

ISSN 1029-8940 (Print)
ISSN 2524-230X (Online)
УДК 635.64.632.3
<https://doi.org/10.29235/1029-8940-2020-65-4-432-440>

Поступила в редакцию 27.03.2020
Received 27.03.2020

В. В. Вабищевич, И. Г. Волчкевич, М. В. Конопацкая

Институт защиты растений, а/г Прилуки, Минский р-н, Республика Беларусь

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ОСОБЕННОСТИ ВЕКТОРНОЙ ПЕРЕДАЧИ *PEPINO MOSAIC VIRUS* В КУЛЬТУРЕ ТОМАТА ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА

Аннотация. Известно, что томат является одной из самых восприимчивых овощных культур, поражаемых вирусными патогенами. В последние годы широкое распространение в тепличных посадках на территории Европы получил вирус мозаики пепино (*VMПеп*) – *Pepino mosaic virus*, вредоносность которого обусловлена снижением урожайности и товарности продукции.

Показано, что в разные годы исследований *VMПеп* в растительных образцах гибридов томата, выращиваемых в тепличных хозяйствах республики, присутствовал как самостоятельно, так и в сочетании с другими вирусами из родов *Cucumovirus*, *Tobamovirus*, *Nepovirus* и *Tobravirus*.

Данные лабораторных исследований свидетельствуют о способности тест-растений *Datura stramonium* L. и *Nicotiana rustica* L. к высокому накоплению вирусных частиц при заражении *VMПеп*. Установлено, что в векторной передаче возбудителя от растения к растению могут участвовать бахчевая тля (*Aphis gossypii* Glov.), западный цветочный трипс (*Frankliniella occidentalis* Perg.), тепличная белокрылка (*Trialeurodes vaporariorum* Wetw.), являющиеся основными вредителями на овощных культурах защищенного грунта.

Ключевые слова: томат, гибрид, вирус мозаики пепино, идентификация, иммуноферментный анализ, тест-растение, переносчик

Для цитирования: Вабищевич, В. В. Идентификация и особенности векторной передачи *Pepino mosaic virus* в культуре томата защищенного грунта / В. В. Вабищевич, И. Г. Волчкевич, М. В. Конопацкая // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. биол. наук. – 2020. – Т. 65, № 4. – С. 432–440. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2020-65-4-432-440>

Viktoria V. Vabishchevich, Irina G. Vauchkevich, Marina V. Kanapatskaya

Institute of Plant Protection, a/c Priluki, Minsk Region, Republic of Belarus

IDENTIFICATION AND ASSESSMENT OF VECTOR TRANSMISSION OF THE *PEPINO MOSAIC VIRUS* IN THE CULTURE OF TOMATO PROTECTED GROUND

Abstract. It is known that tomato is one of the most susceptible vegetable crops affected by viral pathogens. Recently, *Pepino mosaic virus*, is widespread in greenhouse plantations in Europe the harmfulness of which leads to yield and marketability of products decrease.

The analysis of tomato hybrids grown in greenhouses of the republic has shown that in different years of research, *Pepino mosaic virus* has been present both in mono infection and in combination with the other viruses from the genus *Cucumovirus*, *Tobamovirus*, *Nepovirus* and *Tobravirus*.

Laboratory data indicate the susceptibility and ability to high accumulation of viral particles when test plants *Datura stramonium* L. and *Nicotiana rustica* L. have been infected with the pepino mosaic virus. It is determined that *Aphis gossypii* Glov., *Frankliniella occidentalis* Perg. and *Trialeurodes vaporariorum* Wetw. can participate in the vector transmission of the pathogen between host plants.

Keywords: tomato, hybrid, *Pepino mosaic virus*, identification, linked immunosorbent assay (ELISA-test), test plant, vector

For citation: Vabishchevich V. V., Vauchkevich I. G., Kanapatskaya M. V. Identification and assessment of vector transmission of the *Pepino mosaic virus* in the culture of tomato protected ground. *Vesti Natsyynal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2020, vol. 65, no. 4, pp. 432–440 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2020-65-4-432-440>

Введение. Учеными разных стран проводятся многоплановые исследования видового разнообразия вирусных заболеваний, путей их распространения, вредоносности, а также совершенствуются существующие и разрабатываются новые методы диагностики патогенов.

Томат является одной из самых восприимчивых культур из семейства *Solanaceae*, поэтому его культивирование в условиях защищенного грунта требует пристального внимания при изу-

чений этиологии, биологии и особенностей развития патологических процессов, вызываемых вирусами. Всего описано 136 видов вирусов, инфицирующих томат, 9 из которых включены Европейской и Средиземноморской организацией по карантину и защите растений (ЕОКЗР) в список карантинных вредных организмов [1–3]. Поскольку противовирусные продукты для защиты культуры отсутствуют, стратегии контроля основываются на использовании гибридов с высокой генетической устойчивостью, профилактических мерах предотвращения виروزов, раннем выявлении и искоренении больных растений [4].

Наряду с широко распространенными вирусами огуречной и томатной мозаики, вирусом бронзовости томата в число вредоносных патогенов культуры входит также вирус мозаики пепино (ВМПеп) – *Pepino mosaic virus (PepMV)* [5]. Основными растениями-хозяевами ВМПеп являются пепино (*Solanum muricatum* A.), картофель (*Solanum tuberosum* L.), томат (*Lycopersicon esculentum* Mill.) и некоторые виды сорных растений (*Chenopodium murale* L., *Diploaxis erucoides* L., *Malva parviflora* L., *Moricandia arvensis* L., *Nicotiana glauca* G., *Sisymbrium irio* L., *Solanum nigrum* L., *Sonchus oleraceus* L., *Plantago afra* L. и др.) [6–8].

Присутствие вируса в посадках защищенного грунта отмечено во многих странах Европы, в том числе на территории Украины, Польши и Литвы [9–12]. В России ВМПеп идентифицирован на гибриде Алькасар, ранее широко культивируемом в тепличных хозяйствах Беларуси [13]. Установлено, что возбудитель эффективно передается при стандартных процедурах ухода за растениями, с циркулирующим питательным раствором, а также с помощью шмелей, используемых для опыления томата [14, 15].

В настоящее время известно 4 изолята вируса пепино, инфицирование которыми сопровождается сильной дифференциацией симптомов проявления заболевания на растениях и плодах (разные виды мозаик) [16–18]. Вследствие этого уровень экономических потерь урожая томатов от ВМПеп как между, так и внутри производственных регионов сильно варьируется, составляя от 15 до 80,0 % [19].

Быстрое континентальное распространение вируса пепино, международный торговый товарообмен, семенной импорт и потери урожая томата за счет ухудшения качества продукции стали предпосылкой для проведения целенаправленных исследований по выявлению возбудителя в тепличных посадках культуры на территории республики, а также установлению возможности его передачи векторным путем.

Материалы и методы исследования. Для идентификации вируса пепино использовали образцы различных гибридов томата с широким спектром вирусоспецифических симптомов, отобранные при маршрутных обследованиях тепличных посадок культуры, в том числе и плоды томата с признаками различного вида пятнистостей и/или с внутренним почернением мякоти (черные включения).

Для подтверждения видовой идентификации ВМПеп на томатах методом биологического тестирования в качестве экспериментального круга отобрано 10 видов растений-индикаторов из семейств *Solanaceae*, *Leguminoceae* и *Cucurbitaceae*: виды табака (*Nicotiana tabacum* L., *N. glutinosa* L., *N. rustica* L.), дурман обыкновенный (*Datura stramonium* L.), перец однолетний (*Capsicum annuum* L.), томат съедобный (*Lycopersicon esculentum* Mill.), физалис земляничный (*Physalis pruinosa* L.), фасоль обыкновенная (*Phaseolus vulgaris* L.), огурец полевой (*Cucumis sativus* L.) и тыква обыкновенная (*Cucurbita pepo* Mill.).

Растения-индикаторы выращивали в лабораторных условиях при комнатной температуре (20–25 °С) и освещенности 8 тыс. лк. Поскольку для молодых растений характерна более высокая интенсивность клеточных реакций, механическая инокуляция тест-растений (по 5 штук каждого вида) ВМПеп проводилась нами в ранние фазы их онтогенеза (3–4 настоящих листа). В качестве инокулянта использовали растительный сок, выделенный из листьев инфицированного томата, ранее протестированный на наличие патогена. Контролем служили растения, инокулированные дистиллированной водой [20]. Наблюдения за реакцией тест-растений проводили через каждые 5–7 дней.

Для идентификации и определения уровня ВМПеп в растительном материале применяли метод твердофазного иммуоферментного анализа (ИФА), используя коммерческие наборы фирм

Adgen Ltd (Великобритания) и BIOREBA AG (Швейцария). Оценку результатов анализа осуществляли на планшетном фотометре Multiskan MS (Labsystem) при длине волны 405 нм, который позволяет измерить оптическую плотность (ед. опт. пл.) продукта ферментативной реакции непосредственно в лунках планшета.

Для определения инфекционности вируса посредством насекомых-переносчиков (бахчевой тли (*Aphis gossypii* Glov.), белокрылки тепличной (*Trialeurodes vaporariorum* Wetw.), западного цветочного трипса (*Frankliniella occidentalis* Perg.)) проводили лабораторные опыты согласно методическим рекомендациям Ю. И. Власова с соавт. [21, 22].

Результаты и их обсуждение. Симптомы, индуцируемые ВМПеп при заражении томата, очень вариабельны. В некоторых случаях на растениях отмечают хлоротичную мозаику, пятнистость или деформацию листовых пластинок, а также хлороз или мраморность плодов [23, 24]. Такое варьирование фенотипического проявления ВМПеп при инфицировании томата возможно по многим причинам: различные изоляты патогена, влияние климатических факторов внешней среды, способ инфицирования, разная восприимчивость растений и т. д. [25]. За годы исследований нами также наблюдалась многообразная симптоматика на тепличных гибридах томата при поражении возбудителем (рис. 1).

В 2012 г. в посадках гибрида Жеронимо были обнаружены растения с симптомами светло-зеленой и желтой пятнистости, деформации, угнетения роста и развития листьев. В ходе лабораторных исследований 87 тест-образцов положительный результат на наличие ВМПеп получен для 25 (28,7 %) тестируемых проб. Патологические изменения листового аппарата отмечены и на других гибридах томата (Раиса, Старбак, Евпатор и Тореро), в пробах которых также выявлен вирус пепино. Максимальная концентрация патогена ($E405 > 0,750$ ед. опт. пл.) отмечена в образцах томата Жеронимо F1 ($0,786 \pm 0,16$), Евпатор F1 ($0,807 \pm 0,06$) и Тореро F1 ($2,130 \pm 0,211$).

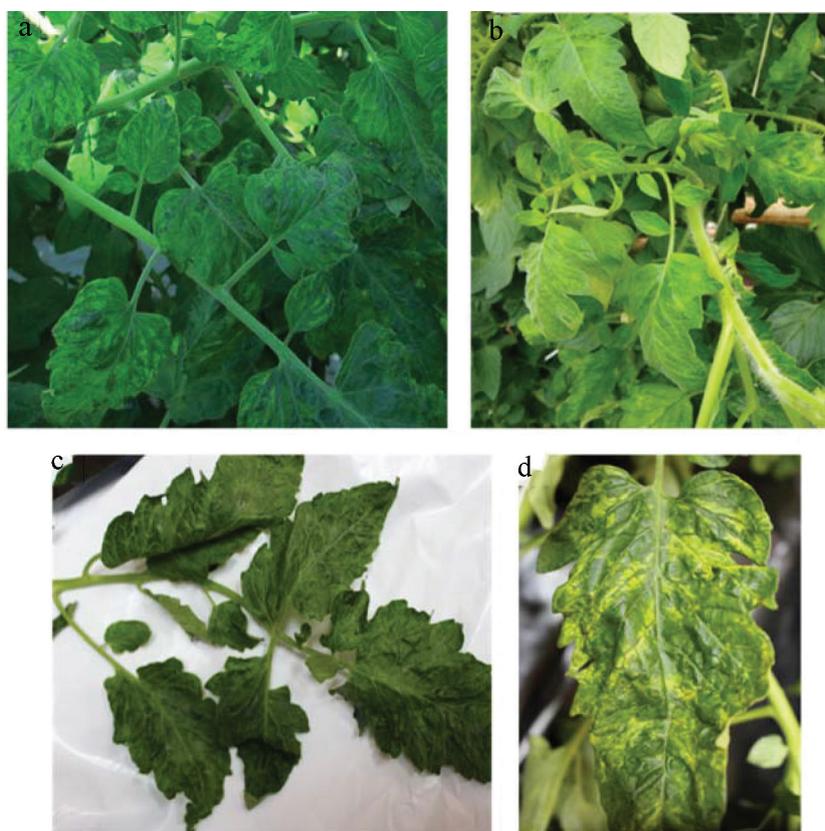


Рис. 1. Симптомы проявления ВМПеп на растениях томата: *a* – Жеронимо F1 (2012 г.), *b* – Раиса F1 (2019 г.); *c*, *d* – Тореро F1 (2017 г.)

Fig. 1. Symptoms PepMV on tomato plants: *a* – Zheronimo F1 (2012), *b* – Raissa F1 (2019); *c*, *d* – Torero F1 (2017)

В 2013 г. ВМПеп вновь идентифицирован в растениях Тореро F1 и Жеронимо F1, в 2014 г. – у Тореро F1 и Прунус F1, в 2017 г. – у Тореро F1, в 2019 г. – у Тореро F1, Раиса F1, Баловень F1, Киву F1 и Фаворит F1 (табл. 1).

Таблица 1. Идентификация инфицированности ВМПеп гибридов томата защищенного грунта (по данным исследований методом ИФА)

Table 1. Identification of protected ground hybrids infection by PepMV (results of ELISA-test)

Год	Гибрид (F1)	Идентифицированный вирус
2012	Тореро	ВМПеп
	Жеронимо	ВМПеп, ВМПеп + ВОМ, ВМПеп + ВМТо
	Раиса	ВМПеп, ВМПеп + НКПТ
	Евпатор	ВМПеп, ВМПеп + ВТП
	Старбак	ВМПеп, ВМПеп + НКПТ
2013	Тореро	ВМПеп
	Жеронимо	ВМПеп
2014	Тореро	ВМПеп + ВОМ
	Прунус	ВМПеп, ВМПеп + ВТМ
2017	Тореро	ВМПеп, ВМПеп + ВМТо + ВОМ
2019	Тореро	ВМПеп, ВМПеп + ВТМ, ВМПеп + ВОМ, ВМПеп + ВМТо + ВОМ, ВМПеп + ВТМ + ВОМ, ВМПеп + ВМТо + ВТМ + ВОМ
	Раиса	ВМПеп + ВТМ
	Баловень	ВМПеп
	Киву	ВМПеп + ВТМ
	Фаворита	ВМПеп + ВМТо + ВОМ

Примечание. ВМПеп – вирус мозаики пепино, ВОМ – вирус огуречной мозаики, ВМТо – вирус мозаики томата, ВТМ – вирус мозаики табака, ВТП – вирус погрешности табака, НКПТ – неповирус кольцевой пятнистости табака.

Следует отметить, что в некоторых растительных образцах выявлена комплексная инфекция ВМПеп в комбинации с возбудителями из родов *Cucumovirus*, *Tobamovirus*, *Nepovirus* и *Tobravirus* [26]. Возможность инфицирования вирусом растений томата в комплексе с другими патогенами отмечается в работах многих авторов. Так, в томатах черри ВМПеп выявляли совместно с вирусом огуречной мозаики и вирусом мозаики томата [27]. Поскольку в условиях смешанных инфекций патологическое действие вирусов обусловлено не только характером взаимодействия их с растением-хозяином, но и взаимоотношениями между собой, то факт выявления нами вируса пепино в комбинационной группе требует более детального изучения специфики накопления и транслокации возбудителя в зависимости от состава инфекции.

По результатам биологического тестирования на 8 видах растений из 10 инфицированных проявились симптомы, которые соответствовали характеру проявления ВМПеп, описанному в литературных источниках [28]. Так, на растениях *Nicotiana* spp., *D. stramonium* и *C. annuum* отмечалась различная мозаика, на *L. esculentum* и *Ph. pruinosa* – деформация и хлоротичное поражение листьев, на *Ph. vulgaris* – пятнистость листьев (табл. 2, рис. 2). Следует отметить, что на растениях *N. glutinosa* инфекция носила латентный характер.

Симптомы заражения возбудителем отсутствовали на огурце (*C. sativus*) и тыкве (*C. pepo*), при проведении тестирования образцов методом ИФА в разные сроки вирус также не выявлен.

По данным ИФА установлено, что ВМПеп более интенсивно накапливается в растениях *D. stramonium* и *N. rustica*, в которых содержание вирусных частиц спустя 4 недели после заражения достигало 1,013 и 0,952 ед. опт. пл., спустя 20 недель – более 3,1 ед. опт. пл. (табл. 2). В растениях *L. esculentum* и *C. annuum* высокий показатель концентрации вируса отмечали только через 20 недель после инокуляции.

Таблица 2. Симптомы проявления и накопление ВМПеп в тест-растениях (лабораторный опыт, 2019 г.)

Table 2. Symptoms and accumulation of PepMV in test plants (laboratory experiment, 2019)

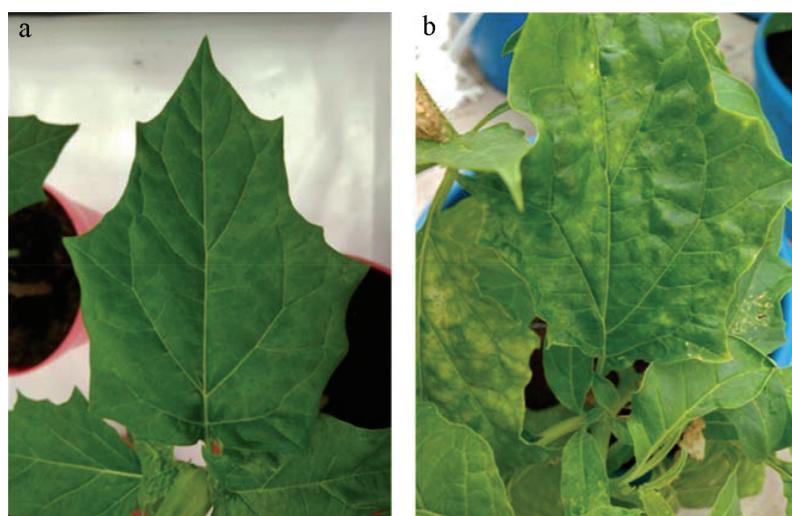
Вид и сорт тест-растения	Симптомы проявления	ИФА, ед. опт. пл.	
		после 4 недель	после 20 недель
<i>Solanaceae</i>			
<i>Nicotiana tabacum</i> L. (Samsun)	clm	0,448	0,558
<i>N. glutinosa</i> L.	ns	0,245	0,642
<i>N. rustica</i> L.	ml	0,952	2,448
<i>Datura stramonium</i> L.	sm	1,013	3,263
<i>Capsicum annuum</i> L. (Алеся)	ml	0,187	3,130
<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill. (Ляна)	dis, lc	0,365	3,131
<i>Physalis pruinosa</i> L. (Янтарь)	dis	0,158	0,335
<i>Leguminoceae</i>			
<i>Phaseolus vulgaris</i> L. (Мотольская белая)	sp	0,215	0,410
<i>Cucurbitaceae</i>			
<i>Cucumis sativus</i> L. (Верасень)	ns	0,143	0,128
<i>Cucurbita pepo</i> var. <i>clupeata</i> Mill. (Малышка)	ns	0,135	0,111
+К (положительный контроль)		2,940	2,413
–К (отрицательный контроль)		0,165	0,134

Примечание. Clm – хлоротичная мозаика, ns – симптомы отсутствуют, ml – мягкая мозаика, s – системное поражение, m – мозаика, dis – деформация листьев, lc – хлоротичное поражение, sp – пятнистость.

Результаты исследований позволяют рекомендовать *D. stramonium*, *N. rustica* в качестве накопителей ВМПеп для последующего выделения и использования в разработках иммунохроматографических тестов.

Из литературных источников известно, что ВМПеп является высококонтагиозным, так как эффективно передается механически и насекомыми (шмели, тля, четырехногие клещи) [29].

Для установления внутривидовой (томат→томат (гибрид Ивановец), перец→перец (сорт Алеся), дурман→дурман) и межвидовой (дурман→томат, дурман→перец, дурман→табак) инфекционности ВМПеп были проведены лабораторные опыты, в ходе которых использовали насекомых-переносчиков и применяли штамм PepMV-V17, выделенный нами в 2017 г.

Рис. 2. Реакция *Datura stramonium* L. на заражение ВМПеп спустя 4 (a) и 20 (b) недель после зараженияFig. 2. *Datura stramonium* L. reaction on PepMV infection in 4 (a) and 20 weeks (b) after infection

Состав филофагов овощных культур защищенного грунта на территории республики представлен широким спектром вредителей [30]. С целью оценки возможного переноса ВМПеп векторным путем нами выбраны бахчевая тля, тепличная белокрылка, а также западный цветочный трипс, для которых ранее была установлена способность передачи других видов вирусов [31].

Результаты исследований показали, что все фитофаги способны участвовать в распространении и передаче ВМПеп. Однако время проявления, симптоматика и развитие инфекции различны для каждого из видов растений.

По данным ИФА, наилучшие показатели концентрации ВМПеп выявлены при его передаче западным цветочным трипсом по схеме томат→томат, дурман→томат, дурман→перец (табл. 3). Положительные результаты получены при заселении тепличной белокрылкой (схема переноса: томат→томат, дурман→дурман) и бахчевой тлей (схема переноса: перец→перец, дурман→дурман, дурман→томат).

Таблица 3. Оценка векторной передачи ВМПеп (лабораторный опыт, 2019 г.)

Table 3. Evaluation of PepMV vector transmission (laboratory experiment, 2019)

Кормовое растение → тест-растение	Результат переноса			ИФА, ед. опт. пл.		
	Бахчевая тля	Западный цветочный трипс	Тепличная белокрылка	Бахчевая тля	Западный цветочный трипс	Тепличная белокрылка
Томат→томат	+	+	+	0,215	0,699	0,712
Перец→перец	+	+	+	0,715	0,253	0,216
Дурман→дурман	+	–	+	0,190	0,125	3,260
Дурман→табак	–	+/-	+	0,112	0,196	0,365
Дурман→перец	+	+	+	2,784	1,806	0,185
Дурман→томат	+	+	+	3,220	0,914	0,452
+К (положительный контроль)				2,413		
-К (отрицательный контроль)				0,134		

Примечание. «+» – положительная реакция, «–» – симптомы отсутствуют, «+/-» – слабые симптомы заражения.

Полученные результаты важны для дальнейшего углубленного изучения вопроса о переносчиках ВМПеп, являющихся специализированными вредителями овощных культур защищенного грунта, разработки схем защиты в период вегетации культуры томата, а также для исследования биологических агентов (энтомофагов) как возможных векторов вируса, часто используемых в интегрированной системе защиты тепличных растений.

Заключение. Результаты исследований свидетельствуют об устойчивом циркулировании вируса мозаики пепино в посадках томата защищенного грунта, который выявляется и в гибридах более поздней интродукции (в 2019 г. их было 5 – Тореро F1, Раиса F1, Баловень F1, Киву F1 и Фаворит F1). В большинстве случаев ВМПеп идентифицировали в смешанной инфекции и в различных комбинациях с вирусными патогенами из родов *Cucumovirus*, *Tobamovirus*, *Nepovirus* и *Tobravirus*, что непосредственно могло влиять на симптомы проявления болезни при заражении растений.

Высокая восприимчивость растений *Datura stramonium* L., *Nicotiana rustica* L. при заражении изолятом РерMV-V17 позволяет в дальнейшем использовать их в качестве накопителей и тест-индикаторов для первичной диагностики ВМПеп.

Учитывая ранее доказанную высокую инфекционность ВМПеп, а также его способность распространяться с помощью насекомых-вредителей, риск влияния ВМПеп на качество и урожайность томата усиливается. Это определяет актуальность проведения дальнейших исследований по идентификации и биологии ВМПеп на других овощных культурах, выращиваемых в условиях защищенного грунта.

Список использованных источников

1. Hanssen, M. Emerging viral diseases of tomato crops / M. Hanssen, M. Lapidot, P. H. J. Thomma // Mol. Pl.-Mic. Interact. – 2010. – Vol. 23, N 5. – P. 539–548. <https://doi.org/10.1094/MPMI-23-5-0539>
2. EPPO A1 List of pests recommended for regulation as quarantine pests – version 2019-09 [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.eppo.int/ACTIVITIES/plant_quarantine/A1_list/ – Date of access: 19.09.2019.

3. EPPO A2 List of pests recommended for regulation as quarantine pests – version 2019-09 [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.eppo.int/ACTIVITIES/plant_quarantine/A2_list/ – Date of access: 19.09.2019.
4. ATS-протокол гигиенических мер для томатов / Agro Technical Supplies bv [Electronic resource]. – Mode of access: <http://horti-webshop.com/?lang=russia&page=358&id=c0c7c76d30bd3dcaefc96f40275bdc0a>. – Date of access: 05.03.2013.
5. *Pepino mosaic virus*: EPPO Standards PM 7/113 (1) // Bulletin. – 2013. – N 43. – P. 94–104.
6. First report of *Pepino mosaic virus* on natural hosts / C. Jorda [et al.] // Pl. Dis. – 2001. – Vol. 85, N 12. – P. 1292. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2001.85.12.1292D>
7. Martin, J. Potato varieties which are sensitive to the tomato strain of *Pepino mosaic virus* (PepMV) / J. Martin, C. Mousserion // Phytoma Défense Végétaux. – 2002. – Vol. 552. – P. 26–28.
8. Cordoba, M. C. New Natural Hosts of *Pepino mosaic virus* in Spain / M. C. Córdoba, Ll. Martínez-Priego, C. Jordá // Pl. Dis. – 2004. – Vol. 88, N 8. – P. 906. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.8.906D>
9. Verhoeven, J. T. J. High similarity between tomato isolates of *Pepino mosaic virus* suggests a common origin / J. T. J. Verhoeven, R. Vlugt, J. W. Roenhorst // Eur. J. Pl. Pathol. – 2003. – Vol. 109. – P. 419–425. <https://doi.org/10.1023/A:1024261121468>
10. Rudnieva, T. Virus diseases of vegetable crops in greenhouse conditions in Ukraine / T. Rudnieva // Вісн. Київ. Нац. ун-ту ім. Т. Шевченка. Сер. Біологія. – 2008. – Вип. 51. – С. 45–46.
11. Hasiow-Jaroszewska, B. New necrotic isolates of *Pepino mosaic virus* representing the Ch2 genotype / B. Hasiow-Jaroszewska, H. Pospieszny, N. Borodynko // J. Phytopathol. – 2009. – Vol. 157, N 7–8. – P. 494–496. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2008.01496.x>
12. First report of two distinct strains of *Pepino mosaic virus* infecting tomatoes in greenhouses in Lithuania / D. Šneideris [et al.] // J. Pl. Pathol. – 2013. – Vol. 95, N 1. – P. 217–218. <https://doi.org/10.4454/JPP.V95I1.024>
13. Чанг, Н. Х. Т. К. Распространение и патогенез вирусных заболеваний томата в условиях Вьетнама и России : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 06.01.07 / Н. Х. Т. К. Чанг ; Рос. ун-т дружбы народов. – М., 2013. – 22 с.
14. Vectoring of *Pepino mosaic virus* by bumble-bees in tomato greenhouses / J. L. Shipp [et al.] // Ann. Appl. Biol. – 2008. – Vol. 153, N 2. – P. 149–155. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2008.00245.x>
15. Detection, spread and interactions of *Pepino mosaic virus* and *Pythium aphanidermatum* in the root environment of tomato in hydroponics / D. Schwarz [et al.] // Acta Hort. – 2009. – Vol. 808. – P. 163–170. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.808.24>
16. Mumford, R. A. The practical sequencing of the genomic RNA of a UK isolate of *Pepino mosaic virus* and the comparison of the coat protein sequence with other isolates from Europe and Peru / R. A. Mumford, E. J. Metcalfe // Arch. Virol. – 2001. – Vol. 146, N 12. – P. 2455–2460. <https://doi.org/10.1007/s007050170015>
17. Lopez, C. Comparison of the complete sequences of three different isolates of *Pepino mosaic virus*: size variability of the TGBp3 protein between tomato and *Lycopersicon peruvianum* isolates / C. Lopez, S. Soler, F. Nuez // Arch. Virol. – 2005. – Vol. 150, N 3. – P. 619–627.
18. Ling, K.-S. Molecular characterization of two *Pepino mosaic virus* variants from imported tomato seed reveals high levels of sequence identity between Chilean and US isolates / K. Ling // Virus Genes. – 2007. – Vol. 34, N 1. – P. 1–8. <https://doi.org/10.1007/s11262-006-0003-x>
19. Effect of *Pepino mosaic virus* on the yield and quality of glasshouse grow tomatoes in the UK / N. J. Spense [et al.] // Pl. Pathol. – 2006. – Vol. 55, N 5. – P. 595–606. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2006.01406.x>
20. Блоцкая, Ж. В. Вирусные болезни картофеля / Ж. В. Блоцкая. – Минск : Навука і тэхніка, 1993. – 222 с.
21. Власов, Ю. И. Методические указания по векторной передаче вирусов, поражающих сельскохозяйственные культуры / Ю. И. Власов, Т. П. Теплоухова, Э. И. Ларина. – Л. : ВНИИ защиты растений, 1990. – 97 с.
22. Власов, Ю. И. Сельскохозяйственная фитовирусология / Ю. И. Власов, Э. И. Ларина, Э. В. Трускинов. – СПб. ; Пушкин : ФГБНУ «Всерос. НИИ защиты растений», 2016. – 236 с.
23. *Pepino mosaic virus* isolates and differential symptomatology in tomato / I. M. Hanssen [et al.] // Pl. Pathol. – 2009. – Vol. 58, N 3. – P. 450–460. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2008.02018.x>
24. Ratio of mutated versus wild-type coat protein sequences in *Pepino mosaic virus* determines the nature and severity of yellowing symptoms on tomato plants / B. Hasiow-Jaroszewska [et al.] // Mol. Pl. Pathol. – 2013. – Vol. 14, N 9. – P. 923–933. <https://doi.org/10.1111/mpp.12059>
25. Mixed infections of *Pepino mosaic virus* strains modulate the evolutionary dynamics of this emergent virus / P. Gómez [et al.] // J. Virol. – 2009. – Vol. 83, N 23. – P. 12378–12387. <https://doi.org/10.1128/JVI.01486-09>
26. International Committee on Taxonomy of Viruses [Electronic resource]. – Mode of access: <https://talk.ictvonline.org/taxonomy>. – Date of access: 12.09.2019.
27. Efthimiou, K. E. First report of *Pepino mosaic virus* infecting greenhouse cherry tomatoes in Greece / K. E. Efthimiou [et al.] // Pl. Dis. – 2011. – Vol. 95, N 1. – P. 78. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-10-0643>
28. Salamone, A. Host range, seed transmission and detection by ELISA and lateral flow of an Italian isolate of *Pepino mosaic virus* / A. Salomone, P. Roggero // Pl. Pathol. – 2002. – Vol. 84, N 1. – P. 65–68. <https://doi.org/10.4454/jpp.v84i1.1088>
29. Фоминых, Т. С. Диагностика вирусных, виroidных и фитоплазменных болезней овощных культур и картофеля : учеб.-метод. пособие / Т. С. Фоминых, Д. З. Богоутдинов. – СПб. ; Пушкин : ФГБНУ «Всерос. НИИ защиты растений», 2017. – 96 с.

30. Долматов, Д. А. Особенности формирования комплексов вредных членистоногих в посадках овощных культур защищенного грунта в Беларуси / Д. А. Долматов, И. А. Прищепа // Защита растений в условиях закрытого грунта: перспективы XXI века : информ. бюл. № 41 МОББ/ВППС, посвящ. 40-летию образования Ин-та защиты растений, Беларусь / ред. : Д. Сосновска [и др.]. – Несвиж, 2010. – С. 108–126.

31. Гнутава, Р. В. Таксономия вирусов растений Дальнего Востока России / Р. В. Гнутава. – Владивосток : Дальнаука, 2009. – 465 с.

References

1. Hanssen M., Lapidot M., Thomma P. H. J. Emerging viral diseases of tomato crops. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 2010, vol. 23, no. 5, pp. 539–548. <https://doi.org/10.1094/MPMI-23-5-0539>
2. EPPO A1 List of pests recommended for regulation as quarantine pests – version 2019-09. Available at: https://www.eppo.int/ACTIVITIES/plant_quarantine/A1_list/ (accessed 19.09.2019).
3. EPPO A2 List of pests recommended for regulation as quarantine pests – version 2019-09. Available at: https://www.eppo.int/ACTIVITIES/plant_quarantine/A2_list/ (accessed 19.09.2019).
4. ATS – Protokool gigiyenicheskikh mer dlya tomatov (*Agro Technical Supplies*) Available at: <http://horti-webshop.com/?lang=russia&page=358&id=c0c7c76d30bd3dcaefc96f40275bdc0a/> (accessed 05.03.2013).
5. *Pepino mosaic virus*: EPPO Standards PM 7/113 (1). *Bulletin*, 2013, no. 43, pp. 94–104.
6. Jorda C., Lazaro Perez A., Martine Culebras P. V., Lacasa A. First report of *Pepino mosaic virus* on natural hosts. *Plant Disease*, 2001, vol. 85, no. 12, p. 1292. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2001.85.12.1292D>
7. Martin J., Mousserion C. Potato varieties which are sensitive to the tomato strain of *Pepino mosaic virus* (PepMV). *Phytoma Défence Végétaux*, 2002, vol. 552, pp. 26–28.
8. Cordoba M. C., Martínez-Priego L., Jordá C. New natural hosts of *Pepino mosaic virus* in Spain. *Plant Diseases*, 2004, vol. 88, no. 8, p. 906. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.8.906D>
9. Verhoeven J. T. J., Vlugt R., Roenhorst J. W. High similarity between tomato isolates of *Pepino mosaic virus* suggests a common origin. *European Journal Plant Pathology*, 2003, vol. 109, pp. 419–425. <https://doi.org/10.1023/A:1024261121468>
10. Rudnieva T. Virus diseases of vegetable crops in greenhouse conditions in Ukraine. *Visnik Kiïvs'kogo natsional'nogo universitetu imeni Tarasa Shevchenka. Seriya Biologiya = Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv – Biology*, 2008, no. 51, pp. 45–46.
11. Hasiow-Jaroszewska B., Pospieszny H., Borodynko N. New necrotic isolates of *Pepino mosaic virus* representing the Ch2 genotype. *Journal Phytopathology*, 2009, vol. 157, no. 7–8, pp. 494–496. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2008.01496.x>
12. Šneideris D., Žižītė M., Zitkaitė I., Urbanavičienė L., Staniulis J. First report of two distinct strains of *Pepino mosaic virus* infecting tomatoes in greenhouses in Lithuania. *Plant Pathology*, 2013, vol. 95, no. 1, pp. 217–218. <https://doi.org/10.4454/JPPV9511.024>
13. Chang N. Kh. T. K. *The spread and pathogenesis of tomato viral diseases in Vietnam and Russia*. Abstract of Ph. D. diss. Moscow, 2013. 22 p. (in Russian).
14. Shipp L., Buitenhuis R., Stobbs L., Wang K., Kim W.-S., Ferguson G. Vectoring of *Pepino mosaic virus* by bumblebees in tomato greenhouses. *Annals of Applied Biology*, 2008, vol. 153, no. 2, pp. 149–155. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2008.00245.x>
15. Schwarz D., Paschek U., Bandte M., Büttner C., Obermeier C. Detection, spread and interactions of *Pepino mosaic virus* and *Pythium aphanidermatum* in the root environment of tomato in hydroponics. *Acta Horticulturae. II International Symposium on Tomato Diseases*, 2009, vol. 808, pp. 163–170. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.808.24>
16. Mumford R. A., Metcalfe E. J. The practical sequencing of the genomic RNA of a UK isolate of *Pepino mosaic virus* and the comparison of the coat protein sequence with other isolates from Europe and Peru. *Archives of Virology*, 2001, vol. 146, no. 12, pp. 2455–2460. <https://doi.org/10.1007/s007050170015>
17. Lopez C., Soler S., Nuez F. Comparison of the complete sequences of three different isolates of *Pepino mosaic virus*: size variability of the TGBp3 protein between tomato and *Lycopersicon peruvianum* isolates. *Archives of Virology*, 2005, vol. 150, no. 3, pp. 619–627.
18. Ling K.-S. Molecular characterization of two *Pepino mosaic virus* variants from imported tomato seed reveals high levels of sequence identity between Chilean and US isolates. *Virus Genes*, 2007, vol. 34, no. 1, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1007/s11262-006-0003-x>
19. Spense N. J., Basham J., Mumford R. A., Hayman G. Effect of *Pepino mosaic virus* on the yield and quality of glasshouse grow tomatoes in the UK. *Plant Pathology*, 2006, vol. 55, no. 5, pp. 595–606. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2006.01406.x>
20. Blotskaya Zh. V. *Potato viral diseases*. Minsk, Navuka i tehnika Publ., 1993. 222 p. (in Russian).
21. Vlasov Yu. I., Teploukhova T. N., Larina E. I., Vlasov D. Yu. *Viral diseases of vegetables and melons cultural*. Leningrad, All-Russian Scientific Research Institute for Plant Protection, 1973. 72 p. (in Russian).
22. Vlasov Yu. I., Larina E. I., Truskinov E. V. *Agricultural of phyto-virology*. St. Petersburg, Pushkin, Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Scientific Research Institute for Plant Protection”, 2016. 236 p. (in Russian).
23. Hanssen I. M., Paeleman A., Vandewoestijne E., Van Bergen L., Bragard C., Lievens B., Vanachter A. C. R. C., Thomma B. P. H. J. *Pepino mosaic virus* isolates and differential symptomatology in tomato. *Plant Pathology*, 2009, vol. 58, no. 3, pp. 450–460. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2008.02018.x>

24. Hasiow-Jaroszewska B., Paeleman A., Ortega-Parra N., Borodynko N., Minicka J., Czerwoniec A., Thomma B. P., Hanssen I. M. Ratio of mutated versus wild-type coat protein sequences in *Pepino mosaic virus* determines the nature and severity of yellowing symptoms on tomato plants. *Molecular Plant Pathology*, 2013, vol. 14, no. 9, pp. 923–933. <https://doi.org/10.1111/mpp.12059>

25. Gómez P., Sempere R. N., Elena S. F., Aranda M. A. Mixed infections of *Pepino mosaic virus* strains modulate the evolutionary dynamics of this emergent virus. *Journal of Virology*, 2009, vol. 83, no. 23, pp. 12378–12387. <https://doi.org/10.1128/JVI.01486-09>

26. *International Committee on Taxonomy of Viruses*. Available at: <https://talk.ictvonline.org/taxonomy> (accessed 19.09.2019).

27. Efthimiou K. E., Gatsios A. P., Aretakis K. C., Papayiannis L. C., Katis N. I. First report of *Pepino mosaic virus* infecting greenhouse cherry tomatoes in Greece. *Plant Diseases*, 2011, vol. 95, no. 1, p. 78. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-10-0643>

28. Salamone A., Roggero P. Host range, seed transmission and detection by ELISA and lateral flow of an Italian isolate of *Pepino mosaic virus*. *Journal of Plant Pathology*, 2002, vol. 84, no. 1, pp. 65–68. <https://doi.org/10.4454/jpp.v84i1.1088>

29. Fominykh T. S., Bogoutdinov D. Z. *Diagnosis of viral, viroid and phytoplasmic diseases of vegetable crops and potatoes: textbook methodical*. St. Petersburg, Pushkin, Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Scientific Research Institute for Plant Protection”, 2017. 96 p. (in Russian).

30. Dolmatov D. A., Prishchepa I. A. Features of the formation of complexes of harmful arthropods in plantings of vegetable crops of protected ground in Belarus. *Zashchita rastenii v usloviyakh zakrytogo grunta: perspektivy XXI veka: informatsionnyi byulleten' no. 41 MOBB/VPRS, posvyashchennyi 40-letiyu obrazovaniya Instituta zashchity rastenii, Belarus'* [Plant protection under protected ground conditions: perspectives of the XXI century: information bulletin no. 41 MOBB / VPRS, dedicated to the 40th anniversary of the establishment of the Institute for Plant Protection, Belarus]. Nesvizh, 2010, pp. 108–126 (in Russian).

31. Gnutova R. V. *Taxonomy of plant viruses in the Russian Far East*. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2009. 465 p. (in Russian).

Информация об авторах

Вабищевич Виктория Викторовна – канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник. Институт защиты растений (ул. Мира, 2, 223011, а/г Прилуки, Минский р-н, Республика Беларусь). E-mail: deprik@yandex.ru

Волчкевич Ирина Георгиевна – канд. с.-х. наук, заведующий лабораторией. Институт защиты растений (ул. Мира, 2, 223011, а/г Прилуки, Минский р-н, Республика Беларусь). E-mail: onionprotect@yandex.by

Конопатская Марина Владимировна – науч. сотрудник. Институт защиты растений (ул. Мира, 2, 223011, а/г Прилуки, Минский р-н, Республика Беларусь). E-mail: bmarinaw@yandex.by

Information about the authors

Viktoria V. Vabishchevich – Ph. D. (Biol.), Leading Researcher. Institute of Plant Protections (2, Mir Str., 223011, a/c Priluki, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: deprik@yandex.ru

Irina G. Vauchkevich – Ph. D. (Agricult.), Head of the Laboratory. Institute of Plant Protections (2, Mir Str., 223011, a/c Priluki, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: onionprotect@yandex.by

Marina V. Kanapatskaya – Researcher. Institute of Plant Protections (2, Mir Str., 223011, a/c Priluki, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: bmarinaw@yandex.by