной Сибири в патологическом процессе ризоктониоза наибольшее значение играет почвенная инфекция (доля влияния почвенной популяции возбудителя превышает влияние семенной в 1.5–2.0 раза), поэтому и развитие заболевания на стеблях картофеля в большей степени зависит от численности *Rhizoctonia solani* в почве.

Протравливание клубней перед посадкой препаратом селест Топ или опрыскивание растений препаратом Фастак в период вегетации сократило численность вредителя в первом случае практически до нуля, во втором – в 1.5 раза на сортах Purple Majesty и Vitelotte, и в 2.7 раза – на сорте Фиолетовый. Протравливание семенных клубней перед посадкой препаратом селест Топ позволило существенно снизить количество выпадов всходов и развитие ризоктониоза на растениях в период вегетации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долженко В.И. Повысить фитосанитарную безопасность Российской Федерации // Защита и карантин растений. 2011. № 2. С. 4–7.
2. Власенко Н.Г., Тепляков Б.И., Теплякова О.И. Роль азотных удобрений и фунгицидов в повышении урожайности сортов яровой пшеницы // Докл. РАСХН. 2004. № 4. С. 25–28.
3. Власенко Н.Г., Тепляков Б.И., Теплякова О.И. Эффективность азотных удобрений и фитосанитарных средств при возделывании яровой пшеницы // Докл. РАСХН. 2007. № 1. С. 26–28.
4. Захаренко В.А. Проблемы научного обеспечения защиты растений // Проблемы оптимизации фитосанитарного состояния растениеводства: Сб. тр. Всерос. съезда по защите растений. СПб., 1997. С. 25–34.
5. Жученко А.А. Стратегия адаптивной интенсификации растениеводства // Докл. РАСХН. 1999. № 2. С. 5–11.
6. Старостина Л. Популярное в селекции: картофель с антоцианом // Agritimes.ru. 2014 [Электр. ресурс]. 2018. Режим доступа: <http://www.agritimes.ru/articles/1536/populyarnoe-v-selekcii-kartofel-s-antocianom/> (Дата доступа 25.10.2018).
7. Стрыгина К.В., Хлесткина Е.К. Синтез антоцианов у картофеля (*Solanum tuberosum* L.): генетические маркеры для направленного отбора (обзор) // Сел.-хоз. биол. 2017. Т. 52. С. 37–49.
8. Jensen G., Flame W. Coloured potatoes (*Solanum tuberosum* L.) – anthocyanin content and tuber quality // Genet. Res. Crop Ev. 2006. V. 53(7). P. 1321–1331.
9. Peksa A., Kita A., Kutakowska K., Aniolowska M., Hamouz K., Nems A. The quality of protein of coloured fleshed potatoes // Food Chem. 2013. № 141(3). P. 2960–2966.
10. Rytel E., Tajner-Czopek A., Aniolowska M., Hamouz K. The influence of dehydrated potatoes processing on the glycoalkaloids content in coloured-fleshed potato // Food Chem. 2013. № 141(3). P. 2495–2500.
11. Rytel E., Tajner-Czopek A., Kita A., Aniolowska M., Kucharska A.Z., Sokół-Łętowska A., Hamouz K. Content of polyphenols in coloured and yellow fleshed potatoes during dices processing // Food Chem. 2014. № 161. P. 224–229.
12. Lee W., Yeo Y., Oh S., Cho K.S., Park Y.E., Park S.K., Lee S.M., Cho H.S., Park S.Y. Compositional analyses of diverse phytochemicals and polar metabolites from different-colored potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers // Food Sci. Biotechnol. 2017. № 26(5). P. 1379–1389.
13. Oertel A., Matros A., Hartmann A., Arapitsas P., Dehmer K.J., Martens S., Mock H.P. Metabolite profiling of red and blue potatoes revealed cultivar and tissue specific patterns for anthocyanins and other polyphenols // Planta. 2017. № 246(2). P. 281–297.
14. Lachman J., Hamouz K. Red and purple coloured potatoes as a significant antioxidant source in human nutrition – a review // Plant Soil Environ. 2005. № 51(11). P. 477–482.
15. Nems A., Peksa A., Kucharska A.Z., Sokół-Łętowska A., Kita A., Drozd W., Hamouz K. Anthocyanin and antioxidant activity of snacks with coloured potato // Food Chem. 2015. № 172. P. 175–182.
16. Куру С.Д., Мелешин А.А., Анишев Х.Х. И вкус, и цвет // Растениеводство. 2016. № 1. С. 14–15.
17. Аникиенко Е. “Арап” из пробирки. Челябинские селекционеры вывели “противораковую” фиолетовую картошку // Южноуральская панорама. 2017. [Электр. ресурс]. Режим доступа: <https://ur74.ru/articles/obshchestvo/94124/> (Дата доступа 25.10.2018).
18. Каталог сортов картофеля: ВНИИКХ. 2018 [Электр. ресурс]. Режим доступа: http://www.kartofel.org/cultivars/main_cult/sorta.htm (Дата доступа 25.10.2018).
19. Cisowska A., Wójnicz D., Hendrich A.B. Anthocyanins as antimicrobial agents of natural plant origin // Nat. Prod. Commun. 2011. V. 6(1). P. 149–156.
20. Wen H., Kang J., Li D., Wen W., Yang F., Hu H., Liu C. Antifungal activities of anthocyanins from purple sweet potato in the presence of food preservatives // Food Sci. Biotechnol. 2016. V. 25(1). P. 165–171.
21. Wegener C.B., Jansen G. Soft-rot resistance of coloured potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.): the role of anthocyanins // Potato Res. 2007. V. 50. Is. 1. P. 31–44.
22. Кирюшин В.И. Методологическая концепция развития земледелия в Сибири: Метод. рекоменд. Новосибирск, 1989. 45 с.
23. Машьянова Г.К., Гринберг Е.Г., Штайнерт Т.В. Овощные культуры и картофель в Сибири. Новосибирск, 2010. 523 с.
24. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): Учеб.-к для студ. Высш. сел.-хоз. уч. завед.-й по агроном. специальностям. М., 2012. 351 с.

25. Список пестицидов и агрохимикатов разрешенных к применению на территории Российской Федерации. М., 2017. 944 с.
26. Методика исследований по культуре картофеля. М.: НИИКХ, 1967. 264 с.
27. Методические рекомендации по оценке устойчивости картофеля к колорадскому жуку. М., 1987. 31 с.
28. Методические рекомендации по проведению исследований влияния трансгенных сортов картофеля на жизнедеятельность и микроэволюционные преобразования колорадского жука. СПб.—Пушкин, 2001. 19 с.
29. Методические рекомендации по индикации и мониторингу процессов адаптации колорадского жука к генетически модифицированным сортам картофеля. СПб., 2005. 48 с.
30. Frank J., Leach S.S., Webb R.E. Evaluation of potato clone reaction to *Rhizoctonia solani* // Plant Dis. Reporter. 1976. V. 60. № 11. P. 910–912.
31. Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. 2-е изд. Новосибирск, 2012. 282 с.

Features of Formation of Phytosanitary Situation and Efficiency of Plant Protection against Colorado Potato Beetle and Black Scab in Planting of Colored Varieties of Potato

A. A. Malyuga^{a,#}, N. S. Chulikova^a, and N. N. Enina^a

^a Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Biotechnologies RAS
r.p. Krasnoobsk, Novosibirsk region, Novosibirsk district 630501, Russia

#E-mail: anna_malyuga@mail.ru

The article presents materials on the peculiarities of the phytosanitary situation in the planting of colored potato varieties (Purple Majesty, Vitelotte and Violet) regarding black scab and Colorado potato beetle in Western Siberia. Plants of the Vitelotte variety were most damaged by the pest (33.2–63.9%), less Purple Majesty and Violet (16–36.3 and 28.6–55.0%, respectively). The smallest abundance of *R. solani* fungus in the soil was observed in the Violet variety (33.3 propagules/100 g of soil), while in Purple Majesty and Vitelotte this indicator was 40.4–41.5 propagules/100 g of soil. The development of the disease on plants of the Vitelotte variety was 22.3–44.8, on Violet – 27.0–53%, on Purple Majesty – 45.5–47.8%. The prevalence of sclerotic forms of black scab on Purple Majesty tubers was 44.5, Violet – 39.0, Vitelotte – 28.9%. The treatment of tubers before planting Celest Top reduced the number of Colorado potato beetle to almost zero, and the spraying of Fastak plantings during the growing season was 1.5 times on Purple Majesty and Vitelotte varieties, and 2.7 times on Violet. The treatment of seed tubers before planting Celest Top significantly reduced the number of seedlings and the development of brown rot of stems in plants during the growing season.

Key words: potato, colored varieties, phytosanitary situation, insecticide, insectofungicide, black scab, Colorado potato beetle, crop productivity.

УДК 632.981:632.3/4:633.11“321”

ВЛИЯНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПРОТРАВИТЕЛЕЙ НА ЗАРАЖЕННОСТЬ ФИТОПАТОГЕНАМИ ПОСЕВНОГО МАТЕРИАЛА И ФИТОЦЕНОЗ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

© 2020 г. С. В. Бурлакова^{1,*}, Н. Г. Власенко^{1,**}, Н. Д. Чкаников², С. С. Халиков^{2,***}

¹Сибирский научно-исследовательский институт земледелия и химизации сельского хозяйства СФНЦА РАН
630501 Новосибирская обл., Новосибирский р-н, п.п. Краснообск, а/я 463, Россия

²Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН
119991 Москва, ул. Вавилова, 28, Россия

*E-mail: burlackovasweta@yandex.ru

**E-mail: vlas_nata@ngs.ru

***E-mail: salavathalikhov@mail.ru

Поступила в редакцию 03.01.2020 г.

После доработки 29.01.2020 г.

Принята к публикации 10.02.2020 г.

В условиях лабораторного и вегетационного опытов на яровой пшенице провели исследования по выявлению ростостимулирующего и защитного воздействия многокомпонентных суспензионных концентратов протравителей на основе имазалила, металаксила и тебуконазола с добавлением флороксана и крезацина, полученных методами механохимического суспендирования. Установлено, что в лабораторных условиях фунгицидные композиции с крезацином и флороксаном подавляли семенную инфекцию в 2 раза и оказывали выраженное ростостимулирующее воздействие на листья и корни 7-суточных проростков яровой пшеницы, повышали лабораторную всхожесть семян. В условиях вегетационного опыта фунгициды с крезацином и флороксаном были эффективны против обыкновенной корневой гнили, повышали полевую всхожесть семян, увеличивали надземную и корневую массу растений, оказывали влияние на формирование продуктивности пшеницы. Наиболее эффективной оказалась фунгицидная композиция с добавлением флороксана, которая обеспечила повышение урожайности зерна на 0.62 т/га при урожайности в контроле 6.28 т/га.

Ключевые слова: суспензионные комбинированные препараты, механохимия, фениламины, азолы, крезацин, флороксан, защита семенного материала, яровая пшеница, биологическая эффективность.

DOI: 10.31857/S000218812005004X

ВВЕДЕНИЕ

Одной из главных причин снижения полевой всхожести яровой пшеницы, особенно в условиях Сибири, являются неблагоприятные температурные условия на начальных этапах роста растений. В период прорастания и всходов температура почвы и окружающего воздуха находится на уровне 5–10°C с частыми понижениями в ночное время до отрицательных величин. Низкие температуры приводят к усилению повреждения проростков патогенными микроорганизмами, ослаблению их роста и нередко к гибели, вызывая изреживание всходов. Большой интерес вызывает поиск препаратов на основе соединений, способствующих повышению стрессустойчивости к холоду, обладающих низкой фитотоксичностью, снижающих уровень пестицидной нагрузки. В настоящее время

в сельском хозяйстве используют такие фунгициды с ростовой активностью, как квадрис, абакус ультра, также фунгициды класса азолов, содержащих триазольную или имидазольную группы против головни зерновых, корневой гнили. Проявляя ретардантный эффект, они характеризуются низкой фитотоксичностью по сравнению с другими азолами, эффективны в малых дозах [1].

Исследование проявления ретардантного воздействия препаратами на основе азола показало, что наименьшим его воздействием обладает тебуконазол. Воздействуя на растения, он не оказывает фитотоксического эффекта на клетки яровых злаков, но при этом повышает холодоустойчивость культуры, влияя на углеводный метаболизм и синтез низкомолекулярных дегидринов, повы-

шает уровень ненасыщенных жирных кислот в побегах, запускает особый метаболизм дыхания митохондрий, поддерживая его скорость [2].

Среди многочисленных приемов повышения продуктивности яровой пшеницы большое значение придается сочетанию фунгицидов с регуляторами роста растений (*PPP*) [3]. Регуляторы роста нового поколения обладают тройным действием на растения – стимуляцией физиологических процессов, повышением собственной устойчивости растений к действию неблагоприятных факторов и усилением неспецифического иммунитета.

Такие защитно-стимулирующие составы повышают урожайность пшеницы за счет снижения стрессовых нагрузок на растения, формирования устойчивости к болезням, проявления рострегулирующей активности, что ведет к росту урожайности на 5.2–16%, улучшению качества зерна на 2.7% [4, 5].

Использование высокоэффективных современных химических средств защиты от вредных организмов вдвое сокращает потери зерна за счет повышения урожайности и качества. При этом становится важным не только безопасное и своевременное применение фунгицидов, но и уточнение возможностей по их направленному воздействию на физиологические и биохимические процессы, содержание минеральных веществ в растениях, что актуально в экстремальных условиях возделывания культур. Совмещение фунгицидов с регуляторами роста способствует росту урожайности и повышению качества зерна [6].

С учетом вышеизложенного, следует признать актуальными исследования по научно обоснованному поиску, разработке рецептуры и синтезу комбинированных препаратов, включающих в свой состав фунгициды и регуляторы роста. В этом отношении на протяжении ряда лет проводятся исследования по разработке таких комбинированных препаратов методами механохимии [7, 8] с учетом физико-химических свойств исходных действующих веществ. Для высокоплавких фунгицидов приемлемы и дают положительный результат методы твердофазной механообработки, тогда как для фунгицидов с низкими температурами плавления необходимо использование методов жидкофазного суспендирования и эмульгирования. Было также установлено, что многокомпонентные суспензионные формы композиций, полученные методами механохимии, представляли собой стабильные суспензии и были технологически удобными при их применении для протравливания семян [8].

Цель работы – подобрать рецептуры многокомпонентных суспензионных форм и приготовить методами механохимии композиции на основе тебуконазола, имазалила, металаксилла и регуляторов роста растений крезацина и флороксана, а также дать оценку эффективности обработки семян яровой пшеницы этими композициями.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Металаксил – [N-(2,6-диметилфенил)-N-(2-метоксиацетил) аланина метиловый эфир] – пестицид, системный фунгицид из класса феноламинов, группы оксазолидинонов, эффективен против патогенных организмов, принадлежащих к порядку *Peronosporales*. Белые или бежевые кристаллы с температурой плавления 71.8–72.3°C, умеренно опасный [9].

Имазалил – [(±)-1-(β-аллилокси-2,4-дихлорфенилэтил) имидазол] – действующее вещество пестицидов, системный фунгицид класса имидазолов, жидкость, твердеющая на воздухе с температурой плавления 52.7°C, умеренно опасный [9].

Тебуконазол – [(RS)-1p-хлорфенил-4,4-диметил-3-(1H-1,2,4-триазол-1-ил-метил) пентан-3-ил] – пестицид, эффективный системный фунгицид для обработки семян зерновых культур в борьбе с фитопатогенами, передающимися с семенами. Относится к триазиолам 3-го поколения системного действия. Бесцветные кристаллы с температурой плавления 105°C, умеренно опасный [9].

Крезацин – регулятор роста в виде кристаллического порошка, действующее вещество которого – триэтанолламмониевая соль ортокрезоксисульфатной кислоты. Синтетический адаптоген и иммуностимулятор, предназначен для обработки семян и посевов, стимулирует рост и прорастание семян, корнестимулятор, повышает стрессустойчивость растений, малоопасный. Белый порошок с кремоватым оттенком, температура плавления 82–84°C [10].

Флороксан – оригинальный *PPP*, описанный ранее [11].

С учетом физико-химических свойств исходных компонентов, в частности, их температур плавления, были приготовлены комбинированные суспензионные формы композиций и после оптимизации их состава и технологии они были переданы на биологические испытания.

В опытах использовали естественно зараженные семена сорта яровой пшеницы Новосибирская 31. Испытывали действие следующих суспензионных композиций для обработки семян:

Таблица 1. Метеорологические показатели вегетационного периода 2018 г. (ГМС “Огурцово” Новосибирского р-на, Новосибирской обл.)

Месяц	Декада	Температура воздуха, °С		Осадки, мм	
		2018 г.	средние многолетние	2018 г.	средние многолетние
Май	3-я	9.7	13.2	27.0	13.0
Июнь	1-я	17.9	15.4	12.0	13.0

1 – зеленоватая легко текучая суспензия состава: металаксил (7.8%), имазалил (9.8%), ТБК (5.9%) и крезацин (5.9%) с нормой расхода 0.36 л/т семян;

2 – подвижная коричневая суспензия состава: металаксил (4.3%), имазалил (5.4%), ТБК (3.3%) и флороксан (0.3%) с нормой расхода 0.64 л/т семян;

3 – зеленовато-серая густая однородная суспензия состава: металаксил (10.5%), имазалил (13.2%) и ТБК (7.9%) с нормой расхода 0.27 л/т семян.

В лабораторном опыте оценивали воздействие препаратов на энергию прорастания, всхожесть семян пшеницы методом проращивания в “растильнях” в четырехкратной повторности [12], на развитие семенных болезней [13] и на показатели силы роста – длину проростка, семядольного листа и длину корней методом “рулонов” в трехкратной повторности [14]. Навески по 25 г семян обрабатывали 0.25 мл рабочей суспензии препаратов, проводили экспозицию обработанного семенного материала в чашках Петри в течение 1 ч при температуре 21–22°С в отсутствии света и закладывали на проращивание [15].

Полевой эксперимент заложен в 2018 г. на опытном поле СибНИИЗиХ СФНЦА РАН, расположенном в Центрально-лесостепном Приобском агроландшафтном районе Новосибирской обл. Яровую пшеницу Новосибирская 31 возделывали после пара согласно принятой технологии [16]. Посев осуществляли 21 мая сеялкой СН-16 с нормой высева 6.5 млн всхожих зерен/га. Протравливание проводили с увлажнением с нормой расхода воды 10 л/т семян [17]. Расположение делянок площадью 21.4 м² последовательное в один ярус, повторность четырехкратная. Все делянки опытов были обработаны в фазе кущения баковой смесью противодудольного и противозлакового гербицида, в фазе колошения – фунгицидом для снижения вредоносности листовых инфекций. В опыте проводили учеты всхожести семян [12], длины проростка, длины зародышевых корней в фазе 2- и 3-х листьев [14, 18], густоты стоя-

ния растений [18], воздушно-сухой биомассы растений [18], развития корневой гнили – дифференцированно по органам в начальных фазах развития и фазе восковой спелости зерна [19], урожайности пшеницы [17, 20]. Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа с помощью прикладных программ Снедекор [21–23].

Температурно-влажностный режим от посева до формирования 3–4-х листьев пшеницы проходил в условиях, сильно отличающихся от средне-многолетних показателей (табл. 1). Температура воздуха 3-й декады мая составила 73% от нормы, осадков выпало больше в 2.1 раза. В 1-й декаде июня, напротив, температура была выше средне-многолетней на 16%, а приход атмосферной влаги был близок к среднемноголетним показателям. В целом год был благоприятным для формирования урожая зерна. Например, температурный режим июня был выше среднемноголетних показателей на 2.4°С, при этом норма осадков была превышена в 1.2 раза. В июле температура воздуха в среднем за месяц была близка к норме, но в 1-й и 3-й декадах она была ниже среднемноголетней на 1.1 и 2.8°С, а во 2-й декаде превысила ее на 2.5°С, при этом осадков в 1-й декаде выпало в 1.9 раза меньше нормы, во 2-й декаде они практически отсутствовали, а в 3-й декаде их было в 2 раза больше нормы. В 1-й декаде августа температура воздуха была на 2.1°С ниже среднемноголетней, а во 2-й и 3-й – превысила ее на 2.4 и 2.0°С. В августе отмечен дефицит осадков, их выпало в 1.9 раза меньше нормы, при этом в 1-й и 2-й декадах – в 6.3 и 7.4 раза меньше, в 3-й декаде – в 1.3 раза больше нормы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Фитосанитарная диагностика посевного материала яровой пшеницы Новосибирская 31 показала, что зараженность контрольной пробы семян микозной инфекцией *Alternaria* spp., *Penicillium* spp., *Bipolaris sorokiniana*, *Fusarium* spp составила 73%, пораженность проростков возбудителем корневой гнили – 7.6% (рис. 1). Протравители с

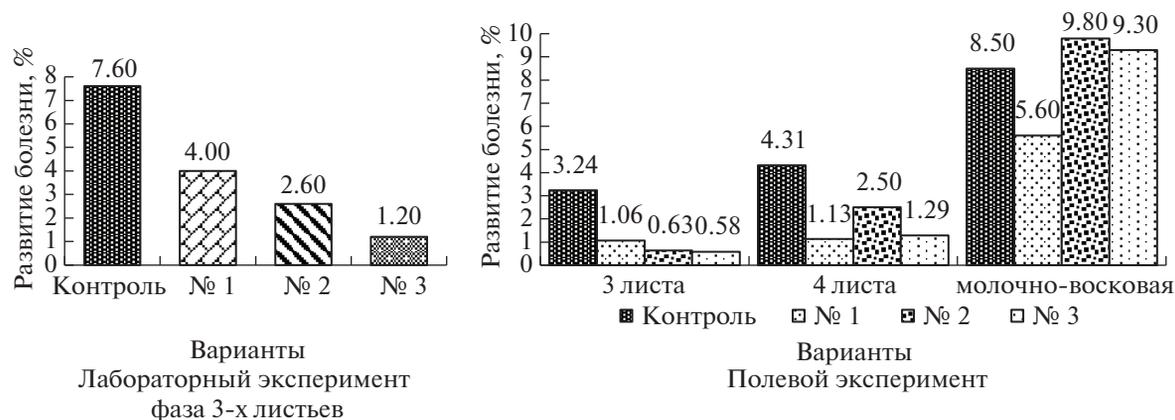


Рис. 1. Пораженность проростков яровой пшеницы инфекцией, вызванной *B. sorokiniana* в условиях лабораторного ($\sigma = 2.0$) и полевого эксперимента: фаза 3-х листьев ($\sigma = 0.9$), 4-х листьев ($\sigma = 1.1$), молочно-восковая спелость зерна ($\sigma = 0.5$).

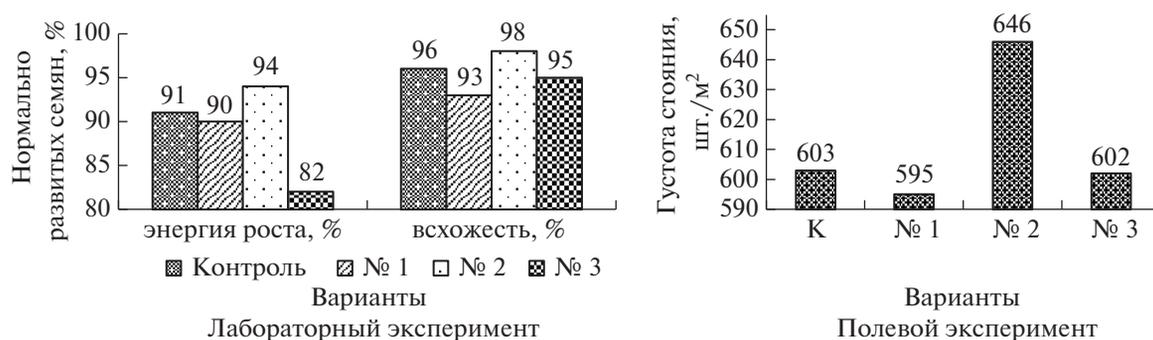


Рис. 2. Воздействие композиций протравителей класса азолов с крезацином и флороксаном: (а) – на энергию роста проростков ($\sigma = 3.6$), всхожесть ($\sigma = 1.5$), (б) – на густоту стояния ($\sigma = 17.2$).

крезацином и флороксаном подавляли данное заболевание в 1.9 и 2.9 раза, композиция без ростовых веществ – в 6.3 раза. Анализ проростков в контроле в фазе 3-х листьев в полевых условиях показал, что их пораженность обыкновенной корневой гнилью была в 2.3 раза меньше в сравнении с лабораторной, а применение препаратов подавляло ее развитие до 1%. В фазе 4-х листьев при 4%-ном развитии болезни, считающимся низким, препараты снижали индекс развития болезни до 1.0–2.5%. Таким образом, эффект от применения препаратов был в лабораторных и полевых условиях аналогичным. Во 2-й половине вегетации индекс развития корневой гнили достиг 8.5–10.0% и характеризовался как умеренный, при этом защитное действие обработки семян препаратами к фазе молочно-восковой спелости нивелировалось. Исключение составило применение композиции с крезацином, которое обеспечило снижение индекса развития корне-

вой гнили на 3–4% в сравнении с другими вариантами.

Эффект воздействия обработки семян суспензиями препаратов на ростовые процессы в течение первых 3-х сут в лабораторном эксперименте был различным – рост числа нормально проросших семян на 3% отмечали лишь при использовании суспензии протравителя с флороксаном, в то время как при использовании протравителя с крезацином и композицией без регуляторов роста их число снизилось соответственно на 1 и 9% относительно контроля, т.е. проявлялся ретардантный эффект, который немного нивелировался в первом случае (рис. 2). Через 7 сут отмечали дальнейший рост числа проростков на 3–4% при использовании протравителя с добавлением крезацина и флороксана, на 5% в контроле и на 13% при применении композиции на основе азолов, что было характерной особенностью проявления его воздействия, при котором трогаются в рост мелкие проростки. Сравнивая воздействие сус-

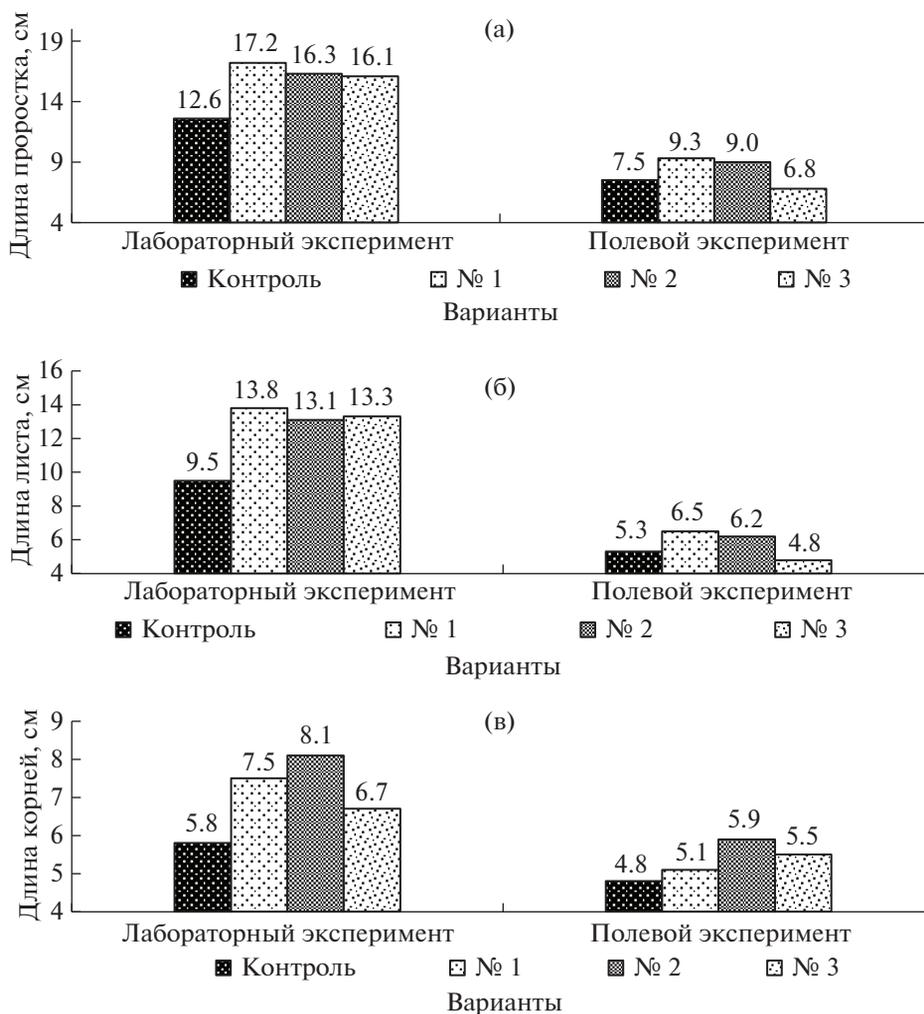


Рис. 3. Воздействие композиций протравителей класса азолов с крезацином и флороксаном на длину проростков, длину листа и корневой системы в лабораторном эксперименте ($\sigma = 1.5$, $\sigma = 1.5$, $\sigma = 0.8$) и в полевом эксперименте ($\sigma = 1.0$, $\sigma = 0.7$, $\sigma = 0.4$) соответственно.

пензионных препаратов на показатель всхожести, следует отметить, что наибольшее стимулирующее действие оказала обработка семян композицией с флороксаном, увеличив показатель на 2% в условиях лабораторного, и на 6.6% – полевого опыта. При использовании композиции фунгицида с крезацином проявлялось небольшое ретардантное воздействие, поскольку показатель снизился на 3 и 1.2% соответственно относительно контроля, а воздействие композиции без регуляторов роста было на уровне контроля.

Было установлено, что в лабораторных условиях, оптимальных по освещенности и температурному режиму, композиции фунгицида с крезацином и флороксаном стимулировали как рост проростков на 37 и 29%, так и длины листа – на 45 и 38% относительно контролей, воздействие композиции без ростовых веществ на оба показателя

составило 28% (рис. 3а, 3б). В условиях полевого эксперимента биометрический анализ выборки ($n = 100$) показал аналогичную зависимость воздействия 2-х фунгицидных композиций, но с меньшим ростовым эффектом – на 24 и 20% на проростках и на 23 и 17% – на длину листа относительно контролей. Противоположное воздействие оказывала лишь композиция без ростовых веществ, при применении которой отмечали снижение указанных параметров на 9% в сравнении с контролем. Указанный эффект препаратов в полевом эксперименте был сформирован, как указывалось выше, при появлении всходов в условиях пониженных температур и повышенной влажности. Известно, что в таких условиях может усиливаться ретардантный эффект триазолов [24].

Таблица 2. Влияние обработки семян суспензиями протравителей на воздушно-сухую биомассу растений в разных фазах развития, г/100 растений

Вариант	Фаза 2-х листьев		Фаза 3-х листьев		Фаза 4-х листьев		Восковая спелость	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Контроль	1.08	1.01	14.6	0.94	20.2	2.56	204	9.1
Препарат 1	1.14	1.12	14.5	0.96	20.3	2.56	252	13.1
Препарат 2	1.08	1.05	14.9	1.04	20.8	2.41	230	10.3
Препарат 3	0.87	1.08	13.3	1.00	19.8	2.73	213	10.3

Примечание. В графе 1 – надземная, 2 – корневая биомасса.

Таблица 3. Влияние обработки семян новыми суспензионными препаратами на урожайность зерна и структуру урожая яровой пшеницы

Вариант	Колос				Масса 1000 зерен	Урожайность, т/га
	длина, см	количество колосков	количество зерен	масса зерна		
		шт.		г		
Контроль	6.6 ± 1.2	13.0 ± 2.2	25.5 ± 6.5	0.98 ± 0.29	39.1	6.28
Препарат 1	6.8 ± 1.4	14.1 ± 2.3	26.9 ± 7.2	1.06 ± 0.37	39.1	6.90
Препарат 2	7.3 ± 1.2	14.8 ± 1.9	28.4 ± 6.2	1.09 ± 0.29	38.8	6.42
Препарат 3	6.8 ± 1.4	13.9 ± 2.2	25.9 ± 7.1	0.95 ± 0.34	39.4	6.57
<i>HCP</i> ₀₅					1.5	0.44

Влияние суспензионных концентратов препаратов на рост и развитие корневой системы растений пшеницы было положительным (рис. 3в). Композиции с крезацином и флороксаном показали стимулирующий эффект как в условиях лабораторного опыта, в котором он был более выражен, так и в полевом эксперименте. Например, в первом случае рост корней составил 29 и 40%, во втором – 6 и 23% относительно контролей. Одинаковое воздействие на рост корней оказала композиция без ростовых веществ, применение которой в обоих случаях увеличила их длину на 15% в сравнении с контрольными показателями.

В условиях полевого опыта зафиксировано увеличение надземной биомассы растений пшеницы в фазах 2-, 3-, 4-х листьев относительно контроля при применении композиций на 1–5% (табл. 2). Аналогичная тенденция проявлялась и при учете корневой биомассы, которая увеличилась относительно контроля на 6–10%. К концу вегетации культуры в варианте с применением флороксана надземная и корневая биомасса увеличилась в большей степени относительно контроля (соответственно на 19 и 30.7%), чем в варианте с применением крезацина (на 11 и 12.4%), а также в варианте композиции без ростовых веществ (на 5 и 10.3%).

Проявляя стимулирующее и защитное действие, композиции препаратов с флороксаном и крезацином не оказывали существенного влияния на структуру урожая. Отмечали незначительный рост длины колоса на 3.5 и 9.2%, количества колосков – на 7.8 и 12.0%, количества зерен в колосе – на 5.2 и 9.9%, массы зерна – на 7.5 и 10.1% относительно контроля (табл. 3).

При применении композиции без ростовых веществ рост показателей составил 2.9, 6.2, 1.5% соответственно, масса зерна снизилась в этом варианте на 3% относительно контроля. На рост показателя массы 1000 зерен несущественно влияла лишь обработка семян протравителем без применения ростовых веществ. В результате отмеченного воздействия обработка семян протравителем с флороксаном достоверно повышала урожайность на 0.62 т/га относительно контроля и на 0.33 т/га относительно суспензии без ростовых веществ. Прибавка урожая от применения композиции с добавлением крезацина составила 0.14 т/га, композиции без ростовых веществ – 0.29 т/га. Формирование урожайности зерна наиболее сильно было связано с показателями полевой всхожести ($r = 0.88$), надземной и подземной биомассой в фазе восковой спелости зерна ($r = 0.85$ и 0.97 соответственно).

Таким образом, наиболее эффективно действующей формой оказалась суспензия многокомпонентного протравителя с флороксаном, которая может быть рекомендована для дальнейшей разработки эффективного протравителя семян яровой пшеницы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, приготовленные методами жидкофазной механообработки комбинированные суспензионные композиции на основе ряда фунгицидов металаксилла, имазалила, тебуконазола и регуляторов роста флороксана, крезацина проявили широкий спектр биологической активности в лабораторных и полевых экспериментах.

Анализ основных морфологических показателей (длины проростка, листа, корней), ростовых процессов (энергии прорастания, всхожести, густоты стояния), фунгицидного воздействия на посевной материал и фитосанитарное состояние посевов в отношении корневой гнили показал, что наибольшим ростостимулирующим и защитным воздействием обладала композиция протравителя с флороксаном, применение которой обеспечило более пропорциональный рост проростков с мощной надземной и корневой системой, формирование растений с повышенной стрессоустойчивостью во влажных и прохладных условиях прорастания яровой пшеницы. Предпосевная обработка семян яровой пшеницы суспензионной композицией состава (металаксилл + имазалил + ТБК + флороксан) обеспечила повышение сбора зерна на 0.62 т/га при урожайности в контроле 6.28 т/га.

Разносторонние положительные воздействия, проявляющиеся в усилении ростовых процессов за счет сочетания тебуконазолсодержащих препаратов с добавлением биорегуляторов, проявление эффекта защитного действия в отношении почвенно-семенной инфекции, повышение стрессоустойчивости растений к абиотическим условиям могут быть положены в основу разработки инновационных фунгицидов для усовершенствования приемов фитосанитарных технологий с целью повышения продуктивности пшеницы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корсукова А.В., Боровик О.А., Грабельных О.И., Дорофеев Н.В., Побезимова Т.П., Войников В.К. Повышение холодостойкости проростков яровой пшеницы при обработке семян тебуконазолом // Изв. вузов. Прикл. химия и биотехнол. 2015. № 4(15). С. 30–36.
2. Корсукова А.В. Изменение холодо- и морозоустойчивости проростков злаков под действием тебуко-

назолсодержащего протравителя семян: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Иркутск: СИФИБР СО РАН, 2016. 22 с.

3. Савченко А.А. Применение регуляторов роста, микроудобрений и фунгицидов на яровой пшенице в лесостепи Тюменской области: Дис. ... канд. с.-х. наук. Тюмень, 2007. 192 с.
4. Савченко А.А. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы под влиянием фунгицидов и регуляторов роста // Вестн. КрасГАУ. 2007. № 2. С. 324–326.
5. Кекало А.Ю., Немченко В.В. Технологии защиты яровой пшеницы от фитопатогенов // Аграр. вестн. Урала. 2017. № 4(158). С. 26–30.
6. Лысенко Н.Н., Прудникова Е.Г. Влияние фунгицида Амистар Экстра и регулятора роста Бинорам на болезни листового аппарата и физиолого-биохимические показатели яровой пшеницы // Вестн. ОрелГАУ. 2018. № 1(70). С. 8–13.
7. Власенко Н.Г., Теплякова О.И., Метелева Е.С., Поляков Н.Э., Халиков С.С., Душкин А.В. Эффективный препарат для предпосевной обработки зерновых культур на основе комплексов тебуконазола с полисахаридами ламинарии // Усп. совр. естествознания. 2017. № 12. С. 28–37.
8. Бурлакова С.В., Власенко Н.Г., Халиков С.С. Оценка влияния препаративных форм протравителей семян на основе триазолов на физиологические особенности всходов яровой пшеницы // Агрохимия. 2019. № 11. С. 27–32.
9. Ганиев М.М., Недорезков В.Д. Химические средства защиты растений. М.: КолосС, 2006. 248 с.
10. Острошенко В.В., Острошенко Л.Ю., Ключников Д.А., Острошенко В.Ю., Чекушкина Т.Н. Влияние стимуляторов роста на энергию прорастания и лабораторную всхожесть семян сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) // Изв. СамарНЦ РАН. 2015. Т. 17. № 6. С. 242–247.
11. Власенко Н.Г., Бурлакова С.В., Халиков С.С., Федоровский О.Ю., Чкаников Н.Д. Флороксан – потенциальный компонент комплексных протравителей зерновых культур // Агрохимия. 2017. № 7. С. 49–54.
12. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы анализа: Сб. ГОСТов. М.: Изд-во стандартов, 2004. С. 39–47.
13. ГОСТ 12044-93. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями. М.: Стандартиформ, 2011. 55 с.
14. Торопова Е.Ю., Кириченко А.А. Фитосанитарный экологический мониторинг. Метод. указ-я к лаб.-практ. занятиям и контрольной работе. Новосибирск: НГАУ, 2012. 38 с.
15. ГОСТ 10842-89. Зерно зерновых и бобовых культур и семена масличных культур. Метод определения массы 1000 зерен или 1000 семян. М.: Изд-во стандартов, 1990. 4 с.
16. Власенко А.Н., Каличкин В.К., Власенко Н.Г. Ресурсоэнергосберегающие технологии возделывания яровой пшеницы в Новосибирской области: Метод. пособ. Новосибирск: РАСХН СО, СибНИИЗ-Хим, 2000. 48 с.

17. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации на 2017 год. М.: Минсельхоз РФ, 2017. 938 с.
18. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. М., 1989. 194 с.
19. Чулкина В.А. Методические указания по учету обыкновенной корневой гнили хлебных злаков в Сибири дифференцированно по органам. Новосибирск, 1972. С. 16–18.
20. Моисейченко В.Ф., Трифонова М.Ф., Заверюха А.Х. Основы научных исследований в агрономии. М.: Колос, 1996. 336 с.
21. Ченкин А.Ф., Черкасов В.А., Захаренко Н.Р. Справочник агронома по защите растений. М.: Агропромиздат, 1990. 367 с.
22. Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. 2-е изд. Новосибирск, 2012. 282 с.
23. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. 5-е изд. доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
24. Абеленцев В.И. Факторы, снижающие эффективность обеззараживания семян // Защита и карантин раст. 2007. № 3. С. 28–29.

Influence of Multicomponent Protectors on Seeding Phytopathogens and Spring Wheat Phytocenosis

S. V. Burlakova^{a,#}, N. G. Vlasenko^{a,##}, N. D. Chkanikov^b, and S. S. Khalikov^{b,###}

^a Siberian Research Institute of Soil Management and Chemicalization of Agriculture SFSCA RAS
r.p. Krasnoobsk post office box 463, Krasnoobsk district, Novosibirsk region 630501, Russia

^b Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds RAS
ul. Vavilova 28, Moscow 119991, Russia

[#] E-mail: burlackovasweta@yandex.ru

^{##} E-mail: vlas_nata55@mail.ru

^{###} E-mail: salavatkhalikov@mail.ru

Under laboratory and growing experiments, studies were conducted to identify the growth-promoting and protective effect on wheat of multicomponent suspension concentrates of dressing agents based on imazalil, metalaxyl and tebuconazole with the addition of floroxane and crezacin obtained by mechanochemical suspension methods. It was found that under laboratory conditions, fungicidal compositions with crezacin and floroxan suppressed seed infection by 2 times and had a pronounced growth-promoting effect on the leaves and roots of 7-day-old spring wheat seedlings, and increased laboratory germination of seeds. Under the conditions of the growing experiment, fungicides with crezacin and floroxane were effective against ordinary root rot, increased field germination of seeds, increased aerial and root mass of plants, and influenced the formation of wheat productivity. The fungicidal composition with the addition of floroxane turned out to be the most effective, which ensured an increase in grain yield by 0.62 t/ha with a yield in control of 6.28 t/ha.

Key words: suspension preparations, mechanochemistry, phenylamides, azoles, crezacin, floroxane, seed protection, spring wheat, biological effectiveness

УДК 632.95:543.544:543.51

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛЮФОСИНАТА АММОНИЯ И ЕГО МЕТАБОЛИТА В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУРАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ С МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ

© 2020 г. В. В. Человечкова^{1,2,*}, Н. С. Волосатова^{1,2}

¹Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений
196608 Санкт-Петербург–Пушкин, ш. Подбельского, 3, Россия

²ООО “Инновационный центр защиты растений”
196607 Санкт-Петербург–Пушкин, ул. Пушкинская, 20, лит. А, пом. 7-Н, Россия

*E-mail: vchelovechkova@mail.ru

Поступила в редакцию 28.10.2019 г.

После доработки 15.11.2019 г.

Принята к публикации 10.02.2020 г.

Предложена методика определения глюфосината аммония (ГФА) и его метаболита 3-метилфосфино-пропионовой кислоты (МФПК) в ботве и клубнях картофеля, в зерне и соломе зерновых колосовых культур с применением высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием, после их извлечения из образцов органическим растворителем. Идентификация веществ проведена по времени удерживания, количественное определение – методом абсолютной калибровки. Избирательность метода обеспечена сочетанием условий подготовки проб и хроматографирования.

Ключевые слова: глюфосинат аммония, 3-метилфосфино-пропионовая кислота, ботва, клубни картофеля, зерно, солома, масс-спектрометрия.

DOI: 10.31857/S0002188120050051

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день в мировой практике прослежена тенденция к снижению уровня пестицидных остатков в сельскохозяйственной продукции и окружающей среде, поскольку от этого напрямую зависит здоровье населения планеты и его сохранение.

Необходимость определения пестицидов в объектах со сложной матрицей выдвигает особые требования к селективности соответствующих анализов. Наибольшее распространение получили хроматографические методы – газожидкостная и высокоэффективная жидкостная хроматография. Для обнаружения следовых количеств пестицидов хорошо зарекомендовал себя масс-спектрометрический детектор [1]. Такой метод детектирования является наиболее чувствительным и селективным, а в некоторых случаях позволяет пренебречь стадией очистки экстрактов, что уменьшает потери аналита и сокращает трудо- и времязатраты на анализ.

Данная работа посвящена разработке метода определения глюфосината аммония (ГФА) и его метаболита – 3-метилфосфино-пропионовой кислоты (МФПК) в ботве и клубнях картофеля, в зерне и соломе зерновых колосовых культур с применением высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием. Из более ранних методов известен метод определения с применением пластин “силуфол” и обнаружением этих веществ по реакции с нингидридом и методика дериватизации с применением газожидкостной хроматографии.

Глюфосинат аммония (рис. 1) – аммоний DL-гомоаланин-4-ил-(метил)-фосфинат, брутто формула – $C_5H_{15}N_2O_4P$, молекулярная масса – 198.2 D. Химически чистое вещество представляет собой кристаллический порошок со слабым специфическим запахом. Температура плавления – 215°C, коэффициент распределения в системе *n*-октанол–вода – $Kow \log P < 0.1$ (22°C), давление паров – < 0.1 мПа. Растворимость (г/дм³, 20°C) в: воде – 1370, ацетоне – 0.16, этаноле – 0.65, этилацетате –

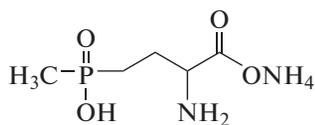


Рис. 1. Структурная формула глюфосината аммония (ГФА) То же на рис. 3, 4.

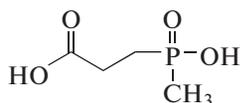


Рис. 2. 3-метилфосфино-пропионовая кислота (МФПК). То же на рис. 3, 4.

0.14, толуоле – 0.14, гексане – 0.2. В нормальных условиях, в щелочных и умеренно кислых средах вещество стабильно.

Глюфосинат аммония – не селективный, контактный десикант с ограниченной системностью, передвигающийся только внутри обработанных листьев. Используется для уничтожения однолетних и многолетних широколистных и злаковых сорняков в парах, посадках плодовых и цитрусовых культур, ягодных кустарников и на виноградниках, а также в посевах овощных культур при довсходовом применении препарата. В РФ для глюфосината аммония установлены следующие гигиенические нормативы (ГН 1.2.3539-18): картофель – 0.5, рапс (зерно) – 5.0, гречиха, просо, зерно хлебных злаков – 0.4 мг/кг. В воде и растениях подвержен разрушению с образованием метаболита – 3-метилфосфино-пропионовой кислоты (рис. 2).

Брутто формула 3-метилфосфино-пропионовой кислоты – $C_4H_9O_4P$, молекулярная масса – 152.1 D. Представляет собой белый кристаллический порошок. Температура плавления – 288–291°C. Растворима в воде и метаноле.

Цель работы – разработка метода определения глюфосината аммония и его метаболита 3-метилфосфтно-пропионовой кислоты в ботве и клубнях картофеля, в зерне и соломе зерновых колосовых культур с применением высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Пробу измельченной ботвы, клубней картофеля, зерна (5 г) или соломы (2 г) помещали в полипропиленовую центрифужную пробирку объемом 50 мл, добавляли 10 мл раствора соляной кислоты в метаноле, в соотношении 1:99, для соломы – 20 мл. Пробирку плотно закрывали, по-

мещали в перемешивающее устройство на 15 мин, затем на 10 мин в центрифугу. После этого аликвоту экстракта 6 мл переносили в пробирку объемом 15 мл, содержащую 0.180 г PSA (Сорбент для твердофазной экстракции на основе силикагеля с привитыми пропиламинными группами $(CH_2)_3NH_2$), повторно помещали на 10 мин в перемешивающее устройство и затем центрифугировали в течение 10 мин при скорости 4000 об./мин. После отбирали 1 мл верхнего слоя и переносили в круглодонную колбу, упаривали на ротационном испарителе досуха. Сухой остаток растворяли в 1 мл 0.5%-ного раствора муравьиной кислоты в воде и 5 мкл вводили в хроматограф.

Инструментальная часть. Все испытания были выполнены на хромато-масс-спектрометре, Bruker EVOQ Cube производства фирмы Bruker, состоящем из высокоэффективного жидкостного хроматографа “Bruker Advanced UHPLC” и масс-спектрометра “Bruker модели EVOQ Cube”. Разделение компонентов проб проводили на аналитической колонке “Teruo Acclaim RSLC” (100 × 2.1) мм, 2.2 мкм. Температура колонки 40°C.

В качестве элюента использовали смесь метанола и 0.5%-ного раствора муравьиной кислоты в воде, пробы анализировали в различных градиентных режимах.

Пробы ботвы и клубней картофеля анализировали со скоростью потока элюента 0.15 мл/мин. Режим элюирования – изократический: фаза А – 0.5%-ная муравьиная кислота, фаза В – метанол в соотношении 99:1. Пробы зерна анализировали в том же режиме, что и картофель, но со скоростью потока элюента 0.3 мл/мин.

Режим элюирования – градиентный:

Время, мин	% А	% В
0	99	1
1.00	70	30
1.50	70	30
1.51	99	1
3.00	99	1

Пробы соломы анализировали в следующем режиме:

Время, мин	% А	% В	Скорость потока элюента, см ³ /мин
0	99	1	0.15
1.5	60	40	0.15
2.5	60	40	0.30
3.5	60	40	0.30
4.0	99	1	0.15
4.5	99	1	0.15

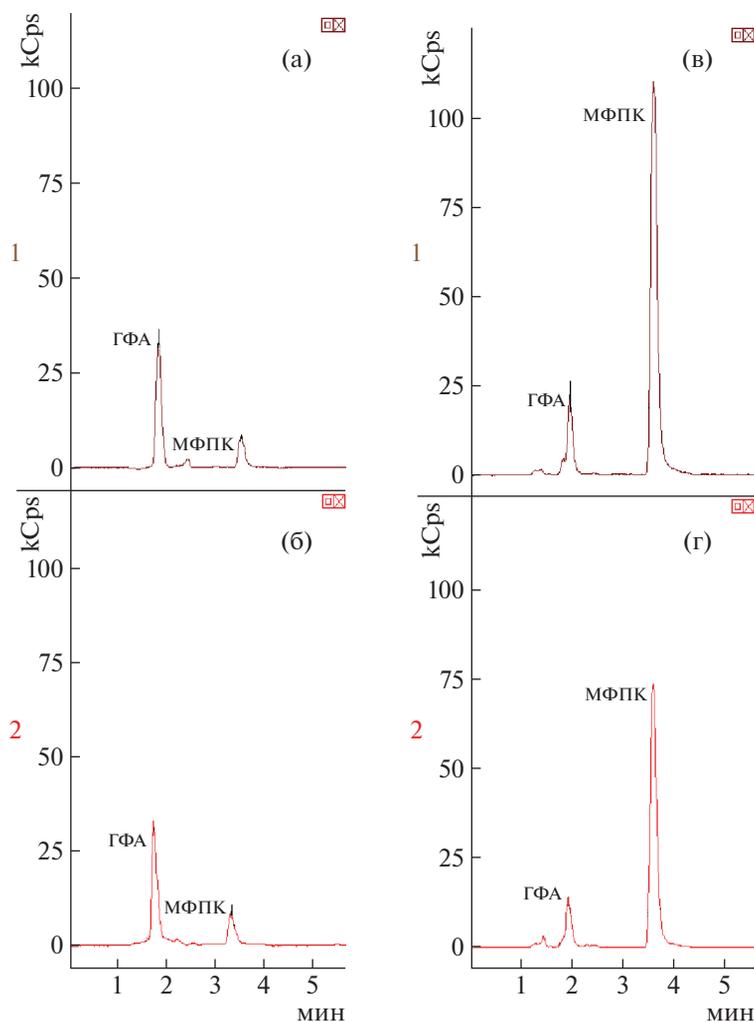


Рис. 3. Хроматограммы проб картофеля на содержание глифосината аммония: (а) – стандартных растворов ГФА и МФПК, соответствующих содержанию в ботве картофеля по 0.025 мг/кг (предел обнаружения); (б) – контрольной пробы ботвы картофеля с внесением ГФА и МФПК по 0.025 мг/кг; (в) – стандартных растворов ГФА и МФПК, соответствующих содержанию в клубнях картофеля по 0.25 мг/кг (1/2 максимально допустимого уровня); (г) – контрольной пробы клубней с внесением ГФА и МФПК на уровне 0.25 мг/кг.

Масс-спектрометрические условия – ионный источник HESI (электроспрей): 1 – для ботвы и клубней картофеля. Напряжение на источнике 4200 V (отрицательная полярность), температура конуса 250°C, поток газа из конуса 20 дм³/мин, поток распыляющего газа 50 дм³/мин, температура осушающего газа 650°C, поток осушающего газа 40 дм³/мин. Режим сканирования: мониторинг заданных реакций (MRM) глифосината аммония – 180 → 63, 180 → 85, 180 → 95 и 3-метилфосфинопропионовой кислоты – 151 → 63, 151 → 107, 151 → 133; 2 – для проб зерна и соломы. Напряжение на источнике 5000 V (отрицательная полярность). Температура конуса 250°C, поток газа из конуса 20 дм³/мин, поток распыляющего газа 40 дм³/мин, температура осушающего газа 280°C, поток осу-

шающего газа 40 дм³/мин. Режим сканирования: мониторинг заданных реакций (MRM) глифосината аммония – 180 → 63, 180 → 85, 180 → 95 и 3-метилфосфинопропионовой кислоты – 151 → 63, 151 → 107, 151 → 133 (рис. 3, 4).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

К более ранним методам определения относится метод, основанный на концентрировании водного экстракта, очистке и выделении ГФА на колонке с полисорбом и определении из аликвоты подготовленного экстракта хроматографией на пластинках “силуфол” с обнаружением по реакции с нингидрином [2].

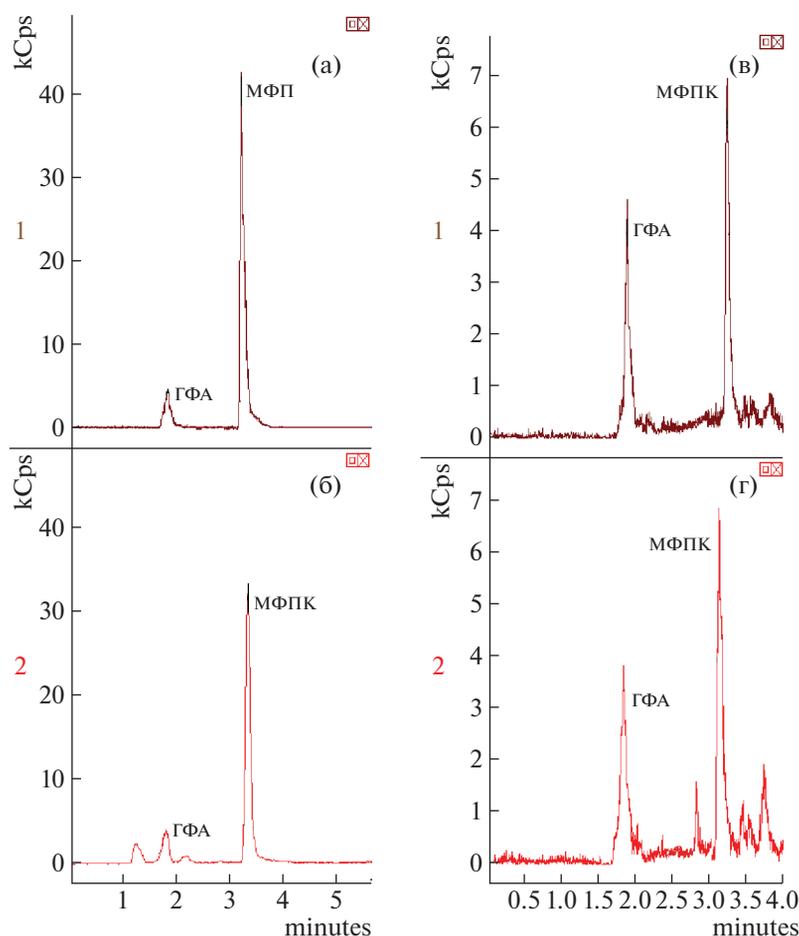


Рис. 4. Хроматограммы проб зерна и соломы на содержание глюфосината аммония: (а) – стандартных растворов ГФА и МФПК, соответствующая содержанию в зерне 0.2 мг/кг (1/2 МДУ); (б) – контрольной пробы зерна с внесением ГФА и МФПК по 0.2 мг/кг (1/2 МДУ); (в) – стандартных растворов ГФА и МФПК, соответствующая их содержанию в соломе по 0.125 мг/кг (предел обнаружения); (г) – контрольной пробы соломы с внесением ГФА и МФПК на уровне 0.125 мг/кг (предел обнаружения).

Для клубней картофеля (диапазон 0.25–2.5 мг/кг) известен метод для определения ГФА и его метаболита МФПК по их дериватам с помощью капиллярной газожидкостной хроматографии с использованием термоионного детектора после экстракции веществ из образцов водой, очистки экстрактов на концентрирующих патронах для твердофазной экстракции с сильноосновным сорбентом с привитыми четвертичными аммониевыми группами, дериватизации веществ с помощью триметилортоацетата в кислой среде и последующей очистки полученных дериватов на концентрирующих патронах для твердофазной экстракции с гидрофильным слабокислым сорбентом с постоянной активностью [3].

Данные методики являются очень трудоемкими и требующими значительных количеств разнообразных реагентов и дополнительных операций в процессе пробоподготовки. Использование

метода ВЭЖХ-МС позволяет анализировать пробы без предварительных модификаций.

В предложенном нами методе пробоподготовки проверяли такой параметр, как продолжительность экстракции. Установлено, что увеличение промежутка времени на стадии экстракции на извлечение искомым компонентов не влияет. В МУК 4.1.3343-16 [4] экстрагирование проводят в течение 1 ч на аппарате для встряхивания. Нами было установлено, что достаточно 10 мин на этой стадии, чтобы получить извлечение >80%.

В качестве экстрагента пробовали применять смесь муравьиной кислоты и метанола, однако в этом случае хроматографический профиль был более загрязнен посторонними пиками. Поэтому заменили в составе экстракционной смеси муравьиную кислоту на соляную, что привело к лучшему результату.

Таблица 1. Объекты анализа, диапазоны определяемых концентраций, полнота извлечения глюфосината аммония и 3-метилфосфино-пропионовой кислоты (стандартное отклонение, доверительный интервал среднего результата для $n = 20$, $P = 0.95$)

Анализируемый объект	Предел количественного определения, мг/кг	Диапазон определяемых концентраций, мг/кг	Полнота извлечения вещества, %	Стандартное отклонение, %	Доверительный интервал среднего результата, \pm %
Глюфосинат аммония					
Ботва картофеля	0.025	От 0.025 до 0.2 включительно	90.6	4.17	1.83
Клубни картофеля	0.025	От 0.025 до 0.2 включительно	91.3	5.87	2.57
Зерно	0.025	От 0.025 до 0.2 включительно	80.9	4.39	1.92
Солома	0.125	От 0.125 до 1.0 включительно	80.8	3.11	1.36
3-метилфосфино-пропионовая кислота					
Ботва картофеля	0.025	От 0.025 до 0.2 включительно	94.1	6.18	2.71
Клубни картофеля	0.025	От 0.025 до 0.2 включительно	81.5	5.53	2.43
Зерно	0.025	От 0.025 до 0.2 включительно	82.0	4.05	1.77
Солома	0.125	От 0.125 до 1.0 включительно	86.7	3.36	1.47

На этапе очистки в качестве сорбента использовали активированный уголь, силикагель, оксид алюминия, но наилучший результат по доле извлечения и чистоте профиля дал сорбент для твердофазной экстракции на основе силикагеля с привитыми пропиламинными группами $(\text{CH}_2)_3\text{NH}_2$.

В процессе изучения хроматографического поведения ГФА и МФПК удалось добиться их совместного определения на наиболее широко применяемой для ВЭЖХ колонке, заполненной сорбентом с привитыми монофункциональными полярными группами C_{18} . Разные масс-спектрометрические условия для анализа проб картофеля и зерновых, а также калибровка по матрицам связаны с необходимостью нивелирования матричного эффекта.

Таким образом, в результате совокупности подобранных этапов выделения, очистки и идентификации удалось добиться полноты извлечения исследованных веществ в диапазоне 80–91%, в зависимости от анализируемого объекта (табл. 1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате исследования были подобраны оптимальные условия для совмест-

ного извлечения и количественного определения двух веществ — глюфосината аммония и его метаболита 3-метилфосфино-пропионовой кислоты в сельскохозяйственной продукции. Дополнительная очистка экстрактов проб позволила значительно продлить срок эксплуатации хроматографической колонки и значительно сократить временные затраты на подготовку к выполнению измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долженко В.И., Цибульская И.А., Комарова А.С., Черменская Т.Д. Определение остаточных количеств валифеналата в воде, почве, ботве и клубнях картофеля, винограде и виноградном соке, и его метаболитов (IR 5839 и РСВА) в воде и почве методом высокoeffективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием. Метод. указ. (МУК 4.1.3410-16). М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2017. 20 с.
2. Новикова К.Ф., Калинин В.А., Гиренко Д.В., Борисов Г.С., Устинова Т.Н. Методические указания по определению микроколичеств пестицидов в продуктах питания, кормах и внешней среде (МУ № 6190-91). Сб. № 22. М.: Центр научно-технической информации, пропаганды и рекламы, 1994. 20 с.

3. *Калинин В.А., Калинина Т.С.* Определение остаточных количеств глюфосината аммония и его метаболита в клубнях картофеля методом капиллярной газожидкостной хроматографии (МУК 4.1.3205-14). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2015. 26 с.
4. *Корзун Т.А., Сухова В.Л., Добрева Н.И., Добрев С.Д., Джанпаридзе М.Т.* Измерение остаточного содержания глюфосината аммония и его метаболита 3-метилфосфино-пропионовой кислоты в семенах и масле подсолнечника, семенах и масле рапса, семенах гороха методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с тандемным масс-спектрометрическим детектированием (МУК 4.1.3343-16). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2016. 19 с.

Optimization of the Method for Determining Ammonium Glucosinate and Its Metabolite in Agricultural Crops Using High-Performance Liquid Chromatography with Mass Spectrometric Detection

V. V Chelovechkova^{a,b,#} and N. S. Volosatova^{a,b}

^aAll-Russian Research Institute of Plant Protection
sh. Podbelskogo 3, St. Petersburg–Pushkin 196608, Russia

^bLtd. “Innovation Center of Plant Protection”
Pushkinskaya ul. 20-A, 7-H, St. Petersburg–Pushkin 196607, Russia

[#]E-mail: vchelovechkova@mail.ru

A method for the determination of glufosinate ammonium (GFA) and its metabolite 3-(methylphosphinico)propionic acid (MPPC) in potato and cereal crops by high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry was proposed. GFA and MPPC were extracted from samples with an organic solvent. Identification of substances was carried out by retention time, quantitative determination – by the absolute calibration method. The selectivity of the method is ensured by a combination of sample preparation and chromatography conditions.

Key words: glufosinate ammonium, 3-(methylphosphinico)propionic acid, top, potato tubers, grain, straw, mass spectrometry.

УДК 632.954

ПУТИ СНИЖЕНИЯ ФИТОТОКСИЧНОСТИ ОСТАТКОВ СУЛЬФОНИЛМОЧЕВИН В ПОЧВЕ С ПОМОЩЬЮ АНТИДОТОВ¹

© 2020 г. Н. Д. Чкаников^{1,*}, Ю. Я. Спиридонов², С. С. Халиков^{1,**}, А. М. Музафаров¹

¹Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН
119991 Москва, ул. Вавилова, 28, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии,
143050 п/о Большие Вяземы, Московская обл., ул. Институт, влад. 5, Россия

*E-mail: nchkan@ineos.ac.ru

**E-mail: salavatkhalikov@mail.ru

Поступила в редакцию 22.12.2019 г.

После доработки 24.01.2020 г.

Принята к публикации 10.02.2020 г.

В контексте проблемы снижения потерь урожая сельскохозяйственных культур от остатков в почве фитотоксичных гербицидов в обзоре комплексно рассмотрены взаимоотношения гербицидов с антидотами (сейфнерами, индукторами устойчивости растений). Дана характеристика сульфонилмочевинных гербицидов, позволяющая оценить причины негативных проблем, возникающих при их использовании, и возможности их совместного применения с антидотами. Обобщены результаты последних исследований механизмов функционирования антидотов. Обсуждены результаты работ, направленных на создание эффективных комплексных протравителей для защиты посевов от остатков сульфонилмочевин, а также перспективы развития этого направления.

Ключевые слова: гербициды, сульфонилмочевины, фитотоксичность, антидоты, сейфнеры, фторорганические соединения, комплексные протравители.

DOI: 10.31857/S0002188120050063

ВВЕДЕНИЕ

Современное индустриальное сельское хозяйство предполагает широкое использование химических средств защиты растений. Глобальный рынок агрохимикатов составляет около 60 млрд долларов в год и продолжает расти. Наибольшую долю рынка занимают гербициды: 40–60% в зависимости от доминирования тех или иных культур в различных частях света. В последние годы интенсивно росло производство биопрепаратов, однако их доля составляет всего 3–4% относительно химических средств защиты растений, причем чаще всего их применяют в сочетании с химическими средствами защиты [1, 2]. Таким образом, очевидно, что производство продуктов питания для широких слоев населения связано с массовым применением химических средств защиты растений, и альтернативы этому сегодня не существует. Необходимость использования гербицидов, кроме экономических причин напрямую связана с социальными требованиями сни-

жения доли неквалифицированного тяжелого ручного труда.

Среди факторов, отрицательно влияющих на урожайность сельскохозяйственных культур в нашей стране, сорная растительность занимает первое место. Гербициды являются единственным реальным способом борьбы с сорняками в промышленных масштабах. При этом надо учитывать, что гербициды не обладают абсолютной избирательностью действия по отношению к сорнякам. Таким образом, существует проблема повышения избирательности действия гербицидов, заключающаяся в защите культурных растений от их токсического действия.

Остатки гербицидов в почве могут нанести непоправимый урон культуре, которая будет выращиваться на этом поле на следующий год и в некоторых случаях даже позже. Преодолеть это можно снижением концентрации фитотоксичных остатков гербицидов в почве (интенсификация разложения, сорбция), а также применением антидотов (сейфнеров, индукторов устойчивости), снимающих или снижающих токсическое

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты РФФИ № 15-29-05792, 15-29-05793, 15-29-05043, № 19-29-05043).

воздействие гербицидов на культурное растение [3, 4].

В последние годы проблема загрязнения почвы остатками высоко активных гербицидов приобретает в нашей стране угрожающие масштабы. Проблема обостряется тем, что снижение урожая происходит незаметно, без видимых эффектов, не обнаруживая истинных причин происходящего. Преодолеть такое положение дел можно, повысив культуру применения гербицидов, а также используя специальные технологии защиты посевов от остатков гербицидов в почве. Одним из основных элементов таких технологий может быть использование антидотов (сейфнеров), защищающих посевы от действия фитотоксикантов. Механизмы функционирования антидотов не были ясны до последнего времени, их понимание связано с достижениями молекулярной биологии. К настоящему моменту накопилось, как нам кажется, достаточно материала, позволяющего предложить широкому кругу специалистов, имеющих отношение к агрохимии, комплексный анализ проблемы взаимоотношения антидотов с такими активными и широко используемыми гербицидами как сульфонилмочевины. Кроме того, авторы выносят на рассмотрение результаты своих исследований, направленных на поиск эффективных антидотов к сульфонилмочевинам.

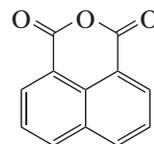
АНТИДОТЫ ГЕРБИЦИДОВ, ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ, МЕХАНИЗМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ, НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Впервые эффект защиты растений от гербицидов обнаружен в 1947 г. Отто Хоффманом, который показал, что растения томата, обработанные 2,4,6-Т (2,4,6-трихлорфеноксисуксинной кислотой) приобретали устойчивость к гербициду 2,4-Д (2,4-дихлорфеноксисуксинной кислоте) [5]. Дальнейшее изучение доказало, что обработка листьев 2,4-Д защищала растения при последующей обработке гербицидом группы карбаматов – препаратом барбан [6]. К сожалению, этот эффект не мог быть использован в практических целях, т.к. обработка 2,4-Д семян приводила к гибели растений, а опрыскивание посевов – к понижению активности гербицида в отношении целевой сорной растительности [7, 8]. Вместе с тем понимание задачи стимулировало целевой поиск соединений с антидотной активностью. В результате скрининга химических соединений в 1971 г. запатентован 1,8-нафталевый ангидрид (NA) (рис. 1) как средство, защищающее кукурузу от тиокарбаматных гербицидов при предпосевной обработке семян [9]. NA так и не появился на рынке, поскольку был вытеснен появившимся

чуть позже антидотом дихлормидом (диаллиламид дихлоруксусной кислоты), применение которого в смесях с гербицидами при опрыскивании растений давало больший экономический эффект [10, 11]. Другой причиной называют некоторую фитотоксичность NA, которая проявлялась при хранении обработанных семян [12, 13]. Тем не менее, открытие NA стимулировало интенсивный индустриальный поиск соединений, способных повышать селективность гербицидов. В результате такие препараты были найдены. Интересно, что они принадлежали к различным классам химических соединений, не имевшим между собой структурного сходства. В основном отбирали соединения, защищающие зерновые культуры: кукурузу, рис, сорго. Причем, если на первом этапе предпочтение отдавали препаратам для предпосевной обработки семян, то в дальнейшем приоритет перешел к соединениям, подходящим для совместного применения при опрыскивании растений такими высокоактивными гербицидами как арилоксифеноксипропинаты, сульфонилмочевины, имидазолиноны, изоксазолиноны, циклогександионы и изоксалидиноны [11, 13–15]. При этом важно отметить, что одни и те же антидоты могут защищать от гербицидов с разным механизмом действия. В настоящее время является общепринятым, что антидоты (сейфнеры) активируют экспрессию генов, ответственных за защиту от ксенобиотиков, т.е. чужеродных биологическим организмам органических веществ. Растения, как правило, имеют 3 фазы детоксикации гербицидов: 1-я – окислительная дегидратация исходной молекулы с последующей конъюгацией на 2-й стадии с эндогенными субстратами. В некоторых случаях исходная молекула может миновать первую фазу и непосредственно войти во 2-ю фазу. В процессе 3-й фазы образовавшиеся метаболиты могут подвергаться дальнейшей конъюгации с образованием нерастворимых остатков, которые затем изолируются в вакуолях или связываются в биополимеры лигнина [16].

Реакции, происходящие на 1-й стадии детоксикации, направлены на образование в структуре ксенобиотика реакционноспособных функциональных групп, которые могут подвергаться дальнейшему метаболизму и детоксикации. Большинство реакций катализируются цитохром P₄₅₀-зависимыми моно-оксигеназами (cytochrome P₄₅₀ monooxygenases – P₄₅₀s), которые используют для окисления молекулярный кислород. К наиболее общим цитохром P₄₅₀-зависимым реакциям относятся гидроксирование ароматического ядра или алкильных групп, включая окисление C-атома, присоединенного к атомам кислорода или азота, что в конечном счете приво-

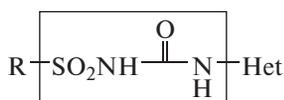
дит к деалкилированию. Естественно предположить, что эти же ферменты могут участвовать также в нормальном метаболизме растений. Действительно, существует около 50 подобных окислительных систем, использующихся растениями для метаболизма стирола, терпенов, изофлавоноидов, гибберелинов, абсцизовой кислоты, цитокининов, лигнина. Некоторые реакции фазы I катализируются пероксидазами, которые используют для окисления пероксид водорода. Таким путем окисляется, например, индолилуксусная кислота. Кроме того, важными процессами 1-й стадии являются восстановление и гидролиз карбоксилэстеразами [16]. Функционализация ксенобиотика позволяет перейти ко 2-й фазе — к реакциям конъюгации, в ходе которых созданная функциональная группа используется для конъюгации с другими молекулами такими, например, как моносахариды или трипептид глутатион (glutathione — GSH), являющимся важнейшим тиолом в клетке. Гликозилирование осуществляется уридиндифосфат-зависимыми гликозилтрансферазами (*UDP* — depended glycosyltransferases (*UGTs*)). Это семейство ферментов играет ключевую роль в биосинтезе гормонов растений и детоксикации токсинов, продуцируемых патогенами. Наиболее хорошо изученной группой ферментов, включенных в метаболизм гербицидов, являются глутатион-S-трансферазы (glutathione S-transferases — *GSTs*), которые катализируют конъюгацию тиола с электрофильным сайтом субстрата. Каталитический механизм таких превращений включает замещение тиолат анионом галогена или фенольной группы субстрата. Транспорт образовавшихся конъюгатов в вакуоли (фаза 3) осуществляется так называемыми белками множественной лекарственной устойчивости (multidrug resistance-associated protein — *MRP*), к которым принадлежит субсемейство *ABC*-транспортёров, транспортная функция которых изучена в последнее время [17]. Трансформации конъюгатов включают такие реакции как частичная деградация, вторичная конъюгация, инкорпорация в клеточную стенку (фаза 4). Приведенная схема детоксикации ксенобиотиков в растениях описывает только основные, наиболее изученные процессы. Среди менее распространенных биотрансформаций гербицидов известно окисление атомов азота и серы, восстановление нитрогрупп, альдегидов, кетонов, восстановление непредельных карбонильных соединений, а также различные изомеризации [16, 18]. В настоящее время очевидно, что сейфнеры активируют ферментативные системы, ответственные за детоксикацию и защиту растения, такие как *P450s*, *UGTs*, *GSTs*, *ABC*-транспортёры, при этом сами они не обладают существенной токсичностью. Активация осуществ-



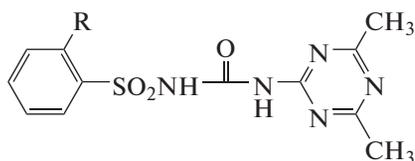
1,8-нафталевый ангидрид (NA)

Рис. 1. Структурная формула нафталевого ангидрида (NA).

ляется через повышение экспрессии генов, включенных в метаболизм гербицидов. Пониманию происходящих при этом процессов способствуют интенсивные исследования по установлению генов важнейших сельскохозяйственных растений, которые начались с полного секвенирования (установления всей линейной последовательности нуклеотидов генома) горчицы малой — арабидопсиса (*Arabidopsis thaliana*) [19]. Другим важнейшим направлением современных молекулярно-биологических исследований является изучение сигнальных механизмов, вызывающих повышение экспрессии этих генов. В последние годы собран достаточный экспериментальный материал для подтверждения гипотезы о том, что сейфнеры подключаются к существующему в растениях сигнальному пути, который служит адаптации к изменяющимся биотическим и абиотическим факторам внешней среды. Такая защитная система сформирована производными окисленных ненасыщенных жирных кислот, оксипипинами, которые вовлечены в процессы роста и развития всех аэробных организмов, а также в формирование ответных реакций организма на сигналы внешней среды. Оксипипины образуются ферментативно или спонтанно из ненасыщенных жирных кислот. В растениях субстратами для образования оксипипинов служат 16- и 18-углеродные ненасыщенные жирные кислоты. Пути биосинтеза оксипипинов достаточно просты, но обеспечивают образование разнообразных по структуре биологически активных соединений. Оксипипины участвуют в переносе стрессовых сигналов, регулируют экспрессию стресс-индуцируемых генов, а также взаимодействуют с многочисленными сигнальными путями в растительных клетках, включая сигнальные пути гормонов — ауксина, гиббереллина, этилена и абсцизовой кислоты [16, 19]. Среди всех оксипипинов в особую группу выделяют так называемые активные формы электрофилов (Reactive Electrophile Species — *RES*) к которым относятся α, β -ненасыщенные карбонильные соединения, такие, например, как 2(E)-алкенали, кетодиены и кетотриены жирных кислот. *RES* атакуют неэлектрофильные участки органических молекул, таких как глутатион, бел-



сульфонилмочевинные гербициды



хлорсульфурон R = Cl 1

метсульфурон-метил R = COOCH₃ 2

Рис. 2. Структурные формулы хлорсульфурона и метсульфуронметила, а также определяющий фрагмент молекулы сульфониломочевин.

ки, нуклеиновые кислоты, изменяя свойства этих молекул, и зачастую приводя к поражению клеточных структур. Вместе с тем роль этих соединений в клетке не ограничивается деструктивными эффектами, *RES* индуцируют экспрессию генов, вовлеченных в регуляцию защитных реакций растений на избыточное освещение и присутствие ксенобиотиков, а также генов, контролирующих клеточный цикл [19, 20].

Переходя к вопросам практического применения антидотов, следует констатировать, что возможности использования пары гербицид–антидот очень широки. Такие сочетания можно использовать для следующих целей [11]:

- защита посевов от повреждающего уровня пестицидных остатков в почве, что позволяет проявлять большую гибкость при выборе культур в севообороте;

- использовать гербициды с предпочтительным токсикологическим профилем, но не обладающие высокой избирательностью;

- контроль над сорняками, ботанически родственными возделываемой культуре;

- защита минорных сельскохозяйственных культур, для которых разработка селективных гербицидов экономически не оправданна.

В настоящем обзоре обсуждается только первое применение из перечисленных. При этом в качестве фитотоксиканта имеет смысл рассматривать гербициды, обладающие высокой активностью и высокой персистентностью, т.е. способностью долго сохраняться в почве. Такое сочетание свойств определяет “отрицательное последствие”, т.е. угнетение остатками гербицида в почве культур севооборота, которые высевают через 1 год или позже после применения гербицида.

СУЛЬФОНИЛМОЧЕВИНЫ: СТРУКТУРА, СВОЙСТВА, ПРОБЛЕМА ОСТАТКОВ В ПОЧВЕ

Наиболее высокой биологической активностью обладают гербициды класса сульфониломочевин. Структура соединений этого класса характеризуется наличием сульфониломочевинного мостика между замещенным азином (*симм*-триазином, пиримидином) и *орто*-замещенным арильным или гетарильным остатком. Первым представителем этого класса соединений был хлорсульфурон (Chlorsulfuron) (**1**), коммерциализированной компанией DuPont в 1982 г. (рис. 2). В настоящее время зарегистрировано около 30 д.в. этого ряда, которые используют более чем в 80 странах мира для прополки основных агрономических культур [21]. В России зарегистрирована и широко используется большая часть разработанных препаратов этого класса [22]. Сульфониломочевины применяют в низких дозах (10–100 г/га), обеспечивая высокую избирательность действия и безопасность для человека и животных. Связано это с тем, что механизм фитотоксического действия сульфониломочевин состоит в ингибировании ацетолактатсинтетазы *АЛС* (acetolactate synthase *ALS*, также называемой acetohydroxycide synthase *AHAS*, EC 2.2.1.6) – первого фермента на пути биосинтеза аминокислот с разветвленной цепью (валин, лейцин, изолейцин). Ингибирование этого фермента останавливает синтез белка, что приводит к остановке деления клеток и последующей гибели организма. Такой метаболический путь существует только у грибов, бактерий, водорослей и высших растений, что обеспечивает низкую токсичность для других организмов, включая теплокровных [23].

При крайне благоприятных токсикологических характеристиках сульфониломочевин потенциальную опасность представляет их высочайшая фитотоксичность по отношению ко многим культурным растениям. Такие важнейшие сельскохозяйственные культуры как зерновые злаки (пшеница, рожь, ячмень, овес) относительно устойчивы к сульфониломочевинам, но возникает проблема с выращиванием культур, следующих в севообороте за злаками. Особенно опасны в этом отношении широко использующиеся в сельскохозяйственном производстве хлорсульфурон **1** и метсульфурон-метил **2**. Остаточные количества этих гербицидов могут повреждать ряд культур, следующих за зерновыми: сахарную свеклу, сою, рапс, кукурузу и т.п. [24, 25]. Существуют многочисленные примеры фитотоксического действия остатков сульфониломочевин в почве. Например, урожай льна, сахарной свеклы, чечевицы, гороха и картофеля, полученный через 1 год после обра-

ботки участка хлорсульфуроном в дозе 10–40 г/га уменьшался в 2–9 раз. Остатки метсульфурон-метила в почве через год после применения в дозе 4.5 г/га снижали урожай люцерны на 38, картофеля – на 28% [25]. Подобных примеров можно найти большое количество, однако очевидно, что количественные показатели потерь урожая различных культур зависят от персистентности сульфонилмочевин в различных условиях.

Разложение сульфонилмочевин в почве происходит в результате химического гидролиза, фотолитического под действием света и микробиологической трансформации под действием микроорганизмов [26]. Существуют данные, полученные для метсульфурон-метила, что при $\text{pH} < 6.0$ основным путем разложения в почве является химический гидролиз, при более высоких величинах pH преобладает микробиологическое разложение. В слабощелочных условиях ($\text{pH} 4.0\text{--}6.0$) с достаточно высокой скоростью реализуется гидролиз карбамидных связей сульфонилмочевин. При этом гербициды теряют свою фитотоксичность. Соответственно, остатки сульфонилмочевин представляют опасность для посевов в нейтральных и щелочных почвах [27]. На скорость разложения влияют также характеристики почвы, включая влажность, температуру, содержание органического вещества [28, 29]. В неблагоприятных для разложения сульфонилмочевин условиях (щелочная реакция почвы, низкие температуры и недостаточная влажность) последствия применения хлорсульфурана и метсульфурон-метила можно наблюдать через 2 и даже 3 года после их применения [25]. При этом показано, что остатки хлорсульфурана и метсульфурон-метила в почве даже в дозе, меньшей 0.2 г/га, могут оказать отрицательное влияние на рост и развитие таких культур как сахарная свекла, гречиха, горчица [22].

Широко используемой характеристикой персистентности гербицида является время его полужизни (полураспада) в почве [30]. В случае сульфонилмочевин этот параметр может дать искаженное представление о реальной угрозе отрицательного последствия гербицида, поскольку экспериментально показано, что достаточно быстро происходит потеря 50% активности гербицида, тогда как оставшиеся 50% сохраняются в 5–10 раз дольше [22].

УСПЕХИ СОЗДАНИЯ АНТИДОТНЫХ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПОСЕВОВ ОТ ОСТАТКОВ СУЛЬФОНИЛМОЧЕВИН

Таким образом, защита посевов от остатков сульфонилмочевин в почве безусловно актуальна. Причем в нашей стране из-за относительно невысокой культуры земледелия эта проблема

приобретает особое значение. В качестве подхода к ее решению хорошие результаты дает предпосевная обработка семян антидотами. Имеющаяся информация указывает на то, что наибольший эффект при таком применении дает *НА*. Инкрустация семян кукурузы, пшеницы, риса, или сорго нафтаlevым ангидридом в дозе 0.5 вес. % по отношению к семенам существенно повышала устойчивость всех культур к хлорсульфурону. Например, хлорсульфурон **1** в дозе 5 г/га снижал сухую массу проростков кукурузы до 15% по сравнению с не обработанным контролем. В том случае, когда семена были предварительно обработаны *НА*, масса проростков снижалась только до 80% [31]. Хлорсульфурон **1** в дозе 5 г/га снижал рост корней и стеблей кукурузы на 50–60%, но в том случае, если семена перед посевом были обработаны *НА*, для достижения такого же токсического эффекта была нужна доза хлорсульфурана 40 г/га, т.е. в 8 раз бóльшая. Эту величину называют “защитным фактором”. При обработке хлорсульфуроном **1** кукурузы, сорго и риса защитный фактор, который обеспечивает *НА*, составляет от 4 до 8. В случае пшеницы и ячменя, которые значительно более устойчивы к действию хлорсульфурана, эта величина варьирует от 2 до 4, при этом токсическая доза хлорсульфурана **1** возрастает до 100–400 г/га [32]. Высокая эффективность *НА* для защиты посевов кукурузы от хлорсульфурана подтверждена в условиях Московской обл. и Приморского края; при этом показано, что норма расхода *НА* при обработке семян может быть существенно меньше той, которую применяли раньше [33]. Механизм защитного действия *НА* связан с индукцией специфических цитохром Р₄₅₀-монооксигеназ, которые катализируют гидроксилирование гербицидного субстрата, а также с повышением активности глутатион-S-трансфераз [25, 34–36].

В СССР группой ведущих разработчиков агрохимических препаратов была впервые разработана серия комбинированных, содержащих *НА* протравителей семян кукурузы, льна, сахарной свеклы, сои и рапса, получивших общее название “копранг” (комплексный протравитель и антидот гербицидов). Сочетание в одном препарате протравителя, инсектицида и антидота позволило обеспечивать интегрированную защиту растений от поражений грибными заболеваниями, почвообитающими вредителями и повреждений остатками хлорсульфурана **1** в почве. Оптимальный способ применения препарата – предпосевное инкрустирование семян сельскохозяйственных культур, что позволило включить антидот в единую схему протравливания семян [25, 33]. Серия этих препаратов была зарегистрирована Госкомиссией РФ, однако недостаточное финансиро-

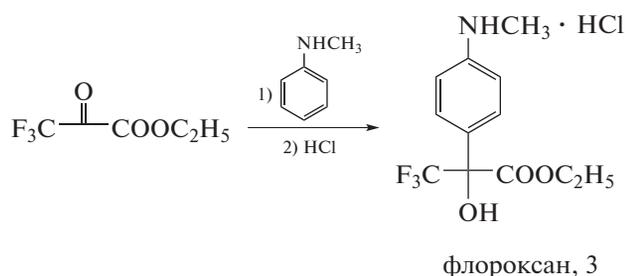


Рис. 3. Схема синтеза флороксана 3.

вание не позволило внедрить их в производственную практику [33].

В своих исследованиях, направленных на создание композиций для предпосевной обработки семян, авторы в качестве эталона использовали *NA*, поскольку до сих пор отсутствует информация о промышленных препаратах, превосходящих *NA* в качестве антидотов к сульфонилмочевинам для предпосевной обработки семян. Наш подход к созданию таких препаратов основан на использовании синтезированного (в лаборатории физиологически активных фторорганических соединений ИНЭОС РАН) регулятора роста растений, получившего коммерческое название флороксан, который представляет собой растворимый в воде гидрохлорид 2-(4-метиламинофенил)-3,3,3-трифтор-2-гидроксипропионовой кислоты (рис. 3). Это соединение обладает свойствами стимулятора роста растений, которые обнаруживаются как при предпосевной обработке семян, так и опрыскивании вегетирующих растений. В дозе всего 100 мг/т семян соединение стимулировало развитие хлопчатника, приводя в конечном счете к увеличению урожая хлопка-сырца на 20% [37, 38].

Попытки установления механизма действия этого соединения стандартными методами не дали ясных результатов. Вместе с тем анализ литературных данных позволяет сделать некоторые предположения. В 2009 г. появился патент Хоффманн ля Рош (Hoffmann-La Roche Inc.) в области контроля или предупреждения заболеваний центральной нервной системы, который защищает производные 2-фенил-3,3,3-трифтор-2-гидроксипропионовой кислоты в качестве соединений, взаимодействующих с рецепторами γ -аминомасляной кислоты (*ГАМК*) — (*GABA_B* рецептор) [39]. Таким образом, флороксан 3, содержащий метиламиногруппу в фенильном ядре, является производным, подпадающим под действие патента, и, следовательно, с высокой степенью вероятности воздействующий на *ГАМК*-рецепторы. При этом гидрофильность флороксана, успешно прошедшего токсикологические испытания, долж-

на препятствовать воздействию на ткани мозга человека и позвоночных животных, защищенные гематоэнцефалическим барьером. Вместе с тем недавно показано, что *ГАМК* находится в самом начале цепи, вызывающей реакцию растения на стресс [40]. Таким образом, есть основания полагать, что флороксан 3 воздействует на рост и развитие растений через сигнальную систему, воздействующую на метаболизм растительных гормонов, а возможно и участвует в переносе сигналов, регулирующих экспрессию стресс-индуцируемых генов. Подтверждение такого предположения требует серьезной экспериментальной проверки. Аргументом в пользу проведения такой работы является тот факт, что ряд мочевины, полученных из флороксана и родственных соединений, обладали высокой антидотной активностью по отношению к сульфонилмочевинам при применении в чрезвычайно низких дозах. Например, полученная из флороксана 3 хлорзамещенная диарилмочевина 4 (рис. 4) при обработке семян ярового рапса уже в дозе 1 г/т семян эффективно снижала токсическое действие содержащегося в почве промышленного гербицида метсульфурон-метила. Прирост зеленой массы растений при этом составлял 40% по сравнению с контролем. *NA* в такой дозе не оказывал заметного защитного действия [41, 42]. Полученный результат является первым примером эффективной защиты рапса от гербицидов класса сульфонилмочевин при предпосевной обработке семян в столь низкой дозе препарата. Показано также высокое защитное действие изомерной диарилмочевины 5 от хлорсульфурона на льне [43]. Антидотной активностью также обладают мочевины 6 и 7 (рис. 5) [44, 45].

Также продолжена разработка комплексных протравителей семян, обладающих антидотным действием (копранги) [25, 33]. В качестве исходного многокомпонентного состава использовали смесь, содержащую тебуконазол (*ТБК*) и тетраметилтиурамдисульфид (*ТМТД*) в качестве фунгицидов, *NA* как антидот, натриевую соль карбоксиметилцеллюлозы (*Na-КМЦ*) и другие формирующие компоненты. Для получения однородных суспензий использовали технологию приготовления суспензионных препаратов в шаровой мельнице [46]. Полученные препараты стимулировали всхожесть семян различных сельскохозяйственных культур (яровой пшеницы, ярового рапса, кукурузы) и стимулировали их развитие. Предпосевная обработка семян рапса позволяла преодолевать 30%-ное подавление развития растений содержащимся в почве метсульфурон-метилом [47, 48]. Дальнейшие исследования были связаны с изучением возможности замены *NA* на другой эффективный антидот. Потребность в

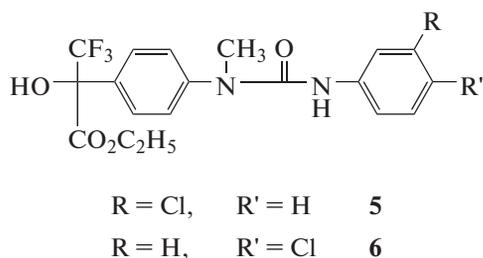


Рис. 4. Структурные формулы хлорзамещенных диуретиков 5 и 6.

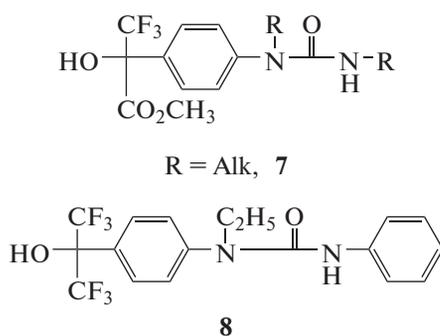


Рис. 5. Структурная формула производных мочевины 7 и 8.

этом была вызвана отмеченной выше собственной фитотоксичностью *NA*, которая проявляется при хранении обработанных семян [12, 13]. Кроме того, современные агрохимические препараты используют в значительно более низких нормах, чем принято для *NA*, поскольку сокращение нормы расхода действующих химических веществ снижает экологическую нагрузку на агробиоценоз.

В качестве кандидата на место *NA* в составе комплексного протравителя с антидотным действием испытан представитель класса N-дихлорацетил-1,3-оксазолидинов – промышленный антидот фурилазол – (R,S-3-дихлорацетил-5-(2-фурил)-2,2-диметил-оксазолидин **8** (рис. 6). Этот антидот разработан компанией Монсанто. Препарат используют в виде смесей с такими высокоактивными гербицидами как сульфонилмочевина и имидазолиноны при опрыскивании посевов кукурузы. Какие-либо данные по предпосевной обработке семян этим антидотом в печати отсутствуют. Предварительные испытания проводили *in vitro* в чашках Петри на проростках кукурузы. При проращивании семян, обработанных фурилазолом **8** в концентрациях 100 мг/т и 1 г/т семян, наблюдали значительное увеличение (до 45% длины корней и проросков). В дозе 25 г/т фурилазол проявлял ярко выраженную антидотную активность по отношению к хлорсульфурону **1**. При

подавлении гербицидом роста корней более, чем на 50%, препарат не только снимал эффект подавления роста, но и стимулировал рост корней приблизительно на такую же величину [50]. Дальнейшие испытания проводили в камерах искусственного климата (ЛИК). Для изучения влияния фурилазола на защиту всходов кукурузы от остатков в почве метсульфурон-метила **2** были приготовлены стандартные многокомпонентные композиции, содержащие в качестве антидота фурилазол в дозах из расчета 12.5, 25.0, 50.0 и 100 г/т семян. Для сравнения использовали стандартную композицию, содержащую 50.0 г *NA*/т семян. Показательным был эксперимент, в котором внесённый в почву гербицид снижал массу необработанных 3-недельных растений на 60%. Все варианты предпосевной обработки составами, содержащими фурилазол **8**, демонстрировали частичную защиту от гербицида. Оптимальными являлись дозы 50–75 г/т семян, при которых снижение массы растений составляло только 20%. Дальнейшее увеличение содержания препарата не приводило к увеличению антидотного действия, но и не вызывало дальнейшего подавления растений. Стандартная композиция, содержащая 50.0 г *NA*/т семян, не оказывала защитного действия [51]. Таким образом, фурилазол проявлял защитное действие в концентрациях, значительно более низких, чем *NA*, не обеспечивая полной защиты растений от токсичности сульфонилмочевины. Это, как нам кажется, означает, что фурилазол **8** может найти свое место в комплексных технологиях по защите растений от остатков фитотоксикантов в почве, разработку которых собираемся продолжить. Предпринята также попытка модифицировать структуру фурилазола **8** и изучить биологическую активность полученных новых соединений. Фурилазол **8** принадлежит к одному из основных классов антидотов, имеющих структуру амидов дихлоруксусной кислоты. Амиды моно- и трихлоруксусных кислот обладают меньшей активностью, чем дихлорацетильные производные [13]. Информацию о производных фурилазола, содержащих остатки фторуксусных кислот, обнаружить не удалось. Такие производные интересовали в первую очередь, поскольку введение атомов фтора часто позволяет выгодно модифицировать биологическую активность соединений [52]. При этом вероятность появления полезных свойств так велика, что в настоящее время $\approx 40\%$ пестицидов содержат атомы фтора [53]. Синтез аналогов фурилазола **10–14** осуществили ацилированием 5-(2-фурил)-2,2-диметил-оксазолидина **9** ангидридами или хлорангидридами дихлорфторуксусной (для соединения **10**), хлорфторуксусной кислоты (для **11**), хлордифторуксусной кислоты (для **12**), дифторуксусной

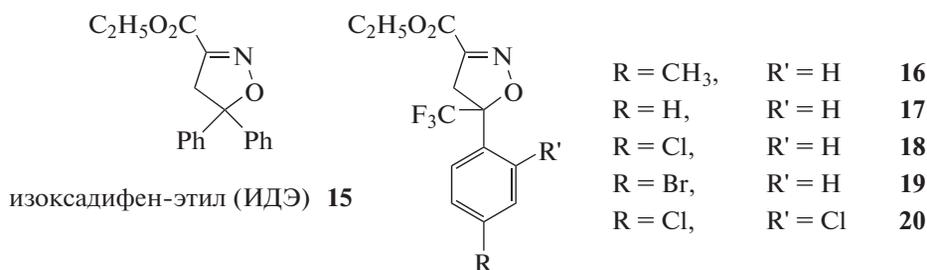


Рис. 7. Структурная формула изоксадифен-этила (ИДЭ) **15** и его фторпроизводных **16–20**.

гербицидов [59–61]. В частности, с этой целью вполне успешно использован активированный уголь. Эффективность подхода снижается за счет обратимости адсорбции сульфонилмочевин, а значит следует искать сорбенты, которые были бы способны катализировать гидролиз сульфонилмочевин. Такую функцию предположительно могут играть цеолиты и родственные соединения, изучению которых будут посвящены дальнейшие работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование антидотов в комплексных препаратах для предпосевной обработки семян позволяет в значительной степени преодолеть угнетающее действие на растения остатков сульфонилмочевинных гербицидов в почве. В качестве таких антидотов можно применять как новые оригинальные соединения, так и промышленные препараты, использующиеся в виде смеси с гербицидами для прополки посевов вегетирующих растений. Перспективным антидотом является промышленный препарат фурилазол. Разработки этого типа можно внедрять в практику сельского хозяйства уже сегодня. Применение таких технологий не требует дополнительных агрономических процедур и использует низкие дозы уже применяющихся антидотов. Для ряда сельскохозяйственных культур такие антидотные протравители можно применять профилактически.

Вместе с тем использование только антидотов, по-видимому, не позволит полностью решить проблему остатков гербицидов в почве. Разработка новых антидотов не только важна в практических целях, но и позволит использовать их как инструменты изучения защитных механизмов метаболизма растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Latifundist.com – Химический анализ: аналитика мирового рынка СЗР. 4.12.2018. (<http://latifundist.com/read/2291>).
2. Жемчужин С.Г., Спиридонов Ю.Я., Босак Г.С. Нанотехнологии и пестициды // *Агрохимия*. 2019. № 11. С. 77–85.
3. Janaki P., Sharma N., Chinnusamy C., Sakhtivel N., Nitya C. Herbicide residues and their strategies // *Ind. J. Weed Sci.* 2015. V. 47. № 3. P. 329–344.
4. Soundhia S. Herbicides residues in soil, water, plants, and non-targeted organisms and human health implications: an Indian perspective // *Ind. J. Weed Sci.* 2014. V. 46. № 1. P. 66–85.
5. Hoffman O.L. Inhibition of auxin effects by 2,4,6-trichlorophenoxyacetic acid // *Plant Physiol.* 1953. V. 28. P. 622–628.
6. Hoffman O.L., Gull P.W., Zeisig H.C., Epperley J.R.C. Factors influencing wild oat control with barban // *Proc. North. Cen. Weed Cont. Conf.* 1960. V. 17. P. 20.
7. Hoffman O.L. Chemical antidotes for EPTC on corn // *Abstr. Weed Sci. Soc. Am.* 1969. V. 9. P. 12.
8. Hoffman O.L. Herbicide antidotes: From concept to practice // *Chemistry and action herbicide antidotes* / Eds. Pallos F.M., Casida J.E. NY, USA: Academic Press, 1978. P. 35–61.
9. Hoffman O.L. Coated corn seed. US Patent 3,564,768 (1971).
10. Pallos F.M., Brokke M.E., Arnekley D.R. Belgian Patent 782120 (1972).
11. Davies J., Caseley J.S. Herbicide safeners: a review // *Pestic. Sci.* 1999. V. 55. P. 1043–1058.
12. Monako T.J., Weller C.C., Ashton F.M. Herbicides and the plants // *Weed science: Principles and practices*. NY, USA: Wiley, 2002. P. 98–126.
13. Jablonkai I. Herbicide safeners: Effective tools to improve herbicide selectivity // *Herbicides – current research and case studies in use* / Eds. Price A.J., Kelton J.A. Rijeka, Croatia: Intech Press, 2013. 652 p.
14. Davies J. Herbicide safeners – commercial products and tools for agrochemical research // *Pest. Outlook*. 2001. № 2. P. 10–15.
15. Спиридонов Ю.Я., Хохлов П.С., Шестаков В.Г. Антидоты гербицидов // *Агрохимия*. 2009. № 5. С. 81–91.
16. Riechers D.E., Kreuz K., Zhang Q. Detoxification without Intoxication: Herbicides safeners activate plant defence gene expression // *Plant Physiol.* 2010. V. 153. P. 3–13.
17. Klein M., Burla B., Martinoia E. The multidrug resistance-associated protein (MRP/ABCC) subfamily of

- АТР-binding cassette transporters in plants // FEBS Lett. 2006. V. 580. P. 1112–1122.
18. *Bounds S.V.J., Hutson D.H.* The comparative metabolism of agrochemicals in plant and mammals // Metabolism of Agrochemicals in Plants / Ed. Roberts T. Chichester, UK: John Wiley&Sons, 2000. P. 179–209.
 19. *Савченко Т.В., Застрижная О.М., Климов В.В.* Оксипирины и устойчивость растений к абиотическим стрессам // Биохимия. 2014. № 79. Вып. 4. С. 458–475.
 20. *Farmer E.E., Muller M.J.* ROS-mediated lipid peroxidation and RES-activated signaling // Ann. Rev. Plant Biol. 2013. V. 64. P. 429–450.
 21. *Ort O.* Newer sulfonylureas // Modern Crop Protection / Eds. Kramer W., Schirmer U. VILEY–VCH–Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007. P. 45–87.
 22. *Спирidonov Ю.Я., Шестаков В.Г., Ларина Г.Е., Спирidonova Г.С.* Как ослабить остаточное действие сульфонилмочевинных гербицидов? // Защита и карантин раст. 2006. № 2. С. 59–61.
 23. *Brown H.M., Cotterman J.C.* Recent advances in sulfonylurea herbicides Herbicides inhibiting branched chain amino acid biosynthesis / Eds. Ebing W., J. Stetter W. Berlin–Heidelberg: Springer, 1994. V. 10. P. 47–81.
 24. *Макеева-Гурьянова Л.Т., Спирidonov Ю.Я., Шестаков В.Г.* Сульфонилмочевинны – новые перспективные гербициды. М.: ВНИИТЭИагропром, 1989. 56 с.
 25. *Питина М.П., Познанская Н.Л.* Использование антидотов как путь экологически безопасного применения гербицидов на основе сульфонилмочевин // Агрохимия. 1994. № 4. С. 114–119.
 26. *Li Y., Zimmerman W.T., Gorman M.K., Reiser R.W., Fogel A.J., Haney P.E.* Aerobic soil methabolism of met-sulfuron-methyl // Pest. Sci. 1999. V. 55. P. 434–445.
 27. *Sarmah A.K., Sabadie J.* Hydrolysis of sulfonylurea in soil and aquues solution: a Review // Agric. Food Chem. 2002. V. 50. P. 6253–6265.
 28. *Grey T.L., McCullough P.E.* Sulfonylurea herbicides fate in soil: Dissipation, mobility, and other process // Weed Technol. 2012. V. 26. P. 579–581.
 29. *Леонтьев В.Н., Ахромович Т.И., Игнатовец О.С.* Естественные пути деградации гербицидов ряда сульфонилмочевинны // Тр. БГТУ. Химия, технол. орг. вещ-в и биотехнол. 2013. № 4. С. 197–204.
 30. *Sondhia S.* Herbicides residues in soil, plants and non-targeted organisms and human health implication: an Indian perspective // Ind. J. Weed Sci. 2014. V. 46. № 1. P. 66–85.
 31. *Parker C., Richardson W.G., West T.M.* Potential for extending the selectivity of DPX 4189 by use herbicide safeners // Proc. Br. Crop. Prot. Conf. Weeds. 1980. P. 15–22.
 32. *Barrett M.* Protection of grass crops from sulfonylurea and imidazolinone toxicity // Crop safeners for herbicides. development, uses and mechanism of action / Eds. Hatzios K.K., Hoagland R.T. Academic Press, Inc. Ps. 1989. P. 195–219.
 33. *Спирidonov Ю.Я., Промоненков В.К., Швецов-Шилловский Н.И., Мочалкина К.И., Познанская Н.Л., Яковец В.П., Епишина Л.В., Макеев Ю.Н., Тарандина Т.Е.* Об использовании 1,8-нафталевого ангидрида для защиты кукурузы от действия хлорсульфурина // Агрохимия. 1988. № 9. С. 106–110.
 34. *Persans M., Schuler M.* Different induction of cytochrome P450 – mediated triasulfuron metabolism by naphthalic ангидриде and triasulfuron // Plant Physiol. 1995. V. 109. P. 1483–1490.
 35. *Rosinger C., Kecher H.* Modern Crop Protection / Eds. Kramer W., Schirmer U. VILEY–VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007. P. 259–281.
 36. *Чкаников Д.И., Макеев А.М., Назарова Т.А., Устименко Н.В.* Влияние антидота 1,8-нафталевого ангидрида на фитотоксичность и скорость метаболизма 2,4-дихлорфеноксисукусной кислоты и хлорсульфурина в растениях // Физиология растений. 1991. Т. 38. Вып. 2. С. 290 –297.
 37. *Кадыров А.А., Свиридов В.Д., Спирidonov Ю.Я., Чкаников Н.Д.* Композиция для обработки семян, обладающая рострегулирующим действием. Пат. РФ. № 2369094 (2009). Бюл. 2009. № 28.
 38. *Курбанова Э.Р., Закирова Р.П., Спирidonov Ю.Я., Халиков С.С., Чкаников Н.Д.* Влияние регулятора роста флороксан на рост и урожайность хлопчатника // Агрохимия. 2019. № 6. С. 37–43.
 39. *Malherbe P., Masciadri R., Nercross R.D., Prinssen E.* 2-Phenyl-3,3,3-trifluoro-2-hydrohypropipnic acid derivatives. US Pat. 7,504,428, March 17, 2009.
 40. *Ramesh S.A., Tyerman S.D., Bo X., Bose J., Kaur S., Conn V., Domingos P., Ullah S., Wege S., Shabala S., Feijo J.A., Ryan P.R., Gillham M.* GABA signalling modulates plant growth by directly regulating the activity of plant-specific anions transporters // Nat. Commun. 2015. V. 6. № 1. P. 7879–1–7879–9.
 41. *Чкаников Н.Д., Спирidonov Ю.Я., Федоровский О.Ю., Халиков С.С., Музафаров А.М.* Пат. РФ 2666732 (2018). Бюл. № 26.
 42. *Федоровский О.Ю., Халиков С.С., Спирidonov Ю.Я., Чкаников Н.Д.* Антидотная активность нового производного стимулятора роста растений флороксан по отношению к гербициду ряда сульфонилмочевин – метсульфуронметилу // Агрохимия. 2019. № 5. С. 29–34.
 43. *Баскаков Ю.А., Константинова Н.В., Фридман Е.Э., Чкаников Н.Д., Свиридов В.Д., Спирidonov Ю.Я., Мочалкина К.И., Макеев Ю.Н.* N-4-(1-Окси-1-этоксикарбонил-2,2,2-трифторэтил)-N'-м-хлорфенилмочевина, обладающая антидотной активностью к хлорсульфуруну. Пат. РФ 1804056. Оpubл. 20.11.1996.
 44. *Баскаков Ю.А., Константинова Н.В., Фридман Е.Э., Чкаников Н.Д., Свиридов В.Д., Спирidonov Ю.Я., Мочалкина К.И., Тарандина Т.Е., Шаповалов А.А.* N-4-(1-оксикарбонил-2,2,2-трифторэтил)фенил-N-метил-N'-алкилмочевинны, обладающие антидотной активностью по отношению к хлорсульфуруну в посевах кукурузы и фасоли. Пат. РФ 1811162 А1. Оpubл. 27.04.2000.
 45. *Баскаков Ю.А., Колобанова Л.П., Балеста П.С., Шаповалов А.А., Чена Е.В., Чкаников Н.Д., Свиридов В.Д.* N-[4-(2'-гидроксигексафторизопропил)фенил]-N-этил-N'-фенилмочевина, обладающая

- рострегулирующим действием. Пат. РФ 1743153С. Оpubл. 27.02.1995.
46. Халиков С.С., Сапарбоева Н.К., Арипов Х.Н. Процессы измельчения в технологии приготовления суспензионных концентратов // Узбек. хим. журн. 1995. № 6. С. 50–54.
 47. Халиков С.С., Чкаников Н.Д., Спиридонов Ю.Я., Глинушкин А.П. Новый препарат для предпосевной обработки семян с комплексной защитой от болезней и остатков гербицидов в почве // Agrokhimiya. 2016. № 6. С. 39–45.
 48. Халиков С.С., Чкаников Н.Д., Спиридонов Ю.Я., Глинушкин А.П. Композиция для предпосевной обработки семян. Пат. РФ 2585858 (2015). Бюл. № 16 (2016).
 49. Tomlin C.D.S. The pesticide manual. 12th ed. / Ed. Tomlin C.D.S. // The British Crop Protection Council, 2000. 482 p.
 50. Голубев А.С., Коротов Н.А., Федоровский О.Ю., Спиридонов Ю.Я., Чкаников Н.Д. Фторсодержащие аналоги промышленного антидота фурилазол // Agrokhimiya. 2017. № 6. С. 62–67.
 51. Халиков С.С., Голубев А.С., Чкаников Н.Д., Коротов Н.А., Спиридонов Ю.Я. Инновационные протравители с антидотным действием // Agrokhimiya. 2017. № 4. С. 22–25.
 52. Chkanikov N.D., Golubev A.S., Belyaeva E.V. New approaches to the synthesis of CF₂-substituted heterocyclic antitumor cytostatic agents // INEOS OPEN. 2019. V. 2. № 2. P. 33–40.
 53. Mantenau B., Pazenok S., Vors J.-P., Leroux F.R. New trends in the chemistry α -fluorinated ethers, thioethers, amines and phosphines // J. Fluorine Chem. 2010. V. 131. P. 140–158.
 54. Власенко Н.Г., Бурлакова С.В., Халиков С.С., Федоровский О.Ю., Чкаников Н.Д. Флороксан – потенциальный компонент комплексных протравителей зерновых культур // Agrokhimiya. 2017. № 7. С. 49–54.
 55. Власенко Н.Г., Бурлакова С.В., Федоровский О.Ю., Чкаников Н.Д., Халиков С.С. Комплексный фунгицид на основе фениламинов и азолов для защиты семенного материала яровой пшеницы // Agrokhimiya. 2018. № 10. С. 40–45.
 56. Власенко Н.Г., Бурлакова С.В., Чкаников Н.Д., Халиков С.С. Фунгицидный протравитель на основе азолов для обработки семян зерновых культур // Agrokhimiya. 2019. № 6. С. 44–49.
 57. Спиридонов Ю.Я., Чичварина О.А., Голубев А.С., Чкаников Н.Д., Халиков С.С. Инновационные протравители с антидотным действием. Изучение антистрессового действия фурилазола и его производного // Agrokhimiya. 2018. № 4. С. 45–49.
 58. Спиридонов Ю.Я., Чичварина О.А., Голубев А.С., Чкаников Н.Д., Халиков С.С. Особенности антидотного действия изиксадифен-этила в составе протравителей семян сельскохозяйственных культур // Усп. совр. естествознания. 2018. № 10. С. 79–84.
 59. Сиган А.Л., Голубев А.С., Беляева Е.В., Горфинкель С.М., Каграманов Н.Д., Спиридонов Ю.Я., Чкаников Н.Д. Синтез этил-5-арил-5-трифторметил-4,5-дигидроизоксазол-3-карбоксилатов, обладающих свойствами регуляторов роста растений // Изв. РАН. 2019. № 1. С. 99–103.
 60. Chkanikov N.D., Spiridonov Yu. Ya., Khalikov S.S., Muzafarov A.M. Antidotes for reduction of phytotoxicity of the residues of sulfonylurea herbicides // INEOS OPEN. 2019. V.2. № 5. P.145–152.
 61. Spiridonov Ju.Ja., Mukhin V.M., Karpachev V.V., Gorshkov V.I., Gorshkova E.K., Voropaeva N.L., Figovsky O.L. Soil detoxication by the means of activated carbon in breeding process // Inter. Lett. Natur. Sci. 2017. V. 62. P. 28–64.

Ways to Reduce the Phytotoxicity of Sulphyl Urea Residues in Soil by Antidotes

N. D. Chkanikov^{a, #}, Yu. Ya. Spiridonov^b, S. S. Khalikov^{a, ##}, and A. M. Muzafarov^a

^aA.N. Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds RAS
ul. Vavilova 28, Moscow 119991, Russia

^bAll-Russian Research Institute of Phytopathology,
ul. Institut, bld. 5, Moscow region, Odintsovo district, Bolshye Vyazemy 143050, Russia

[#]E-mail: nchkan@ineos.ac.ru

^{##}E-mail: salavatkhalikov@mail.ru

In the context of the problem of reducing crop loss from residues in the soil of phytotoxic herbicides, the review comprehensively examines the relationship of herbicides with antidotes (safes, plant resistance inducers). A characteristic is given to sulfonylurea herbicides, which allows one to assess the causes of negative problems that arise during their application and the possibility of their combined use with antidotes. The results of recent studies on the mechanisms of the functioning of antidotes are summarized. The results of work aimed at creating effective complex protectants for protecting crops from sulfonylurea residues, as well as prospects for the development of this direction, were discussed.

Key words: herbicides, sulfonylureas, phytotoxicity, antidotes, safeners, organofluorine compounds, complex protectants