МИКОЛОГИЯ И ФИТОПАТОЛОГИЯ, 2021, том 55, № 4, с. 291–296

ГРИБЫ – ВОЗБУДИТЕЛИ БОЛЕЗНЕЙ РАСТЕНИЙ

УДК 582.244.2 : 632.26 : 632.4

УСТОЙЧИВОСТЬ ООМИЦЕТА *PHYTOPHTHORA INFESTANS* К ФУНГИЦИДУ МАНДИПРОПАМИД

© 2021 г. А. Б. Грекова[1,*], М. А. Побединская[2,], Е. М. Чудинова[1,***], С. Н. Еланский[1,2,****]**

[1] *Российский университет дружбы народов, 117198 Москва, Россия*

[2] *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991 Москва, Россия*

**e-mail: ab_grekoff@mail.ru*

***e-mail: mpobedinskaa1@gmail.com*

****e-mail: chudinova_em@pfur.ru*

*****e-mail: snelansky@gmail.com*

Поступила в редакцию 10.01.2021 г.
После доработки 10.02.2021 г.
Принята к публикации 27.04.2021 г.

Оомицет *Phytophthora infestans* – возбудитель фитофтороза, одной из самых опасных и экономически значимых болезней картофеля и томата. Эффективная защита этих культур от фитофтороза невозможна без использования химических фунгицидов. В начале 2000-х гг. компания Syngenta выпустила системный фунгицицид мандипропамид, относящийся к классу CAA (carboxylic acid amides, амиды карбоновых кислот) фунгицидов. Он оказался высокоэффективным фунгицидом против мильдью винограда, пероноспороза табака и лука, фитофтороза картофеля и томата. В работе исследована устойчивость к мандипропамиду 32 штаммов *Ph. infestans* разных типов спаривания, выделенных в 2004–2019 гг. в регионах России (Московская, Костромская, Астраханская, Рязанская области и республика Марий Эл) из пораженных органов картофеля и томата. Оценка устойчивости к мандипропамиду проводилась в лабораторных условиях на питательной среде (овсяный агар). Для тестов использовали препарат Ревус, КС, который добавляли в питательную среду. На среде с концентрацией мандипропамида 0.1 мг/л выросли 15 штаммов из 32 исследованных, причем рост их был сильно замедлен. На среде с концентрацией 1 мг/л не вырос ни один штамм. Показатель EC_{50} всех исследованных штаммов не превышал 0.07 мг/л. Таким образом, впервые проведенный анализ российских штаммов *Ph. infestans* показал, что все они чувствительны к мандипропамиду. До настоящего времени в мире не обнаружено штаммов, устойчивых к мандипропамиду. По-видимому, риск появления в агроценозах конкурентоспособных и устойчивых к мандипропамиду штаммов минимален.

Ключевые слова: амиды карбоновых кислот, болезни картофеля, болезни томата, диметоморф

DOI: 10.31857/S0026364821040048

ВВЕДЕНИЕ

Фитофтороз – одна из самых опасных и экономически значимых болезней картофеля и томата практически во всех производящих эти культуры странах. При эпифитотийном развитии фитофтороза потери картофеля от преждевременного отмирания ботвы и потери клубней при хранении могут превышать 50%. При подходящих погодных условиях и отсутствии химической защиты фитофтороз может полностью уничтожить ботву картофеля за 15–20 дней (Ivanyuk et al., 2005). Все крупноплодные сорта томата восприимчивы к фитофторозу. Потери урожая плодов в случае эпифитотийного развития и массового поражения созревающих плодов могут достигать 100%. Борьба с фитофторозом осложняется очень высокой изменчивостью его возбудителя – оомицета *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, позволяющей ему быстро приспосабливаться к новым сортам растений и к новым фунгицидам.

Основой защиты всех возделываемых сортов картофеля и томата является использование химических фунгицидов. Однако мероприятия химической защиты могут быть эффективны только в том случае, если в популяциях возбудителей нет (или очень небольшая доля) устойчивых к используемым фунгицидам штаммов. Проблема устойчивости патогенов к химическим препаратам в последнее время приобрела особую значимость в связи с широким использованием препаратов моносайтового действия. Такие препараты имеют очень малую токсичность в отношении животных, растений, нецелевых микроорганизмов, но в то же время к ним легко развивается устойчивость фитопатогенных микроорганизмов. Так, после начала широкого применения металаксила в конце

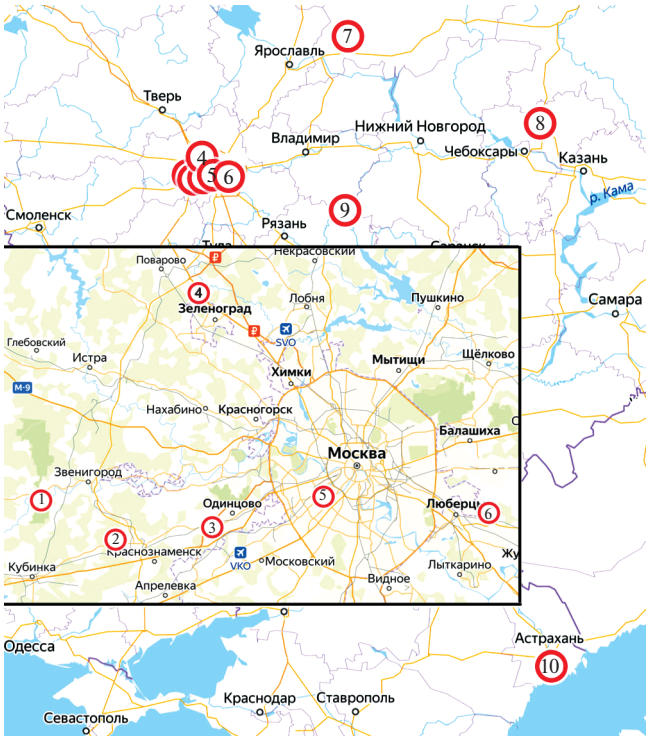

Рис. 1. Места сбора пораженных фитофторозом образцов.

1980-х гг. во многих популяциях стали доминировать устойчивые к нему штаммы (Goodwin et al., 1998; Elansky et al., 2007, 2015). Для эффективной защиты растений от фитофтороза потребовалась разработка других высокоэффективных препаратов. Были созданы такие фунгициды, как цимоксанил, азоксистробин, мандипропамид, циазофамид и другие, причем практически все они также были моносайтовыми (Gisi et al., 2011). Это помогло обеспечить эффективную защиту: в большинстве стран мира штаммы *Ph. infestans*, даже устойчивые к металаксилу, были восприимчивы к этим фунгицидам.

Высокоэффективными фунгицидами показали себя препараты из группы амидов карбоновых кислот (carboxylic acid amide, CAA), к которым относятся широко используемые в России диметоморф и мандипропамид. Мандипропамид – сравнительно недавно зарегистрированный в России системный препарат, разрешенный к применению на картофеле, томате, луке против фитофтороза и пероноспороза. Также мандипропамидсодержащие препараты разрешены к применению на винограде против мильдью. Несмотря на то, что мандипропамид применяется сравнительно недавно, к нему уже обнаружены высокоустойчивые (EC_{50} > 300 мг/л) штаммы возбудителя мильдью винограда *Plasmopara viticola* (Nanni et al., 2016).

Работ по изучению устойчивости штаммов *Phytophthora infestans* к мандипропамиду очень мало. В России оценку устойчивости штаммов *Ph. infestans* к мандипропамиду никто не проводил. В данной статье мы оценили устойчивость к мандипропамиду штаммов *Ph. infestans* разных типов спаривания, выделенных с картофеля и томата в разные годы в регионах России. Оценку проводили в лабораторных условиях на питательной среде.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Происхождение изолятов. Изоляты *Ph. infestans* были выделены авторами с пораженных растений картофеля и томата, произраставших в Московской, Костромской, Астраханской, Рязанской областях и в республике Марий Эл в 2004–2019 гг. (рис. 1, табл. 1). В Московской обл. пораженные образцы были взяты с опытной не обрабатываемой фунгицидами делянки Звенигородской биостанции МГУ имени М.В. Ломоносова (точка 1 на рис. 1), не обрабатываемой фунгицидами делянки экспериментального поля ВНИИ фитопатологии (2), экспериментального поля ВНИИ селекции и семеноводства овощных культур (3), делянки Учебно-опытного почвенно-экологического центра МГУ “Чашниково” (4), Ботанического сада МГУ (5), экспериментального поля ВНИИ картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха (6). Также образцы были взяты с коммерческих обрабатываемых фунгицидами полей в Костромской (7), Рязанской (9), Астраханской (10) областях, республике Марий-Эл (8). На поле ВНИИССОК (3) проведено выделение из мелкоплодного сорта томата “Оттава”, имеющего ген *T1* устойчивости к фитофторозу. Во всех остальных случаях для выделения “томатных” изолятов использовали плоды восприимчивых к фитофторозу крупноплодных сортов томата.

Выделение и культивирование изолятов. Пораженные фитофторозом образцы собирали с растений (1–2 образца на одно растение), отстоящих друг от друга на расстояние не менее 2 (огороды) или 5 м (крупные поля). Собранные образцы доставляли в лабораторию, отмывали и высушивали. Отрезанные ломтики клубней и плодов раскладывали во влажные камеры и инкубировали в течение 1–2 суток до появления спороношения. Из фитофторозного пятна препаровальной иглой с кусочком агара на конце, под бинокуляром, брали, не касаясь субстрата, зооспорангии *Ph. infestans*, переносили их на чашку Петри с агаризованной овсяной средой с добавлением пенициллина (бензилпенициллина натриевая соль 1000 ед./мл) и инкубировали 7–12 суток при 18°С. Затем с края растущей колонии вырезали агаровый блок с мицелием и переносили его на чистую чашку со средой. Если рост мицелия через 7–10 дней не пока-

Таблица 1. Устойчивость штаммов *Phytophthora infestans* к мандипропамиду

Штамм	Место сбора на карте	Год, место сбора (область, республика), растение и орган, сорт	ТС	Диаметр колонии на среде с добавлением мандипропамида в концентрации, мг/л		
				0	0.1	1.0
04МСЛКлуг 26	1	2004, Московская, КЛ, Луговской	A1	49	6.1	0
07ТП 40/1	8	2007, Марий Эл, ТП	A1	80	0	0
08 МКК 19/1	6	2008, Московская, КК, гибрид	A1	85	0	0
08 ККЛ 16b	7	2008, Костромская, КК, Удача	A1	53	10.0	0
08 АТП 24	10	2008, Астраханская, ТП	A1	29	0	0
09 ККЛ 7/2	7	2009, Костромская, КЛ, Санте	–	85	7.2	0
09 ККЛ 14	7	2009, Костромская, КЛ, Санте	A1	48	0	0
11МГРК 1	2	2011, Московская, КЛ, Санте	A1	29	8.3	0
11МГРК 17	2	2011, Московская, КЛ, Санте	A1	50	8.5	0
12 МГВК 22	2	2012, Московская, КЛ, Санте	A2	58	2.1	0
12 МГВК 24	2	2012, Московская, КЛ, Санте	A2	53	15.3	0
12 РКЛСКэ 38/1	9	2012, Рязанская, КЛ, Скарб	A1	90	18.0	0
13 МГРКз 7/2	2	2013, Московская, КЛ, Санте	A1	53	2.2	0
17MChK 7	4	2017, Московская, КЛ, Удача	A1	37	4.2	0
19MOVTSot 2	3	2019, Московская, ТС, Оттава	A1	16.0	0	0
19MOVTFot 1	3	2019, Московская, ТС, Оттава	A1	32.5	0	0
19MOVTFot 2	3	2019, Московская, ТП, Оттава	A1	42.3	4.0	0
19MOVTFot 10	3	2019, Московская, ТП, Оттава	A1	28.5	0.0	0
19MOVTFot 11	3	2019, Московская, ТП, Оттава	A1	28.6	3.0	0
19MOVTF 10	3	2019, Московская, ТП, Дубрава	A1	18.0	3.3	0
19MOVTF 11/2	3	2019, Московская, ТП, Дубрава	A1	28	0	0
19MOVTF 12	3	2019, Московская, ТП, Дубрава	A1	19.0	0	0
19MOVTL 1	3	2019, Московская, ТЛ, Дубрава	–	28.5	0	0
19MOVTL 2	3	2019, Московская, ТЛ, Дубрава	A1	20.5	0	0
19MOVTL 14	3	2019, Московская, ТЛ, Дубрава	A1	36.5	0	0
19MOVTS 13	3	2019, Московская, ТС, Дубрава	A1	18.6	0	0
19MOVTS 21	3	2019, Московская, ТС, Дубрава	A1	20.5	0	0
19MOVnPL 3	2	2019, Московская, КЛ, Санте	A2	26.5	0	0
19MOVnPL 3/1	2	2019, Московская, КЛ, Санте	A2	24.0	0	0
19MOVnPL 9	2	2019, Московская, КЛ, Санте	A1	19.0	5.1	0
ВНИИФ 3-1	2	2019, Московская, КЛ, Санте	A2	85	2.0	0
P13MSd1/2	5	2013, Москва, SdЛ	A1	80	0	0

Примечание. КЛ – листья картофеля; КК – клубни картофеля; ТЛ – листья томата; ТП – плоды томата; ТС – стебли томата; SdЛ – листья паслена сладко-горького (*Solanum dulcamara*).

зывал признаков контаминации, то агаровый блок с края колонии переносили на скошенный овсяный агар-агар в пробирке. После инкубации в течение 7–10 суток при 18°С пробирку переносили в холодильник (4°С) для хранения.

Определение типа спаривания. Для определения типа спаривания использовали тестерные штаммы с типами спаривания A1 и A2. Исследуемый изолят сеяли блоками агара попарно с каждым из тестеров в чашки Петри с овсяным агаром на расстоянии 4–5 см друг от друга. Эти чашки инкубировали в темноте при 18°С в течение 14 суток, после чего определяли наличие или отсутствие ооспор в месте контакта гиф между штаммами с помощью светового микроскопа. Если исследуемый изолят образовывал обильные ооспоры только с тестером A1 и не образовывал их с тестером A2, то его относили к типу спаривания A2. Если наоборот, то его относили к A1. В случае, если исследуемый штамм образовывал ооспоры с обоими тестерами, его учитывали как A1A2, а если в моно-

культуре – то его считали самофертильным. Штаммы, не образующие ооспор ни с одним тестером, учитывали как 00.

Оценка устойчивости к мандипропамиду. Устойчивость к мандипропамиду (использовали препарат Ревус, КС, производитель Syngenta) оценивали на агаризованной овсяной питательной среде с добавлением соответствующего фунгицида в концентрациях 0.1 и 1 мг/л. В качестве контроля использовали среду без добавления фунгицида. Учет диаметров колоний вели в тот день, когда диаметр колонии на контроле составлял около 75% диаметра чашки. Все тесты проводили в трех повторностях. Для каждого изолята определяли показатель EC_{50} (50% эффективной концентрации), равный концентрации фунгицида, необходимого для замедления скорости радиального прироста колонии в 2 раза относительно бесфунгицидного контроля.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе исследована устойчивость 32 изолятов *Ph. infestans*, выделенных в разные годы в удаленных регионах России с пораженных органов картофеля и томата (листья, плоды, стебли, клубни). Определение типов спаривания показало присутствие среди них различий по типу спаривания: 5 изолятов определены как A2, остальные – как A1. Изучение устойчивости к мандипропамиду показало, что на среде с концентрацией фунгицида 0.1 мг/л выросли 15 штаммов из 32 исследованных, причем рост их был сильно замедлен (табл. 1). На среде с концентрацией 1 мг/л не вырос ни один штамм. Штаммы, выделенные с мелкоплодного сорта томата Оттава, имеющего ген устойчивости к фитофторозу T1, из пораженного фитофторозом листа паслена сладко-горького, и штаммы разных типов спаривания не отличались по устойчивости от других изученных штаммов. Показатель EC_{50} всех исследованных штаммов не превышал 0.07 мг/л. Таким образом, все исследованные штаммы можно считать чувствительными к мандипропамиду.

ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенной работы показано, что концентрация мандипропамида в питательной среде 1 мг/л полностью блокировала рост мицелия всех изолятов *Ph. infestans*. Можно ли это соотнести с эффективностью полевых обработок содержащими мандипропамид препаратами? В России на картофеле и томате зарегистрированы препараты Ревус, КС (мандипропамид 250 г/л) и Ревус Топ, СК (мандипропамид 250 г/л + дифеноконазол 250 г/л) (State catalog.., 2020). Разрешенная доза применения 0.5–0.6 л/га (томат) и 0.6 л/га (картофель). При расходе рабочей жидкости 300 л/га концентрация мандипропамида в рабочей жидкости составит 417–500 мг/л для томата и 500 мг/л для картофеля. В наших экспериментах концентрация мандипропамида 1 мг/л в питательной среде полностью подавляла рост *Ph. infestans*. Таким образом, концентрация мандипропамида в рабочей жидкости достаточна для эффективного подавления роста всех исследованных штаммов.

Полученные нами данные по устойчивости изолятов *Ph. infestans* к мандипропамиду схожи с результатами других исследователей. Так, в работе Коэна с соавторами (Cohen et al., 2007) были проанализированы 259 изолятов, выделенных из пораженных органов картофеля и томата в 1989–2005 гг. в Израиле и 9 европейских странах. В том числе были проанализированы 25 изолятов с обрабатываемых мандипропамидом полей. Единичные изоляты в этой работе были способны к росту на среде, содержащей более 1 мг/л мандипропамида. Максимальный выявленный уровень EC_{50} был равен 2.98 мг/л.

Аналогичные результаты получили и исследователи из США (Saville et al., 2015). Были протестированы 8 штаммов, принадлежащих к разным клональным линиям, выделенные с картофеля и томата. Все проверенные штаммы были восприимчивы к мандипропамиду ($EC_{50} < 0.04$ мг/л).

В некоторых работах сделана попытка проанализировать возможность появления устойчивых к мандипропамиду изолятов с помощью мутагенеза или обработки делянок растений сублетальными дозами фунгицида. Так, в работе Рубина и соавторов (Rubin et al., 2008) предпринята попытка получить устойчивые к мандипропамиду мутанты обработкой зооспорангиев УФ-излучением и этилметансульфонатом. В результате были получены изоляты с повышенной устойчивостью, способные расти на листьях, обработанных мандипропамидом в концентрации 50 мг/л. Однако все мутанты оказались нестабильными и вернулись к исходной устойчивости после 1–8 пассажей на листьях. В работе Коэна с соавторами (Cohen et al., 2007) была предпринята попытка получить устойчивые к мандипропамиду изоляты *Ph. infestans* с помощью обработки искусственно зараженных растений в теплице сублетальными дозами препарата. Все выделенные в чистую культуру после обработок изоляты оказались высокочувствительными к мандипропамиду. Их показатель EC_{50} не превышал 0.05 мг/л, что соответствовало устойчивости популяции, используемой для инокуляции растений.

В работе Гизи и соавторов (Gisi et al., 2007) показана кросс-резистентность между устойчивостью к мандипропамиду и другими CAA фунгицидами, включая диметоморф. Поэтому целесообразно рассмотреть возможность появления устойчивых к другим CAA-фунгицидам штаммов.

Ранее нами была исследована устойчивость к CAA-фунгициду диметоморф у 419 изолятов *P. infestans*, выделенных в 1993–2003 и в 2007–2009 гг. из пораженных фитофторозом растений картофе-

ля и томата в 12 регионах России: Московская, Тульская, Костромская, Брянская, Вологодская, Ленинградская, Рязанская, Мурманская, Омская, Смоленская, Астраханская области, республики Марий Эл, Мордовия, Ингушетия, Ставропольский и Хабаровский края. В исследование были включены изоляты с посадок картофеля на о. Сахалин и в Костромской обл., где применяли содержащий диметоморф препарат Акробат-МЦ. Кроме того, были изучены 34 штамма, выделенные из пораженных органов картофеля в Беларуси.

Устойчивость изучали в лабораторных условиях на агаризованной овсяной среде. Развитие большей части изолятов в значительной степени было подавлено уже при концентрации диметоморфа в среде равной 0.5 мг/л. Десять изолятов из всех исследованных (менее 2%) (Московская обл. – 5, Брянская обл. –1, Рязанская обл. – 2, Ставропольский край – 2) были способны расти при концентрации диметоморфа 1 мг/л, при этом диаметры их колоний составляли 15–40% от бесфунгицидного контроля. Единственный штамм, способный расти при концентрации фунгицида 2 мг/л, был выявлен в 1993 году в Московской области. Таким образом, можно заключить, что все исследованные изоляты были чувствительны к диметоморфу (Elansky et al., 2007, 2012).

Мутантов с повышенной устойчивостью к диметоморфу, способных к росту на среде с концентрацией фунгицида 8 мг/л, удалось получить в лабораторных условиях обработкой инцистировавшихся зооспор дикого изолята 0.005% р-ром нитрозометилмочевины. Однако они имели частое, неправильное ветвление гиф и единичные зооспорангии неправильной формы. Скорость роста устойчивых мутантов на агаризованной питательной среде (овсяный агар) также падала. Через 2 года культивирования на овсяной среде без фунгицидов устойчивость части мутантов была утрачена. При этом скорость роста возросла до исходной и восстановилась структура мицелия. У другой части мутантов, устойчивость которых снизилась, скорость роста увеличилась, но не достигла исходной (Bagirova et al., 2001).

На полевых делянках, обработанных диметоморфом, были выявлены изоляты *Ph. infestans* с повышенной устойчивостью. При оценке в лабораторных условиях оказалось, что на питательной овсяной среде скорость роста устойчивых изолятов была меньше, чем чувствительных. После нескольких последовательных пересевов на овсяной среде устойчивость терялась, а скорость роста возрастала. Тест на листьях картофеля выявил меньшую агрессивность устойчивых штаммов по сравнению с чувствительными (Derevyagina et al., 1999).

В работе Штейна и Кёрка (Stein, Kirk, 2004) была предпринята попытка получить устойчивые к диметоморфу мутантные изоляты *Ph. infestans* с помощью обработки чашек с мицелием бромистым этидием и УФ радиацией. В результате были получены штаммы, устойчивость которых превышала устойчивость дикого типа в 1.97–23.17 раза. Самые устойчивые росли на среде с концентрацией фунгицида 10 мг/л. Однако появление устойчивости к диметоморфу сопровождалось снижением скорости роста на не содержащей фунгицид среде, снижением частоты заражения листовых дисков и целых клубней.

Еще один препарат из группы САА-фунгицидов – флуморф – был проанализирован в работе Юаня с соавторами (Yuan et al., 2006). В работе было проверено 127 природных изолятов и все они оказались восприимчивыми к фунгициду (EC_{50} < < 0.32 мг/л). Обработка диких штаммов УФ излучением позволила получить изоляты с повышенным в 1.5–3.2 раза уровнем устойчивости к флуморфу, причем показана кросс-резистентность устойчивости к флуморфу и диметоморфу. Однако даже столь слабое повышение устойчивости приводило к снижению скорости роста на бесфунгицидной питательной среде и уменьшению споруляции как на питательной среде, так и на отчлененных листьях.

Таким образом, впервые проведенное исследование устойчивости российских штаммов *Ph. infestans* к мандипропамиду дополняет ранее проведенные нашей группой исследования устойчивости к диметоморфу и согласуется с данными, полученными другими исследователями. С высокой долей вероятности можно предположить, что устойчивые к САА фунгицидам штаммы *Ph. infestans* имеют пониженную жизнеспособность и неконкурентоспособны в агроценозах. В этом случае САА фунгициды, в том числе мандипропамид и диметоморф, способны длительно сохранять свою эффективность; риск появления в природных популяциях высокоустойчивых и в то же время агрессивных штаммов минимален.

Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 20-016-00139).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Bagirova S.F., Li A.Z., Dolgova A.V. et al. Mutants of *Phytophthora infestans* resistant to dimethomorph fungicide. J. Russian Phytopathol. 2001. V. 2. P. 19–24.

Cohen Y., Rubin E., Hadad T. et al. Sensitivity of *Phytophthora infestans* to mandipropamid and the effect of enforced selection pressure in the field Plant Pathology. 2007. V. 56. P. 836–842. https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01625.x

Dereviagina M.K., Elansky S.N., Dyakov Yu.T. Resistance of *Phytophthora infestans* to the dimethomorph fungicide. Mikologiya i fitopatologiya. 1999. V. 33 (3). P. 208–213 (in Russ.).

Elansky S., Apryshko V., Milyutina D. et al. Resistance of Russian strains of *Phytophthora infestans* to fungicides metalaxyl and dimethomorph. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 16 (Biologiya). 2007. V. 62 (1). P. 11–14 (in Russ.).

Elansky S.N., Pobedinskaya M.A., Mita E.D. et al. Resistance of potato and tomato late blight pathogens to fungicides. Mikologiya i fitopatologiya. 2012. V. 46 (5). P. 340–344 (in Russ.).

Elansky S.N., Pobedinskaya M.A., Kokaeva L.Y. et al. Phytophthora infestans populations from the European part of Russia: genotypic structure and metalaxyl resistance. J. Plant Pathol. 2015. V. 97 (3). P. 449–456. https://doi.org/10.4454/JPP.V97I3.020

Gisi U., Waldner M., Kraus N. et al. Inheritance of resistance to carboxylic acid amide (CAA) fungicides in *Plasmopara viticola*. Plant Pathol. 2007. V. 56. P. 199–208.

Gisi U., Walder F., Resheat-Eini Z. et al. Changes of genotype, sensitivity and aggressiveness in *Phytophthora infestans* isolates collected in European countries in 1997, 2006 and 2007. J. Phytopathol. 2011. V. 159. P. 223–232.

Goodwin S.B., Smart C.D., Sandrock R.W. et al. Genetic change within populations of *Phytophthora infestans* in the United States and Canada during 1994 to 1996: Role of migration and recombination. Phytopathology. 1998. V. 88. P. 939–949.

Ivanyuk V.G., Banadysev S.A., Zhuromsky G.K. Protection of potato from diseases, pests and weeds. Belprint, Minsk, 2005 (in Russ.).

Nanni I.M., Pirondi A., Contaldo N. et al. Screening of sensitivity to mandipropamid of *Plasmopara viticola* populations from Italian vineyards by molecular and biological methods. Lett. Appl. Microbiol. 2016. V. 63. P. 268–273. https://doi.org/10.1111/lam.12613

Rubin A.E., Gotlieb D., Gisi U. et al. Mutagenesis of *Phytophthora infestans* for resistance against carboxylic acid amide and phenylamide fungicides. Plant Dis. 2008. V. 92. P. 675–683. https://doi.org/10.1094/PDIS-92-5-0675

State catalogue of pesticides and agrochemicals approved for usage on the territory of Russian Federation. Part 1. Pesticides. Ministry of Agriculture, Moscow, 2020 (in Russ.).

Stein J.M., Kirk W.W. The generation and quantification of resistance to dimethomorph in *Phytophthora infestans*. Plant Dis. 2004. V. 88. P. 930–934.

Saville A., Graham K., Grünwald N.J. et al. Fungicide Sensitivity of U.S. genotypes of *Phytophthora infestans* to six oomycete-targeted compounds. Plant Dis. 2015. V. 99 (5). P. 659–666. https://doi.org/10.1094/PDIS-05-14-0452-RE

Yuan S.K., Liu X.L., Si N.G. et al. Sensitivity of *Phytophthora infestans* to flumorph: in vitro determination of baseline sensitivity and the risk of resistance. Plant Pathol. 2006. V.55. P. 258–263.

Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации (State catalogue) Часть I. Пестициды. М.: Минсельхоз. Официальное издание. 2020. 800 с.

Деревягина М.К., Еланский С.Н., Дьяков Ю.Т. (Derevyagina et al.). Резистентность *Phytophthora infestans* к фунгициду диметоморфу. Микология и фитопатология. 1999. Т. 33. № 3. С. 208–213.

Еланский С.Н., Побединская М.А., Мыца Е.Д. и др. (Elansky et al.) Устойчивость возбудителя фитофтороза картофеля и томата к фунгицидам. Микология и фитопатология. 2012. Т. 46 (5). С. 340–344.

Еланский С.Н., Апрышко В.П., Милютина Д.И. и др. (Elansky et al.). Устойчивость российских штаммов *Phytophthora infestans* к фунгицидам металаксил и диметоморф. Вестник Московского университета. Серия 16: Биология. 2007. Т. 1. С. 14–18.

Иванюк В.Г., Банадысев С.А., Журомский Г.К. (Ivanyuk et al.) Защита картофеля от болезней, вредителей и сорняков. Минск: Белпринт, 2005. 696 с.

Resistance of *Phytophthora infestans* to Fungicide Mandipropamid

A. B. Grekova[a], M. A. Pobedinskaya[b], E. M. Chudinova[a], and S. N. Elansky[a,b,#]

[a] *Peoples Friendship University of Russia, Moscow, Russia*

[b] *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

[#]*e-mail: snelansky@gmail.com*

Oomycete *Phytophthora infestans* is the causative agent of late blight, one of the most dangerous and economically significant diseases of potatoes and tomatoes. Effective protection of these crops from late blight is impossible without the use of chemical fungicides. In the early 2000s, the Syngenta launched the systemic fungicide mandipropamid from a group of CAA (carboxylic acid amides) fungicides. It was a highly effective fungicide against mildew of grapes, peronospora of tobacco and onions, late blight of potatoes and tomatoes. The resistance to mandipropamid of 32 *Ph. infestans* strains of different mating types isolated in 2004–2019 in the regions of Russia (Moscow, Kostroma, Astrakhan, Ryazan regions and the Republic of Mari El) from affected organs of potato and tomato was investigated. Assessment of resistance to mandipropamid was carried out in laboratory conditions on a nutrient medium (oat agar). For the tests, the drug Revus, SC, was used, which was added to the culture medium. On a medium with a concentration of 0.1 mg/l of mandipropamid, 15 strains out of 32 studied grew, and their growth was greatly slowed down. No one strain grew on a medium with a concentration of 1 mg/L. The EC_{50} index of all studied strains did not exceed 0.07 mg/L. Thus, the analysis of Russian *Ph. infestans* strains for the first time showed that they are all sensitive to mandipropamid. Until now, no strains resistant to mandipropamid have been found in the world. Apparently, the risk of emergence in agrocenoses of strains that are highly competitive and resistant to mandipropamid is minimal.

Keywords: carboxylic acid amide fungicides, dimethomorph, potato diseases, tomato diseases