

УДК 635.21:632.4:632.952

ПРЕПАРАТЫ НА ОСНОВЕ ФЛУДИОКСАНИЛА КАК СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ КАРТОФЕЛЯ ОТ БОЛЕЗНЕЙ И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ¹

© 2022 г. А. А. Малуга^{1,*}, Н. С. Чуликова¹, М. М. Ильин², С. С. Халиков^{2,**}

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

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

*E-mail: anna_malyuga@mail.ru

**E-mail: salavatkhalikov@mail.ru

Поступила в редакцию 21.09.2021 г.

После доработки 17.10.2021 г.

Принята к публикации 15.11.2021 г.

С целью создания экологически безопасных протравителей для комплексной защиты картофеля от возбудителей сухих фомозно-фузариозных гнилей при хранении и ризоктониоза разработаны экспериментальные составы препаратов на основе механохимически модифицированного флудиоксона с растительными метаболитами (арабиногалактан и глицирризиновая кислота), а также суспензионных препаратов с включением в их состав тебуконазола, тирама и карбендазима без использования традиционных формообразующих компонентов. Испытание этих препаратов показало их высокую эффективность против гнилей хранения, а в полевых условиях они снижали развитие ризоктониоза на стеблях картофеля и оказывали влияние на показатели продуктивности растений, повышали урожайность культуры и качество нового урожая. Показано, что предложенные препараты обладали высокой биологической эффективностью при сниженных нормах расхода действующих веществ, что способствовало получению экологически безопасной продукции.

Ключевые слова: флудиоксанил, тебуконазол, карбендазим, тирам, растительные метаболиты, механохимия, растворимость, фунгицидные суспензии, протравитель, картофель, биологическая эффективность, продуктивность.

DOI: 10.31857/S0002188122020119

ВВЕДЕНИЕ

В результате разрушения крупных коллективных хозяйств и “фермеризации” сельского хозяйства произошло резкое ухудшение фитосанитарного состояния агроценозов картофеля. Один из основных приемов, способных эффективно контролировать фитосанитарное состояние посадок картофеля, — предпосадочная обработка клубней протравителями. В значительной степени получению высоких урожаев культуры препятствует широкое распространение болезней. Потери продукции при производстве картофеля от комплекса заболеваний в Западной Сибири могут достигать 45–80% [1].

Протравливание клубней помогает в борьбе с различными заболеваниями картофеля, например, с различными видами парши (ризоктониозом, серебристой), а также сухими фомозно-фузариозны-

ми и раневой водянистой гнилями, антракнозом, альтернариозом. Ассортимент протравителей, рекомендованных для применения на картофеле, включает однокомпонентные и двухкомпонентные препараты фунгицидного действия, а также комбинированные инсекто-фунгицидные средства защиты растений. Фунгициды, воздействуя на важные биохимические процессы в клетках возбудителей заболеваний, снижают запас инфекционного начала на клубнях, защищая растения картофеля от момента прорастания, а также в течение вегетации, что также предохраняет поражение болезнями клубней нового урожая [2].

Экологичность данного приема обеспечивается тем, что гектарная норма действующего вещества (д.в.) протравителей небольшая, быстро разлагается в почве и отсутствует в элементах урожая, это дает максимальный эффект при минимальном отрицательном влиянии на агроценоз [3]. Метод протравливания клубней картофеля нашел широкое применение еще и в связи с его высокой эффек-

¹ Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Таблица 1. Схема опыта с протравливанием клубней фунгицидами-протравителями

Вариант	Действующее вещество (д.в.) и его содержание в препарате	Норма расхода по препарату на 1 т клубней картофеля
Контроль без обработки	—	—
Стандарт Максим, КС (25 г/л)	Флудиоксонил 2.5% д.в.	200 мл – для осеннего протравливания, 400 мл – для весеннего протравливания
Стандарт ТМТД, ВСК (400 г/л)	Тирам 40% д.в.	4000 мл
Аналог Максима, КС (25 г/л) (препарат 1)	Флудиоксонил 2.5% д.в.	200 мл
Композиция ФДС : АГ = 1 : 9 (препарат 2)	Флудиоксонил 10% д.в.	1 г
Композиция ФДС : Na ₂ ГК = 1 : 9 (препарат 3)	Флудиоксонил 10% д.в.	1 г
Аналог СК-210 (препарат 4)	Флудиоксонил 2.5% д.в., Тебуконазол 1.25% д.в., Тирам 20% д.в.	200 мл
Аналог СК-211 (препарат 5)	Флудиоксонил 2.5% д.в., Тебуконазол 1.25% д.в., Тирам 20% д.в., Карбендазим 5% д.в.	200 мл
СК-210 (препарат 6)	Тебуконазол 1.25% д.в., Тирам 20% д.в.	560 мл
СК-211 (препарат 7)	Тебуконазол 1.25% д.в., Тирам 20% д.в., Карбендазим 5% д.в.	580 мл

Примечание. Обозначение препаратов то же в табл. 3, 4.

тивностью. Например, в работе [4] приведены результаты многофакторного опыта с использованием таких протравителей как Максим, Престиж и ТМТД, и показано влияние протравливания посадочного материала на величину и качество урожая картофеля.

Цель работы – разработка экологически безопасных препаратов как в виде твердых дисперсий (ТД), образующих соответствующие супрамолекулярные комплексы, а также суспензионных препаратов на основе флудиоксанила, тебуконазола, карбендазима и тирама без применения традиционных формообразующих компонентов, а также изучение их биологической эффективности в период хранения клубней против сухих фомозно-фузариозных гнилей, во время вегетации растений в отношении ризоктониоза картофеля и их влияние на показатели продуктивности и урожайность культуры. Экологическая безопасность предлагаемых препаратов была обусловлена тем, что при их создании использованы такие растительные метаболиты как арабиногалактан (АГ) и глицирризиновая кислота (ГК), обладающие гепатопротекторными, мембранотропными и иммуностимулирующими свойствами и широким спектром лечебного действия [5, 6].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве фунгицидов были выбраны: флудиоксанил (ФДС), д.в. которого 4-(2,2-дифтор-1,3-бензодиоксол-4-ил)-пиррол-3-карбоновой кислоты. Бесцветные кристаллы. Растворимость (25°C) в воде – 1.8 мг/л [7]; тебуконазол (ТБК), д.в. которого (RS)-1p-хлорфенил-4,4-диметил-3-(1H-1,2,4-триазол-1-ил-метил)пентан-3-ил. Бесцветные кристаллы. Растворимость (25°C) в воде – 32.0 мг/л [8]; тирам (ТМТД), д.в. которого бис(диметилтиокарбамил)дисульфид. Кристаллическое вещество белого или кремового (желтовато-серого) цвета. Растворимость (25°C) в воде – 16.5 мг/л [8]; карбендазим (БМК), д.в. которого N-(бензидазол-2)-О-метилкарбамат. Кристаллическое вещество от серого или голубого до темно-коричневого цвета. Растворимость (25°C) в воде – 8.0 мг/л [9].

В качестве полимеров для механохимической модификации ФДС были выбраны следующие растительные метаболиты: арабиногалактан (АГ) из лиственницы сибирской *Larix sibirica* (ТУ 9363-021-39094141-08, серия 02042013); динатриевая соль глицирризиновой кислоты (Na₂ГК) от Shaanxi Pioneer Biotech Co., Ltd, КНР; натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ) марки SEKOL 700 от компании CP Kelco, Финляндия.

Для получения ТД флудиоксанила с АГ и Na₂ГК (препараты 2 и 3) была применена техно-

Таблица 2. Растворимость образцов препаратов на основе флудиоксанила (ФДС)

Название образца, содержание НЗ	Растворимость	
	абсолютная, мг/л	увеличение
ФДС (исходная субстанция, 99.0%)	35.0	–
ТД состава ФДС : АГ = 1 : 9 (9.9%) (после 3 ч механообработки) (9.9%)	138	4.0
ТД состава ФДС : Na ₂ GA = 1 : 9 (9.9%) (после 3 ч механообработки) (9.9%)	267	7.7

логия совместной механообработки компонентов при массовом соотношении 1 : 9 в металлическом барабане измельчителя LE-101 с регулируемым энергонапряжением в условиях, описанных ранее [10].

Получение ТД состава ФДС : АГ = 1 : 9 проводили в металлическом барабане на 800 см³, установленном на валках мельницы LE-101 (Hungary). В барабан были загружены после предварительного перемешивания 10 г ФДС, 90 г АГ и 32 металлических шара (диаметр 25 мм, масса 54 г) и проводили механообработку в течение 3 ч при модуле процесса 1 : 17, скорости вращения валков 60 об./мин и загрузке барабана 55%. Продукт механообработки в виде ТД состава ФДС : АГ = 1 : 9 был выгружен в виде сыпучего бежевого порошка (96 г) и представлял собой препарат 2 (табл. 1).

Аналогичным способом было получено 97 г бежевого порошка ТД состава ФДС : Na₂GA = 1 : 9 из 10 г ФДС и 90 г Na₂GA. Полученный продукт представлял собой препарат 3.

Препарат 1 – аналог препарата Максим, КС (25 г/л) готовили в виде суспензионного концентрата по ранее описанной методике [11] с некоторыми изменениями, а именно, в капролоновый барабан (емкостью 0.3 л) валковой мельницы LE-101 загружали последовательно 34.75 г 1%-го водного раствора полимера (Na-КМЦ), 4.0 г неионогенного ПАВ (Твин 60) и 350 г металлических шаров (25 шаров с диаметром 12–15 мм) для проведения эффективного измельчения компонентов, их равномерного перемешивания и образования стабильной суспензии. Затем в смесь добавляли 10.0 г пропиленгликоля (ПГ). В полученную массу при перемешивании добавили 1.25 г ФДС и подвергали обработке в течение 2 ч при скорости вращения валков 60 об./мин. Выгрузили 42 г (выход 85%) суспензионного концентрата аналога препарата Максим, КС (25 г/л).

Растворимость ТД на основе ФДС определяли методом ВЭЖХ при следующих условиях: хроматограф жидкостной Agilent 1100 с аналитической колонкой Hypersil HypURITY Elite C18 (150 × 4.6 мм, 5 мкм), температура колонки 30°C, детектор – диодно-матричный, элюент – ацетонитрил-ацетатный буфер pH 3.4 (1 : 1), скорость потока – 1 мл/мин, детектирование на длине волны 270 нм.

Суспензионные формы препаратов на основе ФДС с добавлением ТБК, ТМТД и БМК (препараты 4–7) готовили аналогично по ранее описанной методике [11]. Составы полученных ТД и СК представлены в табл. 1.

Эффективность вновь полученных препаратов сравнивали с эффективностью ранее полученных суспензионных препаратов 6 и 7, а также стандартов ТМТД и препарата Максим. Составы препаратов 1, 4–7 представлены в табл. 1.

Биологические испытания проведены в 2018–2019 гг., методика проведения биологических исследований описана ранее [10]. Полевые эксперименты проводили в соответствии с общепринятыми методиками [12].

В качестве химического контроля были выбраны фунгициды Максим, КС (25 г/л), и ТМТД, ВСК (400 г/л) в соответствии со Списком пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории РФ [13]. Схема опыта по применению препаратов в период хранения и весной перед посадкой представлена в табл. 1.

В экспериментах изучали распространенность сухих гнилей в зимний период при обработке клубней протравителями перед закладкой на хранение [14]; особенности формирования фитосанитарной ситуации в посадках картофеля в отношении ризоктониоза при обработке клубней протравителями перед посадкой культуры [15], а также оценивали продуктивность растений картофеля под действием разработанных протравителей [14].

В связи с поставленными целью и задачами исследований объектами изучения были выбраны картофель (*Solanum tuberosum* L.), ризоктониоз картофеля (*Rhizoctonia solani* Kùch.), сухие гнили при хранении (*Fusarium* spp. и *Phoma exigua* sp.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Хроматограммы ВЭЖХ анализа исходного ФДС и его ТД представлены на рис. 1. Расчетные данные растворимости полученных ТД подтвердили значительное увеличение растворимости, и они представлены в табл. 2.

Показано, что растворимость ФДС увеличилась в 4–8 раз по сравнению с исходным ФДС. Такое увеличение растворимости объясняется

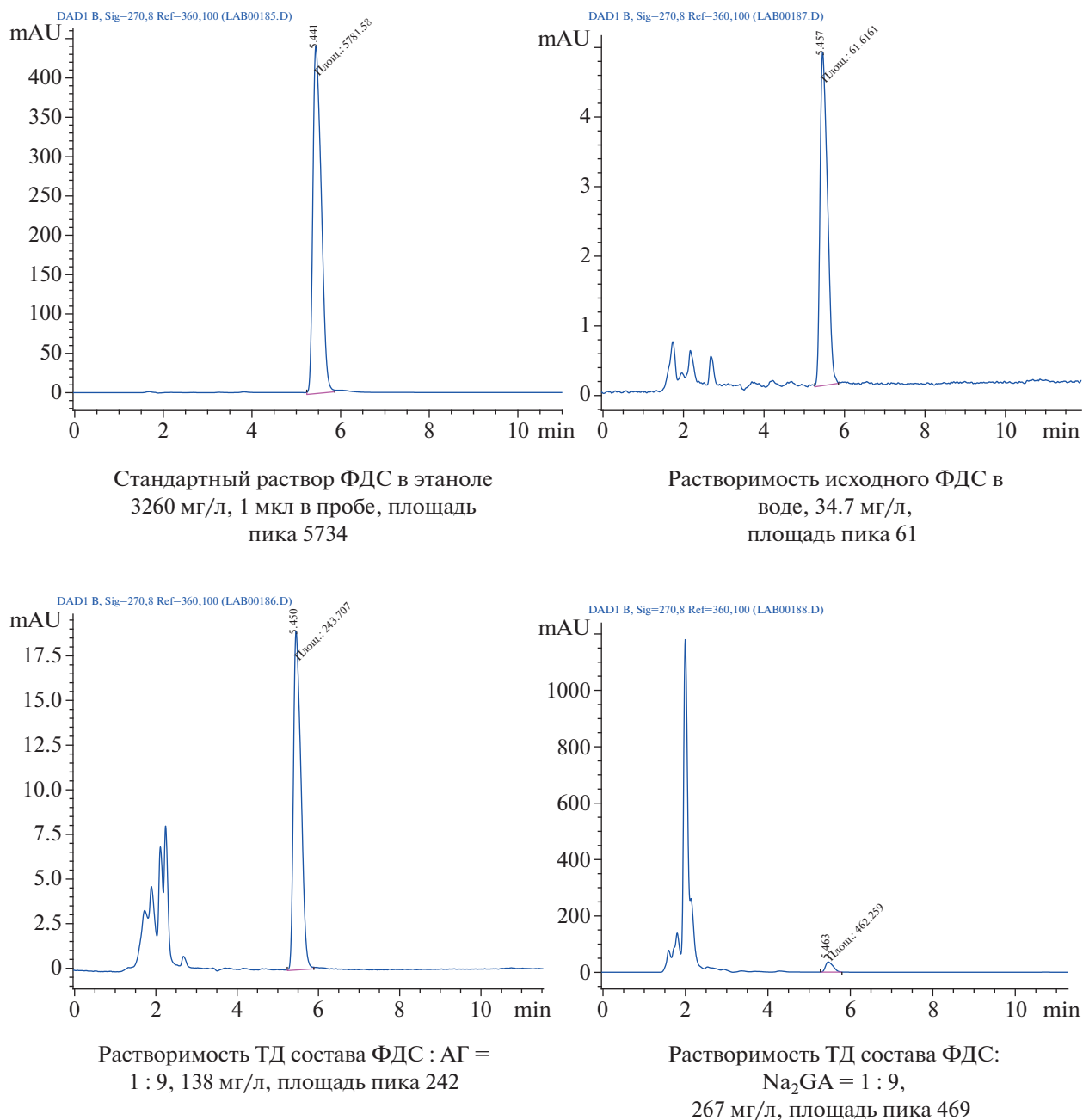


Рис. 1. Хроматограммы ФДС и его ТД с растительными метаболитами (АГ и Na₂ГК).

образованием соответствующих супрамолекулярных комплексов при растворении ТД в воде [16], и этот фактор ожидаемо должен был сказаться и на увеличении биологической эффективности этих ТД, т.к. включенные в состав препаратов растительные метаболиты (АГ и Na₂ГК), в связи с близостью своих структур к строению растительных мембран, облегчали проникновение ФДС в растительные объекты [17]. Аналогично, суспензионные препараты, являясь нанодиспергированными системами и обладая повышенной био-

доступностью, должны проявлять высокую биологическую активность [18]. Проведенные в дальнейшем биологические испытания этих препаратов подтвердили высказанные предположения.

Исследование биологической эффективности инновационных препаратов показало, что более всего оздоравливал хранящийся картофель препарат 1, где фузариозных и фомозных гнилей практически не было (в 283 раза меньше, чем в контроле). Препараты 3 и 5 снизили количество гнилей хранения в 42.4 раза в сравнении с кон-

Таблица 3. Влияние механомодифицированных протравителей на сухие фомозно-фузариозные гнили при хранении

Вариант	Весовая доля больных клубней	Биологическая эффективность
	%	
Контроль без обработки	84.8	–
Максим (стандарт – флудиоксонил)	5.3	93.7
ТМТД (стандарт – тирам)	7.9	90.7
Препарат 1	0.3	99.6
Препарат 2	3.7	95.6
Препарат 3	2.0	97.6
Препарат 4	4.3	94.9
Препарат 5	2.0	97.6
Препарат 6	4.0	95.3
Препарат 7	5.0	94.1

трольным вариантом. Препараты 2, 4, 6 и 7 уменьшили весовую долю больных гнилями клубней в 17.0–22.9 раза. У коммерческих препаратов данный показатель составил 10.7–16.0 раз (табл. 3). Биологическая эффективность инновационных препаратов варьировала от 94.1 до 99.6, у стандартов она составила 90.7–93.7%.

Исследования показали, что разработанные препараты также были эффективны и против возбудителя ризоктониоза картофеля (рис. 2). В сравнении с контролем все экспериментальные

препараты достоверно снижали развитие болезни в период всходов от 1.5 до 11.0 раза. К фазе бутонизации–начала цветения положительный эффект сохранился только в вариантах с препаратами 1 и 2. В этих случаях существенное снижение заболеваемости составило 1.3 раза. Химические стандарты в период всходов и бутонизации–начала цветения картофеля снижали развитие ризоктониоза по сравнению с контролем соответственно в 11.0 и 1.1 раза (ТМТД) и в 15.6 и 1.2 раза (препарат Максим) соответственно. Препарат Максим достоверно снижал развитие болезни в обеих фазах развития культуры, ТМТД – только в период всходов.

Экспериментальные препараты 1–3 на основе флудиоксонила в фазе всходов были менее эффективными, чем коммерческий препарат Максим, КС в 4.8–10.4 раза, в период бутонизации–начала цветения данный показатель у первых двух препаратов был на уровне химического стандарта, тогда как препарат 3 способствовал существенному росту заболеваемости растений ризоктониозом в этой фазе онтогенеза – в 1.5 раза в сравнении с препаратом Максим, КС.

Препараты 6 и 7 на основе ТБК, ТМТД и БМК подавляли развитие возбудителя черной парши на уровне химического стандарта ТМТД. Данная тенденция сохранилась у препарата 7 и в период бутонизации–начала цветения, тогда как композиция 6 достоверно повышала развитие болезни на стеблях в этот период в 1.3 раза в сравнении с ТМТД.

Препараты, имевшие в своем составе ФДС и вышеперечисленные действующие вещества (4 и 5), на ранней фазе онтогенеза показали себя на уровне

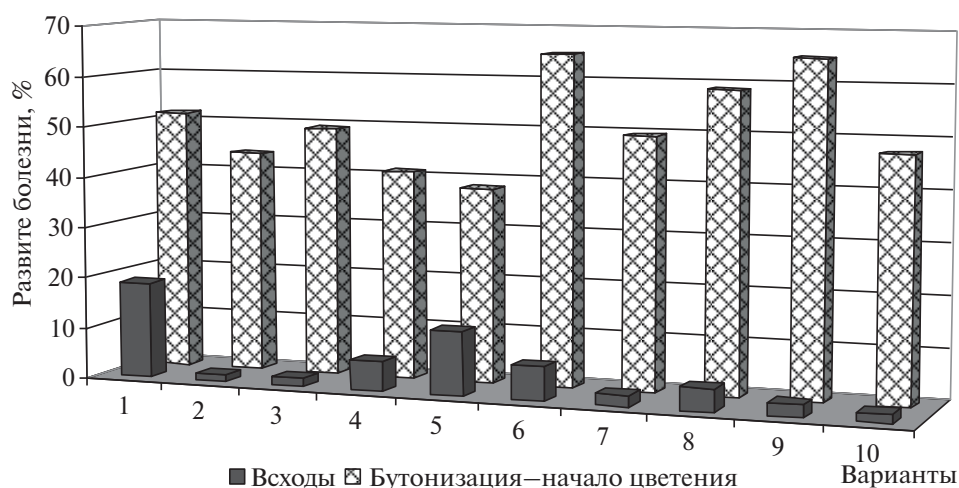


Рис. 2. Влияние механохимически модифицированных препаратов на развитие ризоктониоза (HSP_{05} : фактор фаза развития – 1.4, фактор защита – 3.2, частных средних – 4.6; варианты: 1 – контроль, 2 – Максим – стандарт, 3 – ТМТД – стандарт, 4 – препарат 1, 5 – препарат 2, 6 – препарат 3, 7 – препарат 4, 8 – препарат 5, 9 – препарат 6, 10 – препарат 7. То же на рис. 3–8.



Рис. 3. Влияние механохимически модифицированных препаратов на высоту растений картофеля (*HCP*₀₅ частных средних: фаза всходов – 3.5, фаза бутонизации—начала цветения – 5.0).

коммерческих препаратов, в период бутонизации—начала цветения их эффективность либо была на уровне химического контроля, либо меньше его. Например, в варианте с препаратом 4 растения в фазе бутонизации—начала цветения были поражены ризоктониозом на уровне варианта с препаратом ТМТД, но существенно больше, чем в варианте с препаратом Максим. Препарат 5 показал эффективность достоверно меньшую, чем у коммерческих препаратов в 1.1–1.3 раза.

Изучение влияния препаратов на биометрические показатели культуры показало, что в период всходов между контрольным вариантом и вариантами с инновационными протравителями существенной разницы не наблюдалось, как и в случае между коммерческими и экспериментальными препаратами (рис. 3).

Та же закономерность была отмечена и в период бутонизации—начала цветения при сравнении высоты растений в контроле и в вариантах опыта. Исключение составил препарат 2, где данный показатель был достоверно больше в 1.1 раза.

Инновационные препараты, содержащие в своем составе флудиоксанил (препараты 1–5), также не оказывали стимулирующего действия на рост культуры в сравнении с протравителем Максим. В вариантах, где использовали экспериментальные протравители, в состав которых входил тирам (препараты 4–7), высота растений была достоверно больше в сравнении со стандартом ТМТД в 1.1–1.2 раза.

Модифицированные фунгициды оказывали влияние не только на высоту растений, но и на их биомассу (рис. 4). В период всходов картофеля практически все экспериментальные препараты

(за исключением препарата 1) достоверно снижали массу одного стебля от 21.3 до 47.5 г (от 24.7 до 55.0%) в сравнении с контролем. Наиболее значимое влияние на снижение фитомассы – на 40.0–47.5 г/стебель (на 46.3–55.0%) – оказали фунгицидные составы 6 и 7. Коммерческие препараты Максим и ТМТД достоверно снижали данный показатель на 7.5 и 26.3 г/стебель (на 8.7 и 30.5%) соответственно. Экспериментальные препараты 2–5, содержащие в своем составе флудиоксанил, существенно уменьшали массу одного стебля в сравнении с препаратом Максим на 13.8–22.5 г (на 17.5–28.5%). Протравитель 1 в этом случае не влиял на данный показатель. Из композиций 4–7, имевших в составе тирам, на фитомассу повлияли только препараты 6 и 7, когда наблюдали значимое снижение показателя в сравнении с вариантом с ТМТД на 13.7–21.2 г/стебель (на 22.8–35.3%).

К фазе бутонизации—начала цветения в вариантах с препаратами 2–7 данный показатель оставался существенно меньше, чем в контроле – масса одного стебля была меньше на 113–234 г (на 10.7–22.3%), достигая минимальной величины при использовании протравителя 2. Препарат 1 и коммерческий протравитель Максим не оказывали достоверного влияния на массу растений, тогда как ТМТД снижал фитомассу картофеля на 333 г/стебель (на 31.7%). Возможно, это было связано с более значимым, чем в контроле, оттоком пластических веществ в клубни в вариантах с протравителями, в результате чего фитомасса стеблей снижалась. В вариантах с препаратами 2 и 5, содержащими в своем составе флудиоксанил, отмечено существенное уменьшение массы одного стебля в сравнении с препаратом Максим на

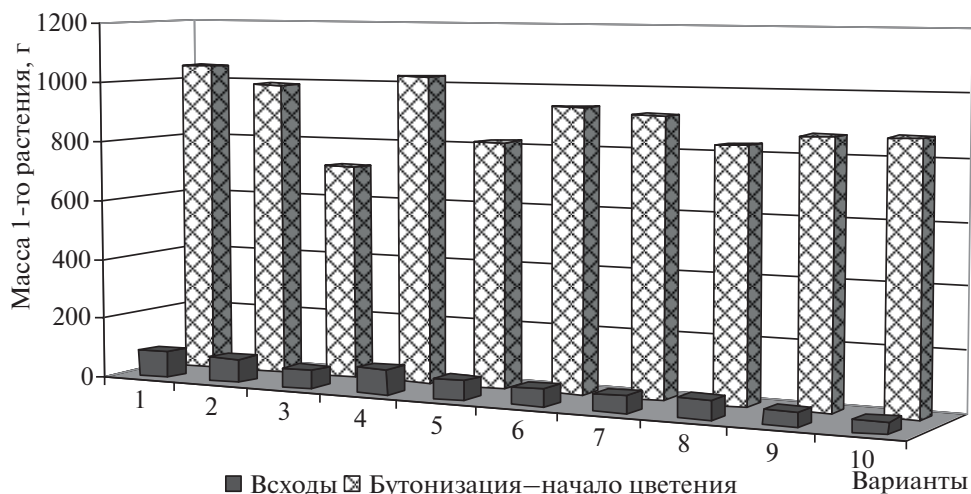


Рис. 4. Влияние инновационных препаратов на фитомассу картофеля, г/растение (HCP_{05} частных средних: фаза всходов – 5.8, фаза бутонизации—начала цветения – 86).

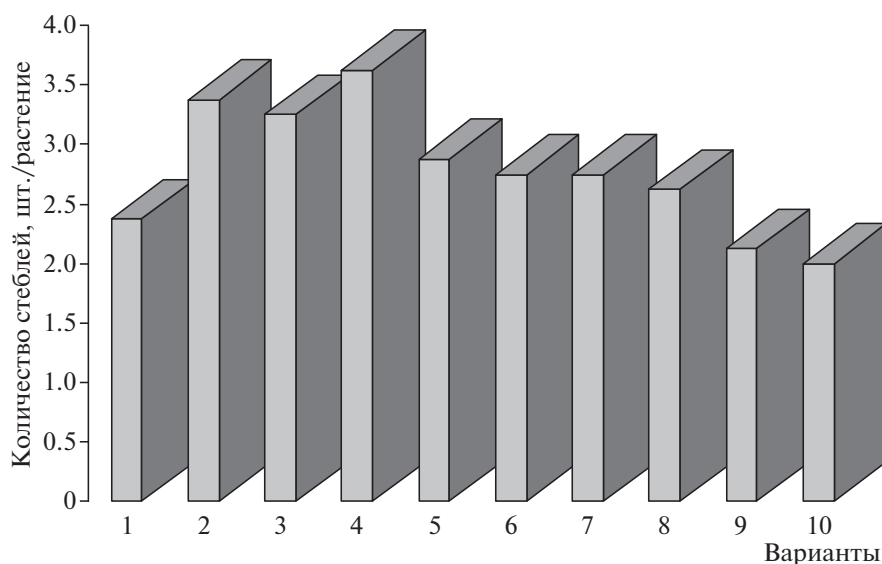


Рис. 5. Влияние инновационных препаратов на количество стеблей картофеля (средние за вегетацию) (HCP_{05} частных средних = 1.1).

158–173 г (на 15.9–17.5%). Протравители 1, 3 и 4 в этом случае не влияли на данный показатель. При использовании композиций 4–7, имевшим в своем составе тирам, фитомасса картофеля была достоверно больше в сравнении с вариантом с ТМТД – в этих случаях масса одного стебля была больше на 114–201 г/стебель (на 15.9–28.1%).

Разработанные препараты 2–7 и коммерческие фунгициды не оказали значимого влияния на стеблестой культуры, и только протравитель 1 достоверно увеличивал количество стеблей на одном растении в 1.5 раза (на 62.5%) (рис. 5). Данная закономерность сохранялась и для составов 1–5 на основе флудиоксанила в сравнении с препара-

том Максим. Композиции 4 и 5 на основе тирама в сравнении с ТМТД не влияли на данный показатель, а препараты 6 и 7 существенно снижали его в 1.5–1.6 раза (на 46.2–50.0%).

Разработанные инновационные препараты также оказывали влияние не только на такие показатели продуктивности культуры, как фитомасса и стеблестой, но и на общее количество и поврежденность столонов (табл. 4). К фазе бутонизации—начала цветения только препараты 1 и 2 способствовали значимому приросту этого показателя в сравнении с контрольным вариантом. В этих случаях столонов на одном растении было соответственно больше на 4.0 и 11.0 шт. (на 36.7 и

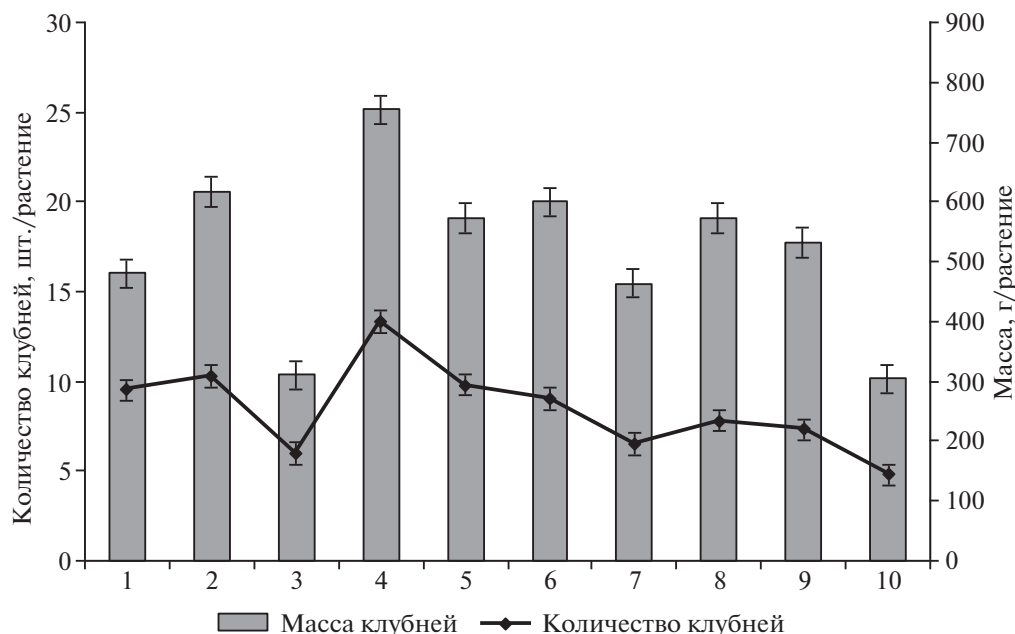


Рис. 6. Влияние инновационных препаратов на количество и массу клубней картофеля в фазе бутонизации—начала цветения (*HCP*₀₅ частных средних: количество клубней – 0.6, масса клубней – 25).

98.3%). Использование для весеннего протравливания остальных инновационных препаратов либо не влияло на столонообразование (препараты 3 и 6), либо приводило к достоверному снижению их числа (препараты 4, 5 и 7) на одном растении на 2.5–5.0 шт. (на 21.4–42.7%). Коммерческий препарат Максим также способствовал существенному росту данного показателя на 2.0 шт./растение (на 19.7%), тогда как в варианте с ТМТД он был на уровне контроля. Из всех изученных препаратов только препарат 1 и ТМТД значительно снижали поражение столонов ризоктониозом на 16.9 и 7.2% соответственно. В остальных вариантах этот показатель был либо на уровне контроля, либо существенно больше его.

Разработанные инновационные препараты также оказывали свое влияние на количество и массу клубней на одном растении (рис. 6). Было установлено, что исключительно препарат 1 способствовал образованию достоверно большего количества клубней на одном растении – на 3.8 шт. (на 40.0%). Остальные инновационные фунгициды либо не влияли на данный показатель (препараты 2 и 3), либо существенно снижали их количество на кусте картофеля (препараты 4–7) на 1.7–4.7 шт., что составило 17.9–49.5% от контроля.

Протравители, использованные в качестве стандартов, также влияли на количество клубней. По сравнению с контролем препарат Максим достоверно увеличивал количество клубней на одном растении на 0.8 шт. (на 8.4%), препарат

ТМТД значительно уменьшал этот показатель на 3.5 шт. (на 36.8%).

Препараты, содержащие в своем составе флудиоксанил (за исключением препарата 1), по сравнению с коммерческим препаратом Максим не способствовали клубнеобразованию. Клубней на одном растении было достоверно меньше от 0.5 до 3.8 шт./растение (от 4.8 до 36.9%). Препарат 1 существенно увеличивал данный показатель на

Таблица 4. Влияние инновационных препаратов на количество и качество столонов на растениях в фазе бутонизация—начало цветения картофеля

Вариант	Количество столонов, шт./растение	Поврежденные столоны, %
Контроль без обработки	11.7	27.4
Максим (стандарт – флудиоксанил)	14.0	27.0
ТМТД (стандарт – тирам)	12.5	20.2
Препарат 1	23.2	10.5
Препарат 2	16.0	23.5
Препарат 3	11.7	48.9
Препарат 4	9.2	39.4
Препарат 5	9.2	32.9
Препарат 6	13.0	55.8
Препарат 7	6.7	24.3
<i>HCP</i> ₀₅	2.1	

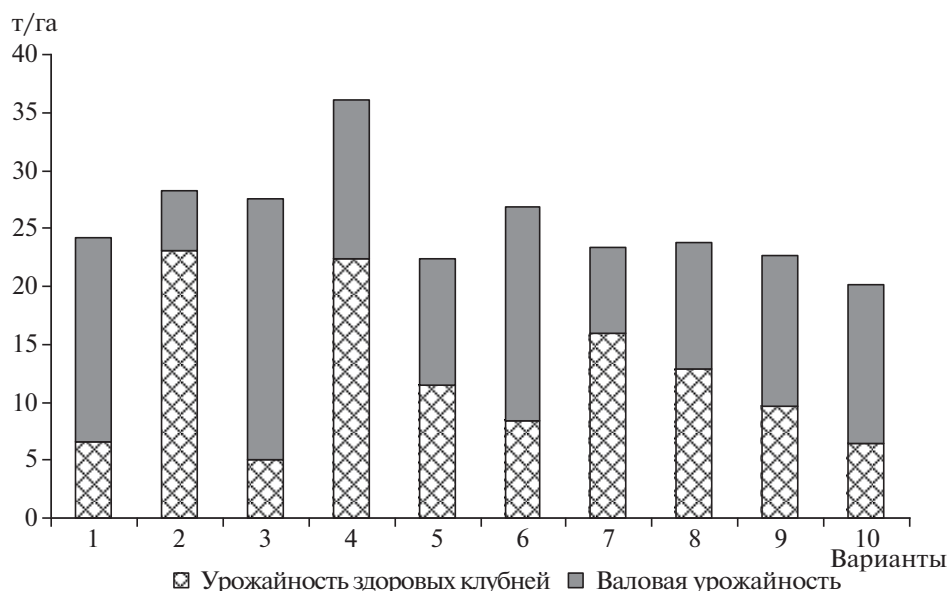


Рис. 7. Влияние инновационных препаратов на урожайность культуры и фитосанитарное состояние клубней нового урожая (HCP_{05} частных средних: урожай здоровых клубней – 3.0, валовый урожай – 0.9).

3.0 шт./растение (на 29.1%) в сравнении с химическим стандартом. Композиции, в составе которых присутствовал тирам, показали себя в сравнении с ТМТД либо на уровне химического стандарта (препарат 4), либо значительно стимулировали клубнеобразование (препараты 5 и 6) – на 1.3–1.8 шт./растение (на 21.7–30.0%), либо существенно уменьшали количество клубней (препарат 7) на 1.2 шт./растение (на 20.0%).

Масса клубней с одного растения при использовании всех инновационных препаратов (за исключением препаратов 4 и 7) была существенно больше, чем в контроле: от 52.5 до 274 г (от 10.9 до 57.0%). При использовании протравителей-стандартов препарат Максим достоверно увеличивал продуктивность культуры на 138 г/растение (на 28.6%), а ТМТД снижал на 170 г (на 35.4%).

Препараты 1–5 на основе флудиоксонил по сравнению со стандартом Максим по-разному влияли на массу клубней: препарат 1 значительно ее увеличивал на 136 г (на 22.1%), препараты 2, 4 и 5 существенно снижали данный показатель от 45.0 до 153.7 г (от 7.3 до 24.9%), тогда как протравитель 3 не влиял на этот показатель. Все разработанные препараты (за исключением препарата 7), содержащие тирам, по сравнению с ТМТД достоверно увеличивали массу клубней на 154–263 г (на 49.6–84.7%).

Комплексное действие предложенных препаратов на развитие заболевания, развитие и рост растений картофеля повлияло на урожайность культуры (рис. 7).

По сравнению с контролем, инновационные препараты 1 и 3 достоверно увеличивали валовую урожайность клубней на 2.7 и 11.9 т/га (на 11.2 и 49.2%) соответственно. Остальные протравители либо обеспечили урожайность картофеля на уровне контроля (препараты 4 и 5), либо значительно снизили ее (препараты 2, 6 и 7) – на 1.6–4.1 т/га (на 6.6–16.9%). Протравители-стандарты позволили получить больше продукции в сравнении с контролем на 3.4–4.1 т/га (на 14.0–16.9%).

В сравнении со стандартом Максим (д.в. флудиоксонил) валовую урожайность картофеля достоверно увеличивал на 7.8 т/га (на 27.6%) только протравитель 1, остальные инновационные препараты существенно снижали данный показатель от 1.4 до 8.2 т/га (от 4.9 до 29.0%). Валовая урожайность картофеля в вариантах с композициями 4–7, содержащими тирам, была достоверно меньше, чем при использовании для протравливания ТМТД (от 3.8 до 7.5 т/га или от 13.8 до 27.2%).

Предлагаемые нами препараты влияли не только на валовую урожайность культуры, но и на его качество (рис. 7, 8). Все предложенные инновационные протравители по сравнению с контролем снижали выход непригодных клубней от 4.2 до 40.9%, и достоверно увеличивали (за исключением препаратов 3 и 7) урожай здоровых клубней от 3.1 до 15.8 т/га (от 47.0 до 239%). Для препарата 3 отмечена тенденция к росту 2-го показателя на 1.8 т/га (на 27.3%), а влияние препарата 7 статистически не отличалось от контрольного варианта. Наибольший эффект наблюдали при использовании фунгицида-протравителя 1, который

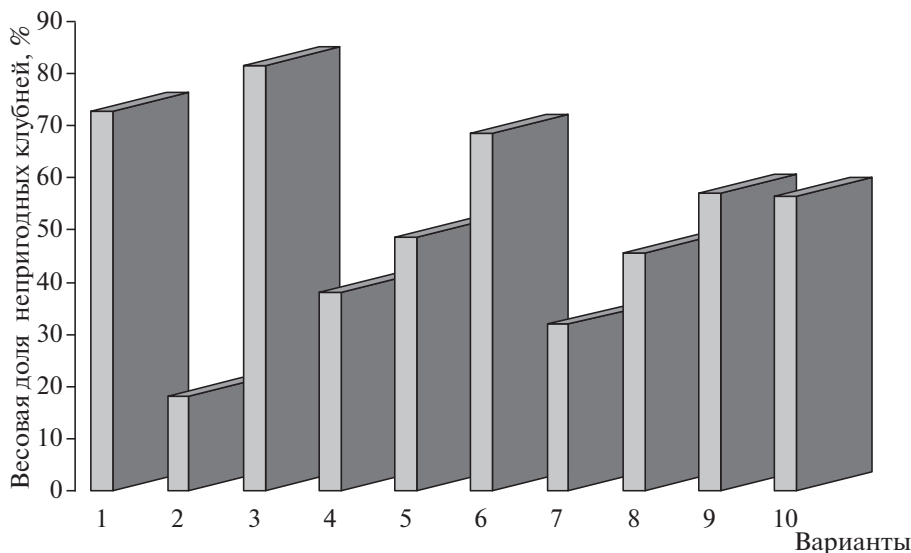


Рис. 8. Влияние инновационных препаратов на качество клубней нового урожая.

обеспечил максимальный выход здоровых клубней – 22.4 т/га (239%). Препарат-стандарт Максим снижал количество непригодных клубней на 54.5% и способствовал увеличению выхода здорового картофеля на 16.5 т/га, что составило 250%, в то же время ТМТД не отличался от контроля.

Было установлено, что все инновационные препараты, содержащие ФДС, уступали коммерческому протравителю Максим по таким показателям, как весовая доля непригодных клубней (на 19.8–50.4%) и выход здоровых клубней (за исключением препарата 1, где он был на уровне стандарта) – на 7.1–14.7 т/га (на 30.7–63.6%).

При использовании композиций, содержащих тирам, в сравнении с ТМТД отмечено снижение весовой доли непригодных клубней на 24.2–49.5%. Полученный при применении композиций 4, 5 и 6 урожай здоровых клубней существенно увеличился по сравнению с вариантом применения химического стандарта на 4.6–10.9 т/га (на 90.2–214%). Препарат 7 не оказал влияния на выход здоровой продукции.

Таким образом, наиболее эффективным оказался препарат 1, который наравне с протравителем-стандартом Максим, более всего способствовал получению урожая высокого качества.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны инновационные препараты в виде 2-х альтернативных форм (твердых дисперсий и суспензий) на основе ФДС, ТБК, ТМТД и БМК, которые обладали повышенной растворимостью и стабильностью. Изучена их биологическая эффективность в отношении сухих гнилей в период хранения и ризоктониоза картофеля в те-

чение вегетации. Биологическая эффективность инновационных препаратов варьировала от 94.1 до 99.6%, что было больше, чем у коммерческих протравителей-стандартов. Такой результат, возможно, объясняется включением в состав препаратов таких растительных метаболитов как арабиногалактан и натриевая соль глицирризиновой кислоты, которые могут взаимодействовать с липидами растительных мембран и облегчать проникновение препаратов в растительный объект.

2. Наиболее значимо снижали развитие ризоктониоза в период вегетации препараты 1 и 2, в составе которых содержался арабиногалактан.

3. Выявлено влияние экспериментальных препаратов на биометрические показатели растений, урожайность культуры и качество нового урожая. Препараты 1 и 3, в составе которых содержалась натриевая соль глицирризиновой кислоты, достоверно повышали валовый урожай культуры на 2.7 и 11.9 т/га (на 11.2 и 49.2%) соответственно в сравнении с контролем.

4. Все инновационные протравители по сравнению с контролем снижали выход непригодных клубней от 4.2 до 40.9% и достоверно увеличивали (за исключением препаратов 3 и 7) урожай здоровых клубней от 3.1 до 15.8 т/га (от 47.0 до 239%).

5. Самым эффективным препаратом в борьбе с ризоктониозом картофеля в период вегетации, который также способствовал повышению продуктивности культуры и качества полученной продукции, был препарат 1 в виде суспензионного концентрата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Малюга А.А., Чуликова Н.С., Халиков С.С.* Эффективность инновационных препаратов на основе тебуконазола, тирама и карбендазима против болезней картофеля // *Агрохимия*. 2020. № 7. С. 57–67.
2. *Захаренко В.А.* Инновационное развитие интегрированного управления фитосанитарным состоянием картофельных экосистем // *Картофелеводство: история развития и результаты научных исследований по культуре картофеля*. М., 2015. С. 346–352.
3. *Тюттерев С.Л.* Обработка семян фунгицидами и другими средствами оптимизации жизни растений. СПб., 2006. 248 с.
4. *Васильев А.А.* Протравливание семенных клубней повышает урожай картофеля // *Защита и карантин раст.* 2014. № 2. С. 20–22.
5. *Медведева Е.Н., Бабкин В.А., Остроухова Л.А.* Арабиногалактан лиственницы – свойства и перспективы использования (обзор) // *Химия раст. сырья*. 2003. № 1. С. 27–37.
6. *Li J, Cao H, Liu P, Cheng G, Sun M.* Glycyrrhizic acid in the treatment of liver diseases: Literature review // *Bio. Med. Res. Inter*. 2014.
7. *Белан С.Р., Грапов А.Ф., Мельникова Г.М.* Новые пестициды: справочник. М.: Грааль, 2001. 195 с.
8. *Гольшин Н.М.* Фунгициды. М.: Колос, 1993. 319 с.
9. *Мельников Н.Н.* Пестициды. Химия, технология и применение. М.: Химия, 1987. 712 с.
10. *Малюга А.А., Чуликова Н.С., Халиков С.С.* Комплексные препараты для защиты картофеля на основе карбендазима // *Агрохимия*. 2017. № 6. С. 52–61.
11. *Халиков С.С., Малюга А.А., Чуликова Н.С.* Экологически безопасные препараты на основе механохимической модификации тебуконазола для комплексной защиты картофеля // *Агрохимия*. 2018. № 10. С. 46–53.
12. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 2012. 351 с.
13. Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. М., 2018. 853 с.
14. Методика исследований по культуре картофеля. М.: НИИКХ, 1967. 264 с.
15. *Frank J., Leach S.S., Webb R.E.* Evaluation of potato clone reaction to *Rhizoctonia solani* // *Plant Dis. Rep.* 1976. V. 60. № 11. P. 910–912.
16. *Метелева Е.С., Евсеенко В.И., Теплякова О.И., Халиков С.С., Поляков Н.Э., Анапасенко Е.И., Душкин А.В., Власенко Н.Г.* Нанопестициды на основе супрамолекулярных комплексов тебуконазола для обработки семян злаковых культур // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2018. Т. 26. С. 279–294.
17. *Selyutina O.Y., Khalikov S.S., Polyakov N.E.* Arabino-galactan and glycyrrhizin based nanopesticides as novel delivery systems for plant protection // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2020. V. 27. P. 5864–5872.
18. *Khalikov S.S., Malyuga A.A., Chulikova N.S.* Complex preparations for the protection potato on the basis of tebuconazole // *J. Agricult. Sci. Technol.* 2019. V. 9. № 6 (Ser. № 78). P. 338–343. Doi: <https://doi.org/10.17265/2161-6256/2019.06.002>

Fludioxonil-Based Preparations as a Means of Protecting Potatoes from Diseases and Their Effectiveness

A. A. Malyuga^{a,#}, N. S. Chulikova^a, M. M. Ilyin^b, and S. S. Khalikov^{b,##}

^aSiberian Federal Scientific Centre of Agro–BioTechnologies RAS
r.p. Krasnoobsk, Novosibirsk district, Novosibirsk region 630501, Russia

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

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

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

In order to create environmentally friendly dressing agents for the complex protection of potatoes from pathogens of dry rots during storage and black scab, experimental formulations of preparations based on mechanochemically modified fludioxonil with plant metabolites (arabinogalactan and glycyrrhizic acid), have been developed, as well as suspension preparations tebuconazole, thiram and carbendazim without the use of traditional molding components. The testing of these preparations showed their high efficiency against storage rot, and in the field they reduced the development of black scab on potato stems and influenced the productivity of plants, increased the yield of the crop and the quality of the new crop. It was shown that the proposed preparations had high biological effectiveness at reduced rates of consumption of active substances, which contributes to the production of environmentally safe products.

Key words: fludioxonil, tebuconazole, carbendazim, thiram, plant metabolites, mechanochemistry, solubility, fungicidal suspensions, dressing agent, potato, biological effectiveness, productivity.