

Вироид латентной мозаики персика – опасный патоген плодовых культур

Ю.Н. ПРИХОДЬКО¹, Т.С. ЖИВАЕВА²,
Е.Н. ЛОЗОВАЯ³, Ю.А. ШНЕЙДЕР⁴,
Е.В. КАРИМОВА⁵

ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений» (ФГБУ «ВНИИКР»), р. п. Быково, г. Раменское, Московская обл., Россия

¹ e-mail: prihodko_yuri59@mail.ru

² e-mail: zhivaeva.vniikr@mail.ru

³ e-mail: evgeniyaf@mail.ru

⁴ ORCID 0000-0002-7565-1241,
e-mail: yury.shneyder@mail.ru

⁵ ORCID 0000-0001-6474-8913,
e-mail: elenavkar@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Вироид латентной мозаики персика (PLMVd) включен в Единый перечень карантинных объектов Евразийского экономического союза. Вироид заражает косточковые плодовые культуры, вызывая значительные потери урожая. PLMVd длительное время считался монофагом, заражающим лишь персик, однако затем был выявлен на большинстве других косточковых плодовых культур, а также на груше. Вироид распространяется с зараженным посадочным материалом, легко переносится прививкой зараженными черенками или почками и очень часто – контаминированным инструментом при обрезке и прививке растений.

Ключевые слова. Peach latent mosaic viroid, PLMVd, кольцевая РНК, изоляты, симптомы, род *Pelamoviroid*.

ВВЕДЕНИЕ

Блезнь под нынешним названием «латентная мозаика персика» была впервые описана в 1976 г. во Франции по результатам тестирования на индикаторном клоне персика GF-305 различных сортообразцов персика, происходящих из США и Японии (J.C. Desvignes, 1976). Название вириода произошло от особенностей его биологии, а именно – длительного (до 5–7 лет) латентного периода на молодых зараженных растениях. Наличие столь длительного латентного периода затрудняет выявление вириода по симптомам и обуславливает возможность его широкого распространения с латентно зараженными растениями. PLMVd является

Peach latent mosaic viroid – dangerous pathogen of fruit crops

YU.N. PRIKHODKO¹, T.S. ZHIVAEVA²,
E.N. LOZOVAYA³, YU.A. SHNEYDER⁴,
E.V. KARIMOVA⁵

FGBU “All-Russian Plant Quarantine Center” (FGBU “VNIKCR”), Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia

¹ e-mail: prihodko_yuri59@mail.ru

² e-mail: zhivaeva.vniikr@mail.ru

³ e-mail: evgeniyaf@mail.ru

⁴ ORCID 0000-0002-7565-1241,
e-mail: yury.shneyder@mail.ru

⁵ ORCID 0000-0001-6474-8913,
e-mail: elenavkar@mail.ru

ABSTRACT

Peach latent mosaic viroid (PLMVd) is included in the Common List of Quarantine Objects of the Eurasian Economic Union. The viroid infects stone fruit crop, causing significant crop losses. For a long time PLMVd was considered a monophage infecting only peach, but then it was detected on most other stone fruit crops, as well as on the pear. The viroid spreads with contaminated planting material, is easily tolerated by grafting with contaminated cuttings or buds, and very often by contaminated tools when pruning and grafting plants.

Keywords. Peach latent mosaic viroid, PLMVd, circular RNA, isolates, symptoms, genus *Pelamoviroid*.

INTRODUCTION

The disease under the current name “peach latent mosaic” was first described in 1976 in France based on the results of testing on the indicator peach clone GF-305 of various peach cultivars originating from the USA and Japan (J.C. Desvignes, 1976). The name of the viroid comes from the peculiarities of its biology, namely, a long (up to 5–7 years) latency period on young infected plants. Such a long latency period makes it difficult to identify the viroid by symptoms and makes

вредоносным патогеном персика и других косточковых плодовых культур, вызывающим снижение качества и количества плодов и постепенное вырождение деревьев. Согласно единым карантинным фитосанитарным требованиям ЕАЭС посадочный материал персика и миндаля должен происходить из зон, свободных от PLMVd (Решение Совета ЕЭК от 30 ноября 2016 г. № 157).

ОБЗОРНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вироиды были открыты Т.О. Динером в 1971 г. Он же предложил термин «вириод». Вироиды являются патогенами растений. Вироиды – инфекционные агенты, представляющие собой ковалентную замкнутую кольцевую РНК, которая содержит от 246 до 467 нуклеотидов. Эта РНК имеет отчетливо выраженную вторичную структуру. Не менее двух третей оснований в составе РНК вириодов может быть спарено за счет комплементарных взаимодействий, приводящих к образованию участков из двойной спирали и небольших петель из неспаренных нуклеотидов, или шпилек. Сложная вторичная структура обеспечивает защиту вириода от нуклеаз клетки. Вироидная РНК не кодирует белки. Репликация осуществляется клеточным ферментом – ДНК-зависимой РНК-полимеразой. Механизм репликации вириодов осуществляется по принципу «катящегося кольца» (rolling circle). РНК несет всю информацию о специфичности хозяина: о биологическом цикле, инфекции, репликации, внутри- и межклеточном движении, преодолении защиты растения и новом цикле инфекции. Многочисленные вторичные и третичные структурные элементы имеют решающее значение для всех функций вириода. Часто проявление симптомов является результатом взаимодействия с растением-хозяином.

Вироиды подразделяются на 2 основных семейства: *Pospiviroidae*, которые реплицируются посредством механизма асимметричного «катящегося кольца» в ядре, и *Avsunviroidae*, которые реплицируются в хлоропластах посредством механизма симметричного «катящегося кольца» (F. Di Serio et al., 2017).

Вироид латентной мозаики персика (Peach latent mosaic viroid, PLMVd) является типовым представителем рода *Pelamoviroid* семейства *Avsunviroidae*. В настоящее время этот патоген распространен в 33 странах Европы, Азии, Африки, Америки и Океании (EPPO, 2021). Информация о выявлении этого вириода в Российской Федерации отсутствует.

PLMVd представляет собой бескапсидную кольцевую одноцепочечную РНК, локализованную в клетках инфицированных растений, которая не выявляется даже при использовании электронного микроскопа. В зависимости от изолята, РНК PLMVd состоит из 335–351 нуклеотида. Вторичная структура РНК PLMVd имеет сложное разветвленное строение и содержит последовательности, участвующие в создании рибозимных структур в форме головки молота (Hammerhead), необходимых для саморасщепления цепей РНК, что характерно для представителей семейства *Avsunviroidae* (C. Hernández, R. Flores, 1992; A. Shamloul et al., 1995; S. Ambrós et al., 1998; R. Flores et al., 1998) (рис. 1).

У типовых изолятов PLMVd, выявленных на персике, геном чаще всего состоит из

it possible for its wide spreading with latently infected plants. PLMVd is a harmful pathogen of peach and other stone fruit crops, causing a decrease in the quality and quantity of fruits and the gradual degeneration of trees. According to the Common Quarantine Phytosanitary Requirements of the EAEU, planting material for peaches and almonds must come from zones free from PLMVd (Decision of the EEC Council of November 30, 2016 No. 157).

OVERVIEW

Viroids were discovered by T.O. Diner in 1971, he also proposed the term “viroid”. Viroids are plant pathogens. Viroids are infectious agents, which are covalent closed circular RNA, which contains from 246 to 467 nucleotides. This RNA has a distinct secondary structure. At least two-thirds of the bases in the RNA of viroids can be paired due to complementary interactions, leading to the formation of sections from a double helix and small loops of unpaired nucleotides, or hairpins. The complex secondary structure protects the viroid from cell nucleases. Viroid RNA does not encode proteins. Replication is carried out by a cellular enzyme – DNA-dependent RNA polymerase. The viroid replication mechanism is based on the principle of the rolling circle. RNA carries all the information about the specificity of the host: about the biological cycle, infection, replication, intra- and intercellular movement, overcoming the plant’s defense and a new cycle of infection. Numerous secondary and tertiary structural elements are critical to all viroid functions. Symptoms are often the result of interactions with the host plant.

Viroids are divided into 2 main families: *Pospiviroidae*, which replicate through the asymmetric rolling circle mechanism in the nucleus, and *Avsunviroidae*, which replicate in chloroplasts through the symmetric “rolling circle” mechanism (F. Di Serio et al., 2017).

Peach latent mosaic viroid (PLMVd) is a typical representative of the genus *Pelamoviroid* of the family *Avsunviroidae*. Currently, this pathogen is spread in 33 countries in Europe, Asia, Africa, America and Oceania (EPPO, 2021). There is no information on the detection of this viroid in the Russian Federation.

PLMVd is a circular single-stranded RNA without capsid (protein coating) localized in the cells of infected plants that is not detectable even when using an electron microscope. Depending on the isolate, PLMVd RNA consists of 335–351 nucleotides. The secondary structure of PLMVd RNA has a complex branched structure and contains sequences involved in the creation of ribozyme structures in the form of a hammerhead, which are necessary for self-cleavage of RNA strands, which is typical for members of the family *Avsunviroidae* (C. Hernández, R. Flores, 1992; A. Shamloul et al., 1995; S. Ambrós et al., 1998; R. Flores et al., 1998) (Fig. 1).

In typical isolates of PLMVd found on peach, the genome most often consists of 336–337 nucleotides (C. Hernández, R. Flores, 1992; A. Shamloul et al., 1995). PLMVd isolates that cause calico symptoms

336–337 нуклеотидов (С. Hernández, R. Flores, 1992; A. Shamloul et al., 1995). Изоляты PLMVd, вызывающие симптомы калико, генетически отличаются от типовых изолятов, индуцирующих симптомы мозаики. Эти различия обусловлены вставкой 12–13 нуклеотидов, посредством которых и вызывается индукция симптомов альбинизма (S. Ambrós et al., 1998; M. Malfitano et al., 2003). В Испании были выявлены 2 изолята PLMVd (V1 и V2), заражающие растения персика в латентной форме и существенно генетически отличающиеся от всех других известных изолятов этого вириода. Изоляты V1 и V2 были отнесены к классу II генетических вариантов PLMVd, а все другие известные изоляты – к классу I (P. Serra et al., 2017).

PLMVd можно выявить в листьях, плодах, побегах и корнях растений персика, как при бессимптомной инфекции, так и при наличии типичных симптомов заражения (R. Flores et al., 1992, 1998).

Как и все вириоды семейства Avsunviroidae, PLMVd размножается и накапливается в хлоропластах клеток растений, но не в ядрах клеток. При этом PLMVd преимущественно локализуется в хлоропластах клеток палисадной паренхимы (F. Bussiere et al., 1999).

Основными растениями – хозяевами PLMVd являются персик (*Prunus persica*) и гибриды персика с миндалем и сливой. Вириод заражает также другие косточковые культуры: абрикос (*Prunus armeniaca*), миндаль (*Prunus amygdalus*), сливу домашнюю (*Prunus domestica*), черешню (*Prunus avium*) (EPPO, 2021). В Японии PLMVd был выявлен также на сливе китайской (*Prunus salicina*) и абрикосе японском (*Prunus mume*) (H. Osaki et al., 1999). В Греции и Тунисе PLMVd был обнаружен на груше домашней (*Pyrus communis*) и груше дикой (*Pyrus amygdaliformis*) (P. Kyriakopoulou et al., 2001; I. Fekih Hassen et al., 2004; I. Boubourakas et al., 2008).

Заражение вириодом здоровых растений происходит в результате прививки зараженными черенками или почками и очень часто – контаминированным инструментом при обрезке и прививке растений (R. Flores et al., 1992; A. Hadidi et al., 1997).

В нескольких проведенных экспериментах не установлена возможность передачи PLMVd с семенами персика (J.C. Desvignes, 1986; M. Barba et al., 2007). Вместе с тем вириод может присутствовать в оболочке плодов и семядолях, но не инфицирует зародыш, что, вероятно, и обуславливает невозможность семенной передачи (M. Barba et al., 2007).

Установлена возможность распространения PLMVd с зараженной пылью. При этом вириод выявляли как на поверхности, так и внутри пыльцевых зерен. После опыления зараженной пылью происходило заражение семян, плодов и побегов опыляемых растений с последующим развитием системной инфекции (M. Barba et al., 2007).

Установлена возможность распространения вириода зеленой персиковой тлей – *Myzus persicae*, но процент переноса был низким. В то же время PLMVd не распространяется клещами и тлями видов *Aphis gossypii* и *Aphis spiraeicola* (J.C. Desvignes, 1986; R. Flores et al., 1992).

На большие расстояния вириод распространяется с зараженными саженцами и черенками, поэтому наиболее эффективным методом предотвращения его распространения является

are genetically different from the type isolates that induce mosaic symptoms. These differences are due to the insertion of 12–13 nucleotides, through which the induction of albinism symptoms is caused (S. Ambrós et al., 1998; M. Malfitano et al., 2003). In Spain, 2 isolates of PLMVd (V1 and V2) were identified, infecting peach plants in a latent form and significantly genetically different from all other known isolates of this viroid. Isolates V1 and V2 were classified as class II of PLMVd genetic variants, and all other known isolates were classified as class I (P. Serra et al., 2017).

PLMVd can be detected in the leaves, fruits, shoots and roots of peach plants, both in asymptomatic infections and in the presence of typical infection symptoms (R. Flores et al., 1992, 1998).

Like all viroids of the Avsunviroidae family, PLMVd multiplies and accumulates in chloroplasts of plant cells, but not in cell nuclei. In this case, PLMVd is predominantly localized in the chloroplasts of the palisade parenchyma cells (F. Bussiere et al., 1999).

The main PLMVd host plants are peach (*Prunus persica*) and hybrids of peach with almonds and plums. Viroid also infects other stone fruit crops: apricot (*Prunus armeniaca*), almond (*Prunus amygdalus*), plum (*Prunus domestica*), sweet cherry (*Prunus avium*) (EPPO, 2021). In Japan, PLMVd was also detected on the Chinese plum (*Prunus salicina*) and Japanese apricot (*Prunus mume*) (H. Osaki et al., 1999). In Greece and Tunisia, PLMVd was found on a common pear (*Pyrus communis*) and almond-leaved pear (*Pyrus amygdaliformis*) (P. Kyriakopoulou et al., 2001; I. Fekih Hassen et al., 2004; I. Boubourakas et al., 2008).

Viroid infection of healthy plants occurs as a result of grafting with infected cuttings or buds and, very often, with contaminated tools during pruning and grafting (R. Flores et al., 1992; A. Hadidi et al., 1997).

Several experiments did not establish the possibility of transferring PLMVd with peach seeds (J.C. Desvignes, 1986; M. Barba et al., 2007). At the same time, the viroid can be present in the membrane of fruits and cotyledons, but does not infect the embryo, which, probably, determines the impossibility of seed transmission (M. Barba et al., 2007).

The possibility of spreading PLMVd with contaminated pollen has been established. In this case, the viroid was detected both on the surface and inside the pollen grains. After pollination with contaminated pollen, the seeds, fruits and shoots of pollinated plants were infected, followed by the development of systemic infection (M. Barba et al., 2007).

The possibility of spreading the viroid of the green peach aphid *Myzus persicae* has been established, but the transmission rate was low. At the same time, PLMVd is not spread by mites and aphids of the species *Aphis gossypii* and *Aphis spiraeicola* (J.C. Desvignes, 1986; R. Flores et al., 1992).

Viroid spreads over long distances with infected seedlings and cuttings, so the most effective method to prevent its spread is to use healthy certified planting material.

According to the reaction of peach varieties, all PLMVd isolates can be divided into 3 groups: 1) latent,

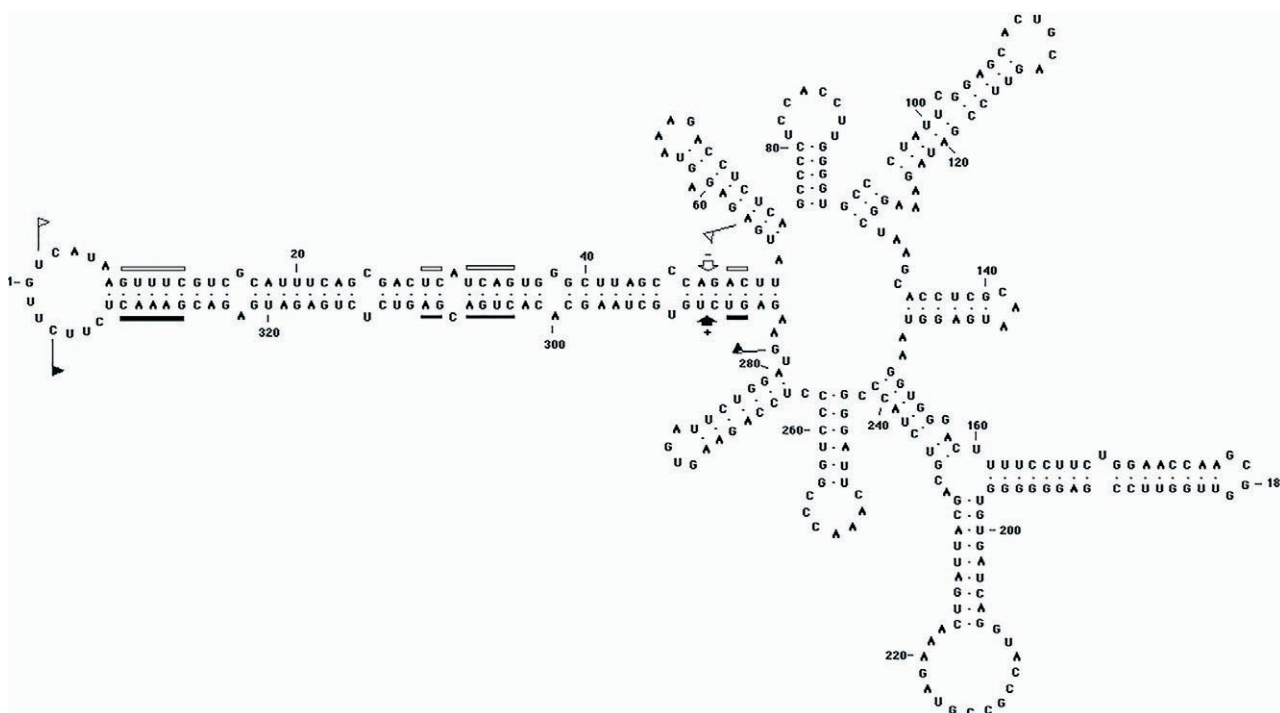


Рис. 1. Первичная и вторичная структура референтного изолята PLMVd M83545 (C. Hernández, R. Flores, 1992)

Fig. 1. Primary and secondary structure of the reference isolate PLMVd M83545 (C. Hernández, R. Flores, 1992)

использование здорового сертифицированного посадочного материала.

По реакции сортов персика все изоляты PLMVd можно подразделить на 3 группы: 1) латентные, чаще всего встречающиеся в природе и послужившие основанием для названия данного вида; 2) вызывающие мозаику или пятнистость листьев различной степени интенсивности; 3) вызывающие симптомы калико (J.C. Desvignes, 1980).

Первые симптомы болезни на растениях персика иногда проявляются через 2 года после посадки зараженных растений, но чаще – через 5–7 лет. Наиболее типичными симптомами являются задержка цветения, распускания листьев и созревания плодов. Протекание всех этих процессов происходит с задержкой на 4–6 дней. На листьях восприимчивых сортов персика появляется кремово-желтая мозаика, хлоротическая пятнистость, окаймление жилок и в наиболее острых случаях – калико (альбинизм), выражающееся в развитии на листьях больших участков ярко-желтого или кремового цвета. На некоторых сортах развиваются узкие листья с бледно-зеленой окраской и некрозами на жилках.

Зараженные плоды неправильной формы, уплощенные, бледно окрашенные, часто имеют трещины на плодном шве и пятна более светлой окраски на кожице, их косточки обычно увеличены и имеют округлую форму. На плодах некоторых сортов персика образуются также хлоротические пятна.

На лепестках цветков некоторые изоляты патогена вызывают появление характерных штрихов или длинных линий светло-красного цвета.

Некоторые изоляты вызывают некроз почек и древесины, а также ямчатость древесины (рис. 2, 3). Типичным при заражении PLMVd является образование характерного открытого габитуса кроны (J.C. Desvignes, 1986; M. Luigi et al., 2010).

most often found in nature and which served as the basis for the name of this species; 2) causing mosaic or leaf spotting of varying degrees of intensity; 3) causing symptoms of calico (J.C. Desvignes, 1980).

The first symptoms of the disease on peach plants sometimes appear 2 years after the infected plants are planted, but more often after 5–7 years. The most common symptoms are delayed flowering, leaf opening and fruit ripening. The course of all these processes occurs with a delay of 4–6 days. On the leaves of susceptible peach varieties, a creamy yellow mosaic, chlorotic spotting, vein bordering and, in the most acute cases, calico (albinism) appear, which is expressed in the development of large areas of bright yellow or cream color on the leaves. Some varieties develop narrow leaves with a pale green color and necrosis on the veins.

Infected fruits are irregular, flattened, pale in color, often have cracks on the fruit suture and lighter spots on the skin, their stones are usually enlarged and rounded. Chlorotic spots are also formed on the fruits of some peach varieties.

On flower petals, some pathogen isolates cause characteristic streaks or long lines of light red color.

Some isolates cause bud and wood necrosis, as well as wood pitting (Fig. 2, 3). Typical during PLMVd infestation is the formation of a typical open crown habit (J.C. Desvignes, 1986; M. Luigi et al., 2010).

As a result of PLMVd contamination, the quantity and quality of peach fruit is reduced (R. Flores et al., 1998; A. Myrta et al., 2003).

It should be considered that on the leaves, fruits and flowers of peach, some other viruses and viroids can also induce similar symptoms, in particular the hop stunt viroid (HSVd), the *Prunus* necrotic ringspot



Рис. 2. Ямчатость древесины (фото авторов) **Fig. 2. Wood pitting (photo by the authors)**

В результате заражения PLMVd снижается количество и качество плодов персика (R. Flores et al., 1998; A. Myrta et al., 2003).

Необходимо учитывать, что на листьях, плодах и цветках персика сходные симптомы могут индуцировать также некоторые другие вирусы и виroidы, в частности виroid карликовости хмеля (HSVd), иларвирус некротической кольцевой пятнистости косточковых (PNRSV), потивирius шарки слив (PPV). В связи с этим вызываемые PLMVd симптомы нельзя признать видоспецифичными.

Для предупреждения заражения растений виroidом необходимо соблюдать следующие требования:

- использовать здоровый сертифицированный посадочный материал;
- дезинфицировать инструмент, используемый при прививке и обрезке растений;
- осуществлять борьбу с тлями-переносчиками;
- выкорчевывать зараженные растения;
- размещать маточно-черенковые сады не менее чем в 2 км от плодоносящих насаждений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сотрудниками научного подразделения ФГБУ «ВНИИКР» в настоящее время проводится работа по разработке специфичных и чувствительных методов выявления и идентификации виroidа латентной мозаики персика. Некоторые результаты исследований будут представлены в следующем номере журнала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Решение Совета ЕЭК от 30 ноября 2016 г. № 157.
2. Ambrós S., Hernández C., Desvignes J.C., Flores R., 1998. Genomic structure of three phenotypically different isolates of Latent mosaic viroid: Implications of the existence of constraints limiting the heterogeneity of viroid quasi species. – *Journal of Virology*, 72: 7397–7406.



Рис. 3. Некроз древесины (фото авторов) **Fig. 3. Wood necrosis (photo by the authors)**

virus (PNRSV), and the plum pox virus (PPV). In this regard, the symptoms caused by PLMVd cannot be considered species-specific.

To prevent viroid infection of plants, the following requirements must be followed:

- use healthy certified planting material;
- disinfect tools used in grafting and pruning plants;
- control aphid vectors;
- uproot infected plants;
- place mother-plantation gardens at least 2 km from fruiting plantations.

CONCLUSION

The specialists of the research department of the FGBU “VNIICR” are currently working on the development of specific and sensitive methods for the detection and identification of the peach latent mosaic viroid. Some research results will be presented in the next issue of the journal.

REFERENCES

1. Decision of the EEC Council dated November 30, 2016 No. 157.
2. Ambrós S., Hernández C., Desvignes J.C., Flores R. Genomic structure of three phenotypically different isolates of Latent mosaic viroid: Implications of the existence of constraints limiting the heterogeneity of viroid quasi species. *Journal of Virology*, 1998; 72: 7397–7406.
3. Barba M., Ragozzino E., Faggioli F. Pollen transmission of Peach latent mosaic viroid. *Journal of Plant Pathology*, 2007; 89 (2): 287–289.
4. Boubourakas I.N., Arambatzis C., Kyriakopoulou P.E., Dovas C. Amelioration of a reverse

3. Barba M., Ragozzino E., Faggioli F., 2007. Pollen transmission of Peach latent mosaic viroid. – *Journal of Plant Pathology*, 89 (2): 287–289.
4. Boubourakas I.N., Arambatzis C., Kyriakopoulou P.E., Dovas C., 2008. Amelioration of a reverse transcription polymerase chain reaction (RT-PCR) for the detection of ASSVd, PBCVd and PLMVd viroids, and their presence in cultivated and wild pome and stone fruits in Greece. – XX Int. Symp. Virus and Virus-like Diseases of Temperate Fruit Crops, № 781: 519–527.
5. Bussiere F., Lehoux J., Thompson D.A., Skrzeczkowski L.J., Perreault J.P., 1999. Subcellular localization and rolling circle replication of Peach latent mosaic viroid: hallmarks of group A viroids. – *Journal of Virology*, 73: 6353–6360.
6. Desvignes J.C., 1980. Different symptoms of the peach latent mosaic. – *Acta Phytopathol. Acad. Sci. Hung*, 183: 183–190.
7. Desvignes J.C., 1986. Peach latent mosaic and its relation to peach mosaic and peach yellow mosaic virus diseases. – *Acta Horticulturae*, 193: 51–57.
8. Desvignes J.C., 1976. The virus diseases detected in greenhouse and in field by the peach seedling GF 305 indicator. – *Acta Horticulturae*, 67: 315–323.
9. Di Serio F., Li S.-F., Pallas V., Owens R.A., Randles J.W., Sano T., Verhoeven J.T.J., Vidalakis G., Flores R., 2017. Viroid Taxonomy. In *Viroids and satellites*. Eds Hadidi A., Flores R., Randles J.W., Palukaitis P. Academic Press. 2017; 135–146.
10. Fekih Hassen I., Kummert J., Marbot S., Fakhfakh H., Marrakchi M., Jijakli M.H., 2004. First report of Pear blister canker viroid, Peach latent mosaic viroid, and Hop stunt viroid infecting fruit trees in Tunisia. – *Plant Disease*, 88: 1164.
11. Flores R., Hernández C., Avinent L., Hermoso A., Llácer G., Juárez J., Arregui J.H., Navarro L., Desvignes J.C., 1992. Studies on the detection, transmission and distribution of Peach latent mosaic viroid in peach trees. – *Acta Horticulturae*, 309: 325–330.
12. Flores R., Hernández C., Llácer G., Desvignes J.C., 1998. Peach latent mosaic viroid – CMI/AAB Descriptions of Plant Viruses, 362.
13. Hadidi A., Giunchedi L., Shamloul A.M., Poggi-Pollini C., Amer A.M., 1997. Occurrence of Peach latent mosaic viroid in stone fruits and its transmission with contaminated blades. – *Plant Disease*, 81: 154–158.
14. Hernández C., Flores R., 1992. Plus and minus RNAs of Peach latent mosaic viroid self-cleave in vitro via hammerhead structures. – *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 89: 3711–3715.
15. Kyriakopoulou P.E., Giunchedi L., Hadidi A., 2001. Peach latent mosaic and pome fruit viroids in naturally infected cultivated pear *Pyrus communis* and wild pear *P. amygdaliformis*: implications on possible origin of these viroids in the Mediterranean region. – *Journal of Plant Pathology*, 83: 51–62.
16. Luigi M., Faggioli F., Barba M., Giunchedi L., 2010. Identification and characterization of Peach latent mosaic viroid and Hop stunt viroid in different peach cultivars showing dapple fruit, fruit yellow mosaic and cracked suture symptoms: 21st Int. Conf. Virus and other Graft Transmissible Diseases of Fruit Crops. Julius-Kuhn-Archiv., 427: 373–374.
17. Malfitano M., Di Serio F., Covelli L., Ragozzino A., Hernández C., Flores R., 2003. Peach latent mosaic viroid variants inducing peach calico contain transcription polymerase chain reaction (RT-PCR) for the detection of ASSVd, PBCVd and PLMVd viroids, and their presence in cultivated and wild pome and stone fruits in Greece. XX Int. Symp. Virus and Virus-like Diseases of Temperate Fruit Crops, 2008; № 781: 519–527.
5. Bussiere F., Lehoux J., Thompson D.A., Skrzeczkowski L.J., Perreault J.P. Subcellular localization and rolling circle replication of Peach latent mosaic viroid: hallmarks of group A viroids. *Journal of Virology*, 1999; 73: 6353–6360.
6. Desvignes J.C. Different symptoms of the peach latent mosaic. *Acta Phytopathol. Acad. Sci. Hung*, 1980; 183: 183–190.
7. Desvignes J.C. Peach latent mosaic and its relation to peach mosaic and peach yellow mosaic virus diseases. *Acta Horticulturae*, 1986; 193: 51–57.
8. Desvignes J.C. The virus diseases detected in greenhouse and in field by the peach seedling GF 305 indicator. *Acta Horticulturae*, 1976; 67: 315–323.
9. Di Serio F., Li S.-F., Pallas V., Owens R.A., Randles J.W., Sano T., Verhoeven J.T.J., Vidalakis G., Flores R. Viroid Taxonomy. In *Viroids and satellites*. Eds Hadidi A., Flores R., Randles J.W., Palukaitis P. Academic Press. 2017; 135–146.
10. Fekih Hassen I., Kummert J., Marbot S., Fakhfakh H., Marrakchi M., Jijakli M.H. First report of Pear blister canker viroid, Peach latent mosaic viroid, and Hop stunt viroid infecting fruit trees in Tunisia. *Plant Disease*, 2004; 88: 1164.
11. Flores R., Hernández C., Avinent L., Hermoso A., Llácer G., Juárez J., Arregui J.H., Navarro L., Desvignes J.C. Studies on the detection, transmission and distribution of Peach latent mosaic viroid in peach trees. *Acta Horticulturae*, 1992; 309: 325–330.
12. Flores R., Hernández C., Llácer G., Desvignes J.C. Peach latent mosaic viroid – CMI/AAB Descriptions of Plant Viruses. 1998; 362.
13. Hadidi A., Giunchedi L., Shamloul A.M., Poggi-Pollini C., Amer A.M. Occurrence of Peach latent mosaic viroid in stone fruits and its transmission with contaminated blades. *Plant Disease*, 1997; 81: 154–158.
14. Hernández C., Flores R. Plus and minus RNAs of Peach latent mosaic viroid self-cleave in vitro via hammerhead structures. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1992; 89: 3711–3715.
15. Kyriakopoulou P.E., Giunchedi L., Hadidi A. Peach latent mosaic and pome fruit viroids in naturally infected cultivated pear *Pyrus communis* and wild pear *P. amygdaliformis*: implications on possible origin of these viroids in the Mediterranean region. *Journal of Plant Pathology*, 2001; 83: 51–62.
16. Luigi M., Faggioli F., Barba M., Giunchedi L. Identification and characterization of Peach latent mosaic viroid and Hop stunt viroid in different peach cultivars showing dapple fruit, fruit yellow mosaic and cracked suture symptoms: 21st Int. Conf. Virus and other Graft Transmissible Diseases of Fruit Crops. Julius-Kuhn-Archiv., 2010; 427: 373–374.
17. Malfitano M., Di Serio F., Covelli L., Ragozzino A., Hernández C., Flores R. Peach latent mosaic viroid variants inducing peach calico contain

a characteristic insertion that is responsible for this symptomatology. – *Virology*, 313: 492–501.

18. Myrta A., Di Terlizzi B., Savino V., 2003. Virus and virus-like diseases of stone fruits, with particular reference to the Mediterranean region. – *Options Méditerranéennes*, Serie B, № 45: 129–133.

19. Osaki H., Yamaguchi Y., Sato Y., Tomita Y., Kawai Y., Miyamoto Y., Ohtsu Y., 1999. Peach latent mosaic viroid isolated from stone fruits in Japan. – *Ann. Phytopathol. Society Japan*, 65: 3–8.

20. Serra P., Bertolini E., Martinez M.C., Cambra M., Flores R., 2017. Interference between variants of Peach latent mosaic viroid reveals novel features of its fitness landscape: implications for detection. – *Scientific Reports*, 7: 42825. DOI: 10.1038/step42825.

21. Shamloul A.M., Minafra A., Hadidi A., Giunchedi L., Waterworth H.E., Allam E.K., 1995. Peach latent mosaic viroid: nucleotide sequencing of an Italian isolate, sensitive detection using RT-PCR and geographic distribution. – *Acta Horti*, 386: 522–530.

22. EPPO, 2021. EPPO Global Database. URL: <https://gd.eppo.int> (дата обращения: 10.03.2021).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Приходько Юрий Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник научно-методического отдела вирусологии и бактериологии ФГБУ «ВНИИКР», р. п. Быково, г. Раменское, Московская обл., Россия; *e-mail: prihodko_yuri59@mail.ru*.

Живаева Татьяна Степановна, научный сотрудник научно-методического отдела вирусологии и бактериологии ФГБУ «ВНИИКР», р. п. Быково, г. Раменское, Московская обл., Россия; *e-mail: zhivaeva.vniikr@mail.ru*.

Лозовая Евгения Николаевна, научный сотрудник отдела аспирантуры ФГБУ «ВНИИКР», р. п. Быково, г. Раменское, Московская обл., Россия; *e-mail: evgeniyaf@mail.ru*.

Шнейдер Юрий Андреевич, кандидат биологических наук, и. о. заместителя директора, начальник научно-методического и экспериментального центра, старший научный сотрудник ФГБУ «ВНИИКР», р. п. Быково, г. Раменское, Московская обл., Россия; *ORCID 0000-0002-7565-1241, e-mail: yury.shneyder@mail.ru*.

Каримова Елена Владимировна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник научно-методического отдела вирусологии и бактериологии ФГБУ «ВНИИКР», р. п. Быково, г. Раменское, Московская обл., Россия; *ORCID 0000-0001-6474-8913, e-mail: elenavkar@mail.ru*.

a characteristic insertion that is responsible for this symptomatology. *Virology*, 2003; 313: 492–501.

18. Myrta A., Di Terlizzi B., Savino V. Virus and virus-like diseases of stone fruits, with particular reference to the Mediterranean region. *Options Méditerranéennes*, Serie B. 2003; № 45: 129–133.

19. Osaki H., Yamaguchi Y., Sato Y., Tomita Y., Kawai Y., Miyamoto Y., Ohtsu Y. Peach latent mosaic viroid isolated from stone fruits in Japan. *Ann. Phytopathol. Society Japan*, 1999; 65: 3–8.

20. Serra P., Bertolini E., Martinez M.C., Cambra M., Flores R. Interference between variants of Peach latent mosaic viroid reveals novel features of its fitness landscape: implications for detection. *Scientific Reports*, 2017; 7: 42825. DOI: 10.1038/step42825.

21. Shamloul A.M., Minafra A., Hadidi A., Giunchedi L., Waterworth H.E., Allam E.K. Peach latent mosaic viroid: nucleotide sequencing of an Italian isolate, sensitive detection using RT-PCR and geographic distribution. *Acta Horti*, 1995; 386: 522–530.

22. EPPO, 2021. EPPO Global Database. URL: <https://gd.eppo.int> (last accessed: 10.03.2021).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yuri Prikhodko, PhD in Agriculture, Leading Researcher, Research and Methodology Department of Virology and Bacteriology, FGBU “VNIKR”, Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia; *e-mail: prihodko_yuri59@mail.ru*.

Tatyana Zhivaeva, Researcher, Research and Methodology Department of Virology and Bacteriology, FGBU “VNIKR”, Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia; *e-mail: zhivaeva.vniikr@mail.ru*.

Evgenya Lozovaya, Researcher, Postgraduate Study Department, FGBU “VNIKR”, Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia; *e-mail: evgeniyaf@mail.ru*.

Yuri Shneyder, PhD in Biology, Acting Deputy Director, Head of Research and Methodology and Experimental Center, Leading Researcher, FGBU “VNIKR”, Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia; *ORCID 0000-0002-7565-1241, e-mail: yury.shneyder@mail.ru*.

Elena Karimova, PhD in Biology, Leading Researcher, Research and Methodology Department of Virology and Bacteriology, FGBU “VNIKR”, Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia; *ORCID 0000-0001-6474-8913, e-mail: elenavkar@mail.ru*.