

УДК 632.4.01/.08

## Современное состояние популяции *Phytophthora infestans* и защита картофеля от фитофтороза

М.А. КУЗНЕЦОВА, Н.В. СТАЦЮК,  
Б.Е. КОЗЛОВСКИЙ,  
И.Н. КОЗЛОВСКАЯ,  
А.В. ФИЛИППОВ, С.Н. ЕЛАНСКИЙ,  
Д.И. МИЛЮТИНА  
e-mail: kuznetsova@vniif.ru

Фитофтороз пасленовых, вызываемый *Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary, по-прежнему остается наиболее вредоносным заболеванием картофеля и томатов.

Очередная волна резкого возрастания его вредоносности была отмечена в 1980-х гг., когда практически во всех картофелеводческих странах ранее распространенный клон *P. infestans*, обозначаемый как US-1, был вытеснен новыми, ранее неизвестными клонами [10]. На территории России клон US-1 не обнаруживается с 1994 г.

«Старый» клон характеризовался Ib гаплотипом митохондриальной ДНК и был представлен только одним типом половой совместимости (A1). «Новая» популяция *P. infestans* включает Ia и IIa гаплотипы митохондриальной ДНК и оба типа половой совместимости A1 и A2. Ранее A2 тип был выявлен только в Центральной Мексике, считающейся центром происхождения *P. infestans* [6]. Популяция патогена вне Центральной Мексики размножалась только бесполом путем, и в течение зимы патоген сохранялся в основном в виде мицелия внутри клубней картофеля.

«Новая» популяция, содержащая A2 тип, была завезена в Европу и на другие континенты из Центральной Мексики. Изменение состава европейских популяций произошло в очень короткий срок – с 1980 по 1985 гг. Почти одновременно штаммы A2 типа были обнаружены в Европе, Азии и Америке.

На территории России штаммы A2 типа впервые были обнаружены в 1985 г. в Ярославской области [1]. Их появление совпало по времени с существенным изменением структуры популяции. «Новые» популяции приобрели способность к половому размножению. В результате увеличилась частота рекомбинаций *P. infestans* и стало возможным образование половых покоящихся спор – ооспор, способных перезимовывать в почве на растительных остатках.

Современная популяция отличается от «старой» более высоким генетическим разнообразием и представлена в основном сложными расами. Существенно возросла агрессивность патогена – он стал менее зависим от температуры и влажности воздуха. Так, изоляты «новых» популяций способны инфицировать растения картофеля в интервале от 3 до 27 °С, в то время как для изолятов «старых» популяций этот интервал составлял 8–23 °С. В одинаковых температурных условиях для инфекции растений изолятам «новых» популяций требуется почти в два раза меньший период присутствия капельно-жидкой влаги на листьях. Увеличилось число возможных генераций патогена в течение вегетационного сезона [5]. В последние годы фитофтороз обнаруживается на картофельных полях необычно рано. Болезнь стала поражать ранее устойчивые сорта картофеля. Так, в 2005 г. в Великобритании появился высокоагрессивный штамм 13A2, который в 2007 г. практически вытеснил другие штаммы и вызвал сильное поражение многих ранее устойчивых сортов картофеля. Существенно увеличился риск заражения клубней [9].

Возросший эпидемиологический

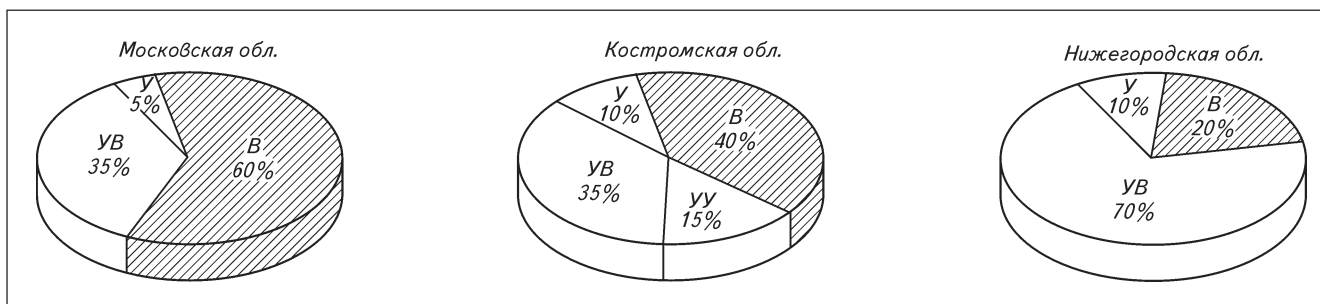
потенциал *P. infestans* стал причиной резкого снижения эффективности прежних методов защиты картофеля, включая выращивание устойчивых сортов и обработки растений фунгицидами.

Для разработки новых эффективных стратегий контроля заболевания необходимо учитывать свойства штаммов возбудителя, генотипическую структуру популяций и прогнозировать возможные изменения этих параметров в ближайшем будущем.

Целью наших исследований было сравнительное изучение популяций *P. infestans* из разных регионов европейской части России (анализ структуры ДНК, фенотипические характеристики). Оценку проводили по следующим маркерам: гаплотип митохондриальной ДНК [7]; спектр изоферментов пептидазы – локусы PEP1 и PEP2 [8]; тип совместимости (спаривания) изолятов *P. infestans*, устойчивость к металаксилу [3]. Кроме того, определяли агрессивность изолятов *P. infestans* [4] и их вирулентность [2].

Изоляты патогена были собраны на производственных посадках картофеля и томата, расположенных в Московской (2008 г. – 49 изолятов, 2009 г. – 56, из них 20 – с томата; 2010 г. – 55 изолятов, из них 28 – с томата), Нижегородской (2008 г. – 25 изолятов), Астраханской (2008 г., 31 изолят с томата), Костромской (2008 г., 105 изолятов) областях и Республике Марий Эл (2008 г., 115 изолятов, из них 93 – с томата). Общее количество изученных изолятов составило 436.

По результатам изоферментного анализа генотип 100/100 локуса PEP1 доминировал во всех изученных популяциях. Присутствие всех возможных вариантов (92/92, 92/100, 100/100) было выявлено только в Московской «картофельной» популяции 2009 г. Для локуса PEP2 генетическая вариабельность была выше. В пяти популяциях были обнаружены все 3 возможных варианта (100/100, 112/112, 100/112) в различном соотношении. Наиболее частым (за исключением трех популяций)



Соотношение сортов с различными уровнями частичной устойчивости к изолятам *P. infestans* из разных регионов РФ. В – восприимчивый; УВ – умеренновосприимчивый; УУ – умеренноустойчивый; У – устойчивый

был генотип 100/100. Этот генотип доминировал во всех «томатных» популяциях 2008–2009 гг. В Московской «томатной» популяции 2010 г. доминировал генотип 100/112.

В шести популяциях были выявлены 2 гаплотипа митохондриальной ДНК (Ia и IIa) в различном соотношении. При этом гаплотип Ia доминировал во всех популяциях, исключая «картофельную» популяцию из Марий Эл; все «томатные» популяции, а также «картофельная» популяция Московской области (2010 г.) были представлены исключительно этим гаплотипом.

В большинстве изученных популяций преобладал А1 тип совместимости изолятов *P. infestans*; в популяциях Астраханской и Московской («картофельная», 2010 г.) областей это был единственный обнаруженный вариант. Напротив, значительное преобладание А2 типа совместимости отмечено в Нижегородской области и Республике Марий Эл («картофельная» популяция); в «томатной» популяции *P. infestans* из Московской области (2010 г.) обнаружен только А2 тип совместимости. «Картофельные» популяции из Московской (2009 г.) и Костромской областей содержали также незначительный процент штаммов А1А2, способных образовывать ооспоры с обоими эталонными изолятами.

Большинство изученных популяций были представлены чувствительными или умеренно устойчивыми к металаксилу изолятами, за исключением популяции из Нижегородской области, в которой содер-

жание резистентных изолятов достигало 70 % и более.

Все популяции *P. infestans* из европейской части России были представлены в основном сложными расами, содержащими от 5 до 11 генов вирулентности (50–70 % и выше), однако самая сложная раса (1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11), включающая 11 генов вирулентности, была идентифицирована в Московской области («картофельные» популяции 2008–2010 гг.). В других популяциях были отмечены следующие доминирующие расы: в Марий Эл – 1.2.3.4.5.6.7.8.10.11 (50 %) и 1.2.3.4.6.7.8.10.11 (28,2 %); в Костромской области – 1.2.3.4.6.7.8.10.11 (30 %); в Нижегородской – 1.2.3.4.6.7.10.11 (25 %), в Астраханской – 1.3.4.7 (47 %). Относительно простые расы были идентифицированы в двух областях – Астраханской (3.4) и Костромской (4.10).

Для астраханской популяции значение фактора вирулентности (FV) было самым минимальным – 3,8. По совокупности изученных фенотипических и генотипических маркеров «томатная» популяция Астраханской области отличается от всех исследованных и является моноклональной.

Для «картофельных» и «томатных» изолятов в Республике Марий Эл FV составил соответственно 10 и 8,3, в Московской области – 7,8 и 4,8; для «картофельных» изолятов из Нижегородской и Костромской областей – 6,3 и 7,2.

Сравнение «картофельных» и «томатных» популяций показывает, что первые в Московской области име-

ют более высокий уровень разнообразия по таким параметрам как гаплотип митохондриальной ДНК, локусы пептидазы PEP1/PEP2, тип спаривания, устойчивость к металаксилу. В современной «картофельной» популяции появился ген вирулентности 9, и теперь она включает все 11 генов вирулентности. В «томатных» популяциях не выявлены гены вирулентности 5, 6 и 9.

Таким образом, максимальная степень разнообразия отмечена для популяции Московской области (2008–2010 гг.); достаточно высокое разнообразие присуще также популяциям из Костромской области и Республики Марий Эл. Возможно, это связано с достаточно высоким уровнем производства картофеля и, следовательно, большим объемом импорта семенного материала в данные регионы.

Поскольку изменчивость *P. infestans* проявляется в образовании новых (более вирулентных и агрессивных) форм патогена, целью следующего исследования было изучение агрессивности его изолятов, выделенных в Московской, Костромской и Нижегородской областях. Опыты проводили во ВНИИФ в 2010 г. на двадцати сортах картофеля отечественной и зарубежной селекции, различающихся по уровню неспецифической устойчивости к фитофторозу.

Уровень агрессивности на испытываемых сортах картофеля был неодинаков (см. рисунок). Так, при заражении московскими изолятами 12 сортов (60 %) были отнесены к группе восприимчивых, 7 (35 %) –

умеренновосприимчивых и 1 (5 %) – устойчивых.

При заражении костромскими изолятами 8 сортов (40 %) были отнесены к группе восприимчивых, 7 (35 %) – умеренновосприимчивых, 3 (15 %) – умеренноустойчивых и 2 (10 %) – устойчивых.

При заражении нижегородскими изолятами сорта были поделены на 3 группы: восприимчивые – 4 сорта (20 %), умеренновосприимчивые – 14 (70 %) и устойчивые – 2 (10 %).

Обнаруженные вариации агрессивности означают, что уровень расспецифической устойчивости сортов картофеля не является стабильным признаком. Вместе с тем, сорта картофеля, проявляющие какой-либо уровень частичной устойчивости к высокоагрессивным изолятам *P. infestans*, проявляют такой же или более высокий уровень устойчивости к менее агрессивным изолятам. Таким образом, при оценке сортов на устойчивость к фитофторозу следует использовать изоляты *P. infestans*, имеющие наибольший уровень агрессивности.

По нашему мнению, приведенные выше данные по мониторингу зональных популяций возбудителя фи-

тофтороза могут быть полезными для специалистов селекционных центров, работающих над созданием устойчивых сортов картофеля, а производителям можно рекомендовать возделывание сортов с повышенным уровнем неспецифической устойчивости к фитофторозу, например, Луговской, Няяда, Батя, Вэлор, Подарунок, Губернатор, Нью-Йорк 121, Удача, Чародей, Русский Сувенир, Ветеран, Снегирь, Принц, Парус, Вектор. Выращивание фитофтороустойчивых сортов позволяет уменьшить кратность применения фунгицидов и вредоносное влияние фитофтороза на урожай и качество клубней картофеля.

При выращивании восприимчивых сортов следует проводить профилактические обработки фунгицидами. При этом необходимо знать функциональные свойства препаратов и соблюдать антирезистентную стратегию. Известно, что чувствительность *P. infestans* к некоторым фунгицидам даже при регулярном их применении может частично восстанавливаться в межсезонный период. Вместе с тем, встречаются штаммы *P. infestans*, в которых высокие агрессивность и жизнеспособность сочетаются с высокой ре-

зистентностью к металаксилу (западноевропейский штамм 13A2, северо-американский US-8). В таких случаях чувствительность популяции к фунгициду не восстанавливается, и от него следует отказаться.

При выборе конкретных фунгицидов следует учитывать фазу развития растений и свойства фунгицидов.

*Фаза 1 (от всходов до начала смыкания ботвы в рядке):*

опрыскивание оправдано при обнаружении очагов фитофтороза или при высоком риске раннего его появления;

масса листьев в этот период растет медленно, поэтому можно применить любой фунгицид (в таблице графа 1 «на листьях»), но при этом желательно не применять фунгициды, которые с большей пользой можно использовать в фазы 2 и 3;

Повторное опрыскивание по рутинной схеме – не позже, чем через 7–10 дней на восприимчивых сортах, и через 11–14 дней – на устойчивых.

*Фаза 2 (от начала смыкания ботвы до цветения):*

масса ботвы удваивается каждые 4–5 дней;

**Свойства антифитофторозных препаратов (PRO-Special Report № 13, Euroblight Workshops, 2008)**

Действующее вещество (препарат)	Эффективность				Характер действия			Устойчивость к дождю	Подвижность в растении
	на листьях	на новом приросте	на стеблях	на клубнях	защитный	куративный	антиспорулянтный		
Соединения меди (абига-пик, бордоская смесь)	+	0	+	+	+(+)	0	0	+	Контактные
Дитиокарбаматы (дитан М-45, манкоцеб, пеннкоцеб, цинеб, полирам ДФ)	++	0	+	0	++	0	0	+(+)	Контактные
Хлороталонил (браво)	++	0	(+)	0	++	0	0	++(+)	Контактный
Флуазинам (ширлан)	+++	0	+	++(+)	+++	0	0	++(+)	Контактный
Диметоморф + манкоцеб (акробат МЦ)	+++	0	+(+)	++	++(+)	+	++	++(+)	Трансламинарный + контактный
Цимоксанил + соединения меди (ордан, курзат)	++(+)	0	+(+)	0	++	++	+	++	Трансламинарный + контактный
Фамоксадон + цимоксанил (танос)	++	0	+(+)	н/п	++	++	+	++(+)	Контактный + трансламинарный
Фенамидон + манкоцеб (сектин феномен)	++(+)	0	+(+)	++	++(+)	0	+(+)	++	Трансламинарный + контактный
Металаксил + манкоцеб (ридомил голд МЦ, метаксил)	+++	++	++	н/п	++(+)	++(+)	++(+)	+++	Системный + контактный
Мандипропамид (ревус)	+++	++	+(+)	++	+++	+	+(+)	+++	Трансламинарный + контактный
Пропамокарб гидрохлорид + флуопиколид (инфинито)	+++	++	++	+++	+++	++	++(+)	++(+)	Системный + трансламинарный

+++ отлично; ++ хорошо; + посредственно; (+) слабый эффект; 0 – нет эффекта; н/п – не рекомендовано для защиты клубней.

фунгициды, защищающие новый прирост листьев (в таблице графа 2 «на новом приросте»), по рутинной схеме надо применять не позднее, чем через каждые 7–10 дней на восприимчивых сортах и 11–14 дней – на устойчивых.

Другие фунгициды надо применять на всех сортах картофеля по рутинной схеме через каждые 5 дней.

**Фаза 3 (от цветения до естественного отмирания ботвы):**

прирост ботвы прекращается;

для защиты ботвы и клубней от фитофтороза желательнее применять фунгициды, защищающие клубни (в таблице графа 4 «на клубнях»). Обработки по рутинной схеме – не позднее, чем через каждые 7–10 дней на восприимчивых сортах и 11–14 дней – на устойчивых;

для защиты ботвы от альтернариоза надо первое опрыскивание проводить при пораженности ботвы более 1 %, последующие – через каждые 7–10 дней.

Производителям картофеля следует также помнить, что образующиеся в результате спаривания A1 и A2 типов мицелия ооспоры могут переживать в почве и быть причиной развития фитофтороза в следующем вегетационном сезоне. Ослабить влияние этого источника инфекции можно с помощью 3–4-польного севооборота, соблюдение которого позволяет очистить почву от ооспор. Лучшие предшественники картофеля – озимые зерновые, многолетние травы, бобово-злаковые смеси, занятый пар, свекла, кукуруза и другие пропашные культуры.

Для снижения вредоносности фитофтороза важно соблюдать пространственную изоляцию между участками томата и картофеля, использовать семенной материал, соответствующий принятому в стране ГОСТу.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Воробьева Ю.В., Гриднев В.В., Кваснюк Н.Я. и др. Изменение состава популяций возбудителя фитофтороза картофеля // Защита растений, 1991, № 1, с. 23–24.

2. Кузнецова М.А., Стацюк Н.В., Козловский Б.Е. и др. Популяции возбудителя фитофтороза картофеля на европейской территории РФ. Мат-лы Междунар. научно-практ. конференции «Иммуногенетическая защита сельскохозяйственных культур от болезней: теория и практика», посвященной 125-летию со дня рождения Н.И. Вавилова, Б. Вяземы, 2012, с. 89–101.

3. Cohen Y. and Reuveni M. Occurrence of metalaxyl-resistant isolates of *Phytophthora infestans* in potato fields in Israel // Phytopathology, 1983, vol. 73, pp. 925–927.

4. Filippov A.V., Gurevich B.I., Kozlovsky B.E., et al. Rapid method for evaluation of partial potato resistance to late blight. Aggressiveness of pathogen isolates, originating from different regions // Plant Breeding and Seed Science, 2004, vol. 50, pp. 29–41.

5. Flier W.G., Kessel G.J.T., Van den Bosch G.B.M., Turkensteen L.J. Impact of new populations of *Phytophthora infestans* on integrated late blight management // Proceedings of the sixth workshop of the European network for development of an integrated control strategy of potato late blight, Edinburgh, Scotland, September 26–29, 2001. – PPO-Special Report, 2002, no. 8, pp. 193–203.

6. Fry W.E., Drenth A., Spielman L.J., et al. Population genetic structure of *Phytophthora infestans* in the Netherlands // Phytopathology, 1991, vol. 81, pp. 1130–1136.

7. Griffith G.W. and Shaw D.S. Polymorphisms in *Phytophthora infestans*: four mitochondrial haplotypes are detected after amplification of DNA from pure cultures or from host lesions // Envir. Microbiol., 1998, 64, pp. 4007–4014.

8. Hebert P.D.N. and Beaton M.J. Methodologies for allozyme analysis using cellulose acetate electrophoresis. A practical handbook. – Guelph, Ontario, 1993.

9. Lees A.K., Cooke D.E.L., Stewart J.A., et al. *Phytophthora infestans* population changes: implications. Proceedings of the 11<sup>th</sup> EuroBlight Workshop, Hammar, Norway, October 28–31, 2008. – PPO-Special Report, no. 13, pp. 55–61.

10. Spielman L.J., Drenth L.C., Davidse L.J., et al. A second world-wide migration and population displacement of *Phytophthora infestans*? // Plant Pathol., 1991, vol. 40, pp. 422–430.

**Аннотация.** Популяции *P. infestans* из разных регионов Европейской части России были исследованы с использованием фенотипических и генотипических

маркеров: гаплотип митохондриальной ДНК, спектр изоферментов пептидазы (локусы PEP1 и PEP2), тип спаривания, устойчивость к металаксилу, вирулентность и агрессивность. Максимальный уровень разнообразия отмечен для популяции Московской области; достаточно высокое разнообразие присуще также популяциям из Костромской области и Республики Марий Эл, что, возможно, связано с достаточно высоким уровнем производства картофеля и, следовательно, объемов импорта семенного материала в данных регионах. Изоляты из разных регионов проявляют неодинаковый уровень агрессивности на испытываемых сортах картофеля. При оценке сортов на устойчивость к фитофторозу рекомендовано использовать изоляты *P. infestans*, имеющие наибольший уровень агрессивности. В статье обсуждается использование различных средств и схем защиты от фитофтороза с учетом полученной информации о свойствах популяции патогена и эффективности фунгицидов на различных фазах развития растений картофеля.

**Ключевые слова.** *Phytophthora infestans*, структура популяции, вирулентность, агрессивность, защита картофеля.

**Abstract.** The populations of *P. infestans* from different regions of the European part of Russia has been studied using such phenotypic and genotypic markers as the mitochondrial DNA haplotype, two peptidase loci (PEP1 and PEP2), mating type, metalaxyl resistance, virulence pattern, and aggressiveness. The maximum diversity level was observed for the Moscow region, followed by the Kostroma region and Mariy El Republic that can be explained by a high level of the potato production and, therefore, more intensive import of seed potato and, therefore, new pathogen strains, into these regions. Isolates from different regions demonstrate different levels of aggressiveness on the tested potato cultivars. To assess the late blight resistance of potato cultivars, the use of the most aggressive *P. infestans* isolates is recommended. The use of various means and schemes of potato protection against late blight is discussed in the view of the data on the characteristics of pathogen populations and the efficiency of fungicides at different stages of potato plant development.

**Keywords.** *Phytophthora infestans*, population structure, virulence, aggressiveness, potato protection.

Всероссийский НИИ фитопатологии, МГУ имени М.В. Ломоносова