

## ЛИТЕРАТУРА

1. PanEuropean Common Bird Monitoring Scheme [Electronic resource]: Species trends. – Mode of access: <https://pecbms.info/trends-and-indicators/species-trends>. – Date of access: 27.02.2022.
2. Коузов, С. А. Случай размножения перепела *Coturnix coturnix* на острове Ремисаар (Кургальский риф) в восточной части Финского залива / С. А. Коузов // Русский орнитологический журнал. – 2008. – Т. 17, № 412. – С. 577–578.
3. Шнитников, В. Н. Птицы Минской губернии / В. Н. Шнитников. – Москва : Типолитография Т-ва И. Н. Кушнерев и К°, 1913. – 475 с.
4. Федюшин, А. В. Птицы Белоруссии / А. В. Федюшин, М. С. Долбик. – Минск : Наука и техника, 1967. – 519 с.
5. Птицы Беларуси на рубеже XXI века: статус, численность, распространение / М. Е. Никифоров [и др.]. – Мн. : Издатель Н. А. Королев, 1997. – 188 с.
6. Гайдук, В. Е. Экология птиц юго-запада Беларуси. Неворобьинообразные / В. Е. Гайдук, И. В. Абрамова. – Брест : Изд-во БрГУ, 2009. – 300 с.
7. Сербун, А. А. Учеты птиц в агрооодьях юго-запада Беларуси в 2008 году // Биомониторинг природных и трансформированных экосистем: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 15–16 окт. 2008 г. / Брестский гос. ун-т им. А.С. Пушкина. – Брест: Изд-во БрГУ, 2008. – С. 138–141.
8. Кузьменко, В. Я. Фауна и население птиц сельскохозяйственных ландшафтов Белорусского Поозерья / В. Я. Кузьменко, В. В. Кузьменко // Веснік ВДУ. – 2012. – № 6. – С. 38–50.
9. Гудина, А. Н. Методы учёта гнездящихся птиц: Картирование территорий / А. Н. Гудина. – Запорожье: Дикое Поле, 1999. – 241 с.
10. Воронин, Ф. Н. Фауна Белоруссии и охрана природы (позвоночные) : монография / Ф.Н. Воронин. – Минск : Вышэйшая школа, 1967. – 424 с.

## МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИРУСА МОЗАИКИ ЯБЛОНИ И ВЛИЯНИЕ НА РАСТЕНИЯ РОДА *CORYLUS* L. MORPHOFUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF THE APPLE MOSAIC VIRUS AND THE EFFECT ON PLANTS OF THE GENUS *CORYLUS* L.

**В. Д. Стешин<sup>1,2</sup>, Т. А. Красинская<sup>1,2,3</sup>**  
**V. D. Steshin<sup>1,2</sup>, T. A. Krasinskaya<sup>1,2,3</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, БГУ

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт  
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь

[gebeg@iseu.by](mailto:gebeg@iseu.by), [propera.pedem@yandex.ru](mailto:propera.pedem@yandex.ru)

<sup>3</sup>РУП «Институт плодоводства»

аг. Самохваловичи, Республика Беларусь  
[krasinskaya@tut.by](mailto:krasinskaya@tut.by)

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,  
Minsk, Republic of Belarus

<sup>3</sup>RUE «Institute for Fruit Growing»  
Samokhvalovich, Republic of Belarus

Вирс мозаики яблони (ApMV) является представителем семейства Bromoviridae и относится к роду Иларвирусов (лат. Ilarvirus). Данный вирс встречается повсеместно, поражая десятки видов древесных растений, в том числе и рода Лещина (лат. *Corylus*). Инфицирование приводит к значительному снижению урожайности фундука по всему миру. Единственным эффективным способом предотвращения распространения вируса в культуре растений рода *Corylus* – использование сертифицированного посадочного материала (оздоровленного от сокопереносимых вирусов) для промышленных насаждений.

The apple mosaic virus (ApMV) is a representative of the Bromoviridae family and belongs to the Ilarvirus genus (Ilarvirus). This virus is found everywhere, affecting dozens of species of woody plants, including the genus Hazel (*Corylus*). Infection leads to a significant decrease in hazelnut yields worldwide. The only effective way to prevent the spread of the virus in the culture of plants of the genus *Corylus* is the use of certified planting material (recovered from sap-borne viruses) for industrial plantings.

*Ключевые слова:* вирус мозаики яблони, лещина, изолят вируса, ELISA, травянистые растения-индикаторы, ОТ-ПЦР.

*Keywords:* apple mosaic virus, hazelnut, virus isolate, ELISA, herbaceous plant indicators, RT-PCR.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-1-243-246>

Вирус мозаики яблони (ApMV) получил своё название благодаря окраске поражённых растительных органов, таких как листья, стебли и плоды, в виде мозаично расположенных пятен и штрихов различной формы и размеров. Впервые симптомы вирусного поражения были описаны на яблоне независимо друг от друга несколькими учёными-биологами: Р. Уайтом в 1928 году, Ф. Бредфордом и Л. Джоли в 1933 году, а также А. Кристоффом в 1934 году. Название вируса имеет множество синонимов, таких как вирус инфекционной пестроты яблони, вирус инфекционного хлороза розоцветов, вирус мозаики розоцветов, вирус линейного узора сливы, вирус линейного узора сливы европейской, вирус пестроты рябины, вирус линейного узора берёзы, вирус кольцевой пятнистости березы, вирус линейного рисунка голландской сливы, вирус хмеля А, вирус жёлтой мозаики конского каштана, вирус хмеля А, вирус хмеля С, вирус лёгкой мозаики яблони и вирус тяжёлой мозаики яблони) [1].

В ранних исследованиях, в связи с серологическим сходством с другим вирусом – некротической кольцевой пятнистости косточковых (PNRSV), ApMV ошибочно относили к одному из его штаммов, пока в 1992 году Дж. Кросслином и Г. Минком не были выявлены серологические и биофизические сходства и различия между PNRSV и другими вирусами, в частности, вирусом мозаики яблони. Было обнаружено, что профили седimentации (осаждения частиц) изолятов (изолированных от конкретного источника культур), выделенного из хмеля PNRSV, были аналогичны профилям ApMV из хмеля. Нуклеопротеиновый анализ данного вируса позволил идентифицировать полосы, которые мигрировали медленнее, чем полосы выделенного из других растений PNRSV. Когда изоляты были разделены на электрофоротипы, выделенный из хмеля PNRSV был включён в группу самостоятельно, а антисыворотки (сыворотки, содержащие моноклональные или поликлональные антитела), полученные против выделенного из хмеля ApMV, сильно реагировали только с изолятами из хмеля, что указывает на его серологическое отличие от PNRSV из других источников.

Вирус мозаики яблони относится к роду Иларвирусов, вместе с родами Alfamovirus, Anulavirus, Bromovirus, Cucumovirus и Oleavirus образуют семейство Bromoviridae. ApMV, согласно принятой классификации, относится к подгруппе III, вместе с PNRSV, вирусом шока черники BISHV и латентным вирусом хмеля японского (HJLV). ApMV представляет собой РНК-содержащий вирус с положительной цепью – имеет генетический материал, который может функционировать как в качестве генома, так и в качестве РНК-мессенджера, с непосредственным переводом в белок в клетке-хозяине, задействовав его рибосомы. Внутри ApMV было обнаружено, что два серотипа (обладателя общей антигенной структуры) обычно инфицируют хмель: серотип ApMV-хмеля (ApMV-H) и промежуточный серотип ApMV (ApMV-I), что подтверждает наличие отдалённого родства с PNRSV [2].

Каждый вирион ApMV состоит из трёх квазисферических или плеоморфных частиц (имеющих более чем одну форму в своём цикле) диаметром от 25 до 29 нм. Каждая частица содержит один компонент трёхсоставного генома РНК. Все геномные компоненты должны присутствовать в растении-хозяине для инициации инфекционного процесса. Геном ApMV состоит из РНК-1, РНК-2, РНК-3 и субгеномной РНК-4. Самая большая РНК (РНК-1) представлена 3476 нуклеотидами и кодирует один большой полипептид. Нуклеотидная последовательность РНК-2 имеет длину 2979 нуклеотидов и содержит одну большую открытую рамку считывания – последовательность нуклеотидов в составе РНК, потенциально способную кодировать белок. РНК-3 насчитывает 2056 нуклеотидов и содержит две открытые рамки считывания. Первая из них кодирует пептид, представляющий собой транспортный белок, который играет роль в межклеточном движении и напрямую транслируется с РНК-3. Вторая открытая рамка считывания имеет длину от 654 до 669 нуклеотидов и кодирует пептид, составляющий белок оболочки, который транслируется с субгеномной мРНК (РНК-4), происходящей от РНК-3. Белок оболочки участвует в формировании оболочки для трёх компонентов генома, играя важную роль во многих этапах репликации, инициации и в распространении вирусной инфекции.

Аминокислотные последовательности, которые кодируются РНК-1 и РНК-2, проявляют сходство с другими иларвирусами и наиболее тесно связаны с вирусом мозаики люцерны (AMV). Точки сходства включают отсутствие открытой рамки считывания 2b, которая присутствует на РНК-2 иных описанных иларвирусов. Тесное родство с AMV также наблюдается в сходстве транспортного белка, однако белок оболочки у этих вирусов разный. Также отмечена значительная вариабельность последовательности белка оболочки среди различных изолятов ApMV. Консенсусная последовательность была установлена как имеющая 654 нуклеотида, но имеются описания изолятов, содержащих вставки от 6 до 15 нуклеотидов после 141 положения нуклеотида. РНК вокруг точки встраивания потенциально может образовывать стабильную вторичную структуру с тремя шпильками. Вставки могут стабилизировать эту структуру или быть нейтральными, причём на фолдинг (спонтанное сворачивание из первичной в третичную структуру) транслируемого белка не влияют вставки или сдвиг рамки считывания.

Филогенетический анализ полного гена белка оболочки наибольшего набора изолятов ApMV дал возможность выделить два основных кластера изолятов: один кластер включает вирусы, поражающие растения рода *Malus* и одноклеточные зелёные водоросли рода *Trebouxia*, второй кластер – инфицирующие растения родов *Humulus*, *Prunus* и другие древесные растения-хозяева, в том числе и рода *Corylus* L. Корреляция между

кластерами и географическим происхождением изолятов вируса не была установлена, таким образом, было показано, что отбор происходит во всех популяциях вируса. Было обнаружено, что замена последовательности GGT (гуанин-гуанин-тимин) на AAT (аденин-аденин-тимин), которая приводит к изменению глицина (Gly) на аспарагин (Asn) в капсидном белке, специфична для кластеров и может влиять на предпочтительный выбор хозяина [3].

Вирус мозаики яблони имеет широкий круг хозяев из древесных и травянистых растений. АрMV способен заражать более 65 видов в 19 семействах, что наблюдалось либо в естественных условиях, либо было доказано экспериментальным путём лабораторных экспериментов. Распространение вируса мозаики яблони приурочено к местам обитания его растений-хозяев. Исследования насаждений лещины в разных странах мира показали разные доли растений, инфицированных данным вирусом. При анализе 320 образцов на промышленных плантациях фундука в Испании, где выращивался сорт Negret, было выявлено, что 97% проб были инфицированы вирусом мозаики яблони. В Турции исследования показали, что 73% из 150 протестированных с помощью иммуноферментного анализа (ИФА) растений рода *Corylus L.*, произрастающих в 80 садах в провинциях Бартин, Дюздже и Зонгулдак, оказались инфицированы АрMV. Дальнейшее изучение зараженности фундука вирусом мозаики яблони на западном побережье Чёрного моря в Турции позволило сделать выводы о среднем уровне инфицированности в 4% протестированных 1465 образцах. Исследования, проведённые в Польше, показали, что у 2 сортов (Negret и клон 104 E) из 27 культивируемых, имеются признаки вирусного поражения АрMV. Проведённый университетом штата Орегон анализ хранящихся в Национальном репозитории клональной зародышевой плазмы Министерства сельского хозяйства США, позволил утверждать об 44% инфицированности импортированных из Испании клонов, 15% инфицированности клонов, привезённых из Турции, 8% инфицированных клонов из Италии. Импортированные из Грузии и Германии образцы один и три сорта соответственно имели симптомы поражения вирусом мозаики яблони [4].

Симптоматика, вызванная АрMV, может отличаться на разных хозяевах и варьирует по степени выраженности у растений, поражённых разными штаммами вируса. Чаще всего на культурах отмечаются следующие симптомы вируса: хлоротические кольцевые пятна и линейные узоры на старых листьях. Причём были выделены листовые пластинки, которые не несли признаков поражения при наличии вируса мозаики яблони (бессимптомное течение). При фитомониторинге были отмечены и случаи проявления симптомов только на определённых ветвях дерева или только на одной его стороне, в то время как ИФА давал результаты об инфицировании всего дерева. Дальнейшее изучение насаждений растений рода *Corylus L.* показал, что при инфицировании АрMV могут проявляться и другие симптомы, такие как наличие жёлтых пятен и широкая полосатость жилок. Имеются данные об установлении связи между наличием симптомов и средними температурами второй половины весны. Вирус мозаики яблони, являясь лабильным вирусом, плохо переносящим высокие температуры, что вызывает либо маскировку симптомов, либо снижение вирусной нагрузки. Однако причин появления таких расхождений в титрах определить еще не удалось [4-5].

Мониторинг посадок фундука, инфицированных АрMV, во Франции показал снижение урожайности, выражаемое в виде уменьшения количества плодов на четверть. Дальнейшие исследования, проведённые в Польше, подтвердили, что имеются значимые различия в урожайности между здоровыми и инфицированными растениями: здоровые растения на 77% урожайнее, но качество плодов достоверно не отличалось. Кроме того, АрMV вызывает снижение массы ореховой грозди, уменьшение размера орехов, наличие пустых орехов, а также замедление роста кустарников, особенно у тех, чей возраст превысил шесть лет [5].

Единственным эффективным способом предотвращения распространения вируса в культуре растений рода *Corylus L.* – использование сертифицированного посадочного материала, свободного от сокопереносимых вирусов. Быстрые и чувствительные методы мониторинга необходимо использовать для обнаружения вирусов в питомниках. Выявление растений, поражённых АрMV, производится, в первую очередь, с помощью мониторинга визуальных симптомов, вызываемых вирусом. Однако данный способ позволяет идентифицировать вирусное поражение только при наличии специфических симптомов, проявлению которых часто препятствуют климатические условия. Также следует учитывать и такое обстоятельство, что симптоматика вирусного заболевания может быть схожа с признаками другого широко распространённого на растениях фундука вируса – PNRSV, схожа с некоторыми симптомами дефицита питательных веществ или поражения вредителями. Таким образом, для точного установления наличия вируса необходим комплексный подход: визуальный мониторинг растений, биологический метод – тестирование с помощью индикаторных растений, иммуноферментный или/и молекулярный анализ.

Травянистыми растениями-индикаторами, используемые для биологической индексации после механической инокуляции (введения инфицированного материала в растительные ткани), являются огурец обыкновенный (*Cucumis sativus*), фасоль обыкновенная (*Phaseolus vulgaris*), торения Фурнье (*Torenia Fournieri*), коровий горох (*Vigna sinensis*). Однако данный метод обладает невысокой чувствительностью и не может использоваться в качестве единственного в диагностике АрMV. Во время применения растений-индикаторов было отмечено возникновение вариации в реакции данных растений на различные изоляты вируса. Индикация также требует времени, занимая от нескольких недель до нескольких месяцев. Метод также не обладает специфичностью, что может привести к трудностям идентификации. Кроме того, отсутствуют внутренние средства контроля, которые могли бы предотвратить получение ложных или отрицательных результатов.

Для диагностики АрMV доступно использование специфических моноклональных и поликлональных антител. На ранних этапах исследований серологическое обнаружение вируса проводилось с помощью геледиффузионного анализа, но в настоящее время оптимальным методом обнаружения является ELISA. Данные тесты обладают высокой надёжностью в первой половине весны, которая не характеризуется наличием высоких

температур воздуха. Однако этих методов может быть недостаточно, особенно в ситуации, когда концентрация вируса в тканях растений низкая. ELISA может оказаться малоинформативным и в связи с ингибирующим действием полисахаридов или фенолов, которые содержатся в экстрактах тканей растений.

Ещё одной возможностью обнаружения ArMV является использование более чувствительных молекулярных методов, таких как полимеразная цепная реакция с обратной транскрипцией (ОТ-ПЦР), для амплификации участков вирусного генома. Для этого используются стандартная двухэтапная ОТ-ПЦР мультиплексная ОТ-ПЦР и одноэтапная ОТ-ПЦР, а также в сочетании с серологическим определением амплифицированных продуктов (RT-PCR-ELISA). Молекулярное обнаружение можно оптимизировать за счет автоматической очистки нуклеиновых кислот от патогенов с помощью колонок. Важным шагом при рутинном использовании ПЦР-диагностики является изоляция матрицы. Стандартная процедура диагностики образцов для выявления ArMV с помощью ОТ-ПЦР основана на выделении нуклеиновых кислот из другого растения-хозяина (положительный контроль), но не из фундука. Имеются также данные о потенциально улучшенных процедурах обработки образцов для обнаружения вирусов растений с помощью ПЦР. Имеется возможность использовать различные методы выделения РНК и различные части растительных тканей, а способность ОТ-ПЦР выявлять вирус позволяет осветлить неочищенные экстракты, приготовленные из тканей фундука. Используя ткани цветов, оболочки и листьев, имеется возможность проведения мероприятий по мониторингу вирусного поражения в течение полугода [4].

Осенью 2021 года был проведен мониторинг промышленных насаждений фундука «Вязовецкий сад» (Молодеченский район) на наличие визуальных симптомов комплекса вирусов ArMV и PNRSV. На листовых пластинках растений, составляющих насаждения (сорта Барселонский, Каталонский и Косфорд), визуальных симптомов отмечено не было.

Таким образом, для получения растений рода *Corylus*, свободных от основного патогена – вируса мозаики яблони, необходимо основательное изучение как основных морфофункциональных особенностей данного вируса и отличительных особенностей поражения им растений рода *Corylus* L., так и внедрение достоверных методик идентификации вирусного патогена, в связи с тем, что лишь комплексный фитосанитарный мониторинг насаждений является эффективным способом борьбы с ArMV.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Petrzik K.* Apple mosaic virus in pome fruits / Petrzik K., Lenz O. // American Phytopathological Society Press. – 2011. – P. 25–28.
2. *Crowle D.R.* Diversity of the coat protein-coding region among Ilarvirus isolates infecting hop in Australia / D.R. Crowle, S.J. Pethybridge, G.W. Leggett, L.J. Sherriff, C.R. Wilson // Plant Pathology. – 2003. – N. 52. – P. 655–662.
3. *Grimová L.* Reflects the coat protein variability of Apple mosaic virus host preference? / L. Grimová, L. Winkowska, P. Ryšánek, P. Svoboda, K. Petrzik // Virus Genes. – 2013. – N. 47. – P. 119–125.
4. *Aramburu J.* Incidence and natural spread of Apple mosaic Ilarvirus in hazel in north-east Spain / J. Aramburu, M. Rovira // Plant Pathol. – 2000. – N. 49. – P. 423–427.
5. *Akbas B.* Incidence and natural spread of Apple mosaic virus on hazelnut in the west black sea coast of Turkey and its effect on yield / B. Akbas, K. Degirmenci // Journal of Plant Pathology. – 2009. – N. 91. – P. 767–771.

### ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ТЕТРАПИРОЛЬНЫХ ПИГМЕНТОВ НА ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНУЮ АДСОРБЦИЮ В СОПОЛИМЕРАХ НА ОСНОВЕ ДЕКСТРАН-ПОЛИ(Н-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА)

#### PECULIARITIES OF THE INFLUENCE OF THE CHEMICAL STRUCTURE OF TETRAPYRROLE PIGMENTS ON THERMOSENSITIVE ADSORPTION IN COPOLYMERS BASED ON DEXTRAN-POLY(N-ISOPROPYLACRYLAMIDE)

**И. В. Коблов<sup>1,2</sup>, И. Е. Кравченко<sup>1</sup>, Т. Е. Зорина<sup>1,2</sup>, Н. В. Куцевол<sup>3</sup>, В. П. Зорин<sup>1,2</sup>**  
**I. V. Kablov<sup>1,2</sup>, I. E. Kravchenko<sup>1</sup>, T. E. Zorina<sup>1,2</sup>, N. V. Kutsevol<sup>3</sup>, V. P. Zorin<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь  
vpzorin@mail.ru

<sup>3</sup>Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, г. Киев, Украина

<sup>1</sup>Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

<sup>3</sup>Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine