УДК 632.38:635.64:578.821(574) **Исследовательская статья**

Диагностика вируса мозаики пепино (*PepMV*) и вируса коричневой морщинистости плодов томата (*ToBRFV*) в образцах томата и перца из отдельных регионов Республики Казахстан

Сүлейман М.А.., Әжімахан М.Ә., Хасанов В.Т.

НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина», Астана, Казахстан

Автор-корреспондент: Әжімахан М.Ә.: moldir_kazatu@mail.ru
Соавторы: (1: МС) suleiman_madina@mail.ru; (2: ВХ) vadim_kazgatu@mail.ru

Получено: 27.07.2026 **Принято:** 28.09.2026 **Опубликовано:** 30.09.2026

Авторские права: Сүлейман М.А. и др. Данная статья размещена в открытом доступе и распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Аннотация

Предпосылка и цель. Статья посвящена диагностике *Pepino mosaic virus* (*PepMV*) и *Tomato brown rugose fruit virus* (*ToBRFV*) – опасных карантинных патогенов, являющихся сравнительно новыми объектами фитосанитарного мониторинга в Республике Казахстан и представляющих серьёзную угрозу для выращивания томатов в теплицах и открытом грунте.

Материалы и методы. Методом ОТ-ПЦР было исследовано 122 образца растений из различных регионов Казахстана (Туркестанская, Алматинская и Акмолинская области). Наличие вируса *ToBRFV* было выявлено в 14% образцов, вируса *PepMV* – в 7%. При сопоставлении результатов ОТ-ПЦР и ИХА для *ToBRFV* получено совпадение положительных результатов во всех 11 исследованных образцах, тогда как для *PepMV* методом ИХА подтверждён один из трёх ОТ-ПЦР-положительных образцов.

Результаты. Установлено совпадение симптомов с молекулярными данными, продемонстрирована высокая эффективность комбинированного использования молекулярных и экспресс-иммунологических методов диагностики.

Заключение. Полученные данные подтверждают выявление *PepMV* и *ToBRFV* в исследованных образцах растений из обследованных регионов Республики Казахстан и указывают на необходимость усиления фитосанитарного контроля, регулярного мониторинга посадок томата и перца в теплицах и открытом грунте и применения современных методов лабораторной диагностики.

Ключевые слова: томат; карантинные объекты; *Pepino mosaic virus*; *Tomato brown rugose fruit virus*; ОТ-ПЦР; ИХА.

Введение

Томат является сравнительно неприхотливой сельскохозяйственной культурой. Однако, потери урожая, обусловленные болезнями, значительно превышают ущерб, наносимый вредителями. Степень развития заболеваний зависит от комплекса факторов, включая погодные условия, уровень агротехники и видовой состав патогенов, поражающих растения томата. Особую опасность представляют вирусные инфекции, которые, являясь высокоспециализированными патогенами, существенно снижают урожайность и ухудшают качество получаемой продукции [1].

Pepino mosaic virus (*PepMV*) и *Tomato brown rugose fruit virus* (*ToBRFV*) – карантинные патогены, включенные в Единый перечень карантинных организмов Евразийского экономического союза, утвержденный Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 30.11.2016 г. № 158 «Об утверждении единого перечня карантинных объектов Евразийского экономического союза» [2].

В Республике Казахстан оба вируса включены в Перечень карантинных объектов и чужеродных видов, по отношению к которым устанавливаются и осуществляются мероприятия по карантину растений [3].

PepMV – инвазивный вирус, первоначально выявленный у перуанского пепино (*Solanum muricatum*), впоследствии распространившийся на томаты в теплицах Европы, Америки, Азии и

Океании [4]. *ToBRFV* – инвазивный вирус, впервые описанный в 2015 году в Израиле и Иордании как новый тобамовирус. *ToBRFV* быстро распространился в странах Ближнего Востока, Европы, Америки и Азии [5].

Вирионы *PepMV* нитевидные (длина ≈ 508 нм), геном представлен одноцепочечной РНК с пятью открытыми рамками считывания. Вирионы вируса *ToBRFV* имеют форму палочки (длина ≈ 300 нм), геном – РНК с четырьмя открытыми рамками считывания [5]. Симптомы появляются через 2-3 недели после заражения. Вирус *PepMV* характеризуется деформацией листьев, мраморностью плодов и возможной скрытой инфекцией. Вирус *ToBRFV* вызывает хлороз, мозаику, некроз, коричневые пятна на незрелых плодах и неравномерное созревание [6].

Оба вируса передаются механически (через загрязненные инструменты, руки, одежду, контакт с растениями), через семена, а также опылителями и белокрылками [6, 7]. Вирус *ToBRFV* очень заразен и долго сохраняется в окружающей среде, он также содержится в семенах томатов и перца [7, 8].

Экономический ущерб, наносимый *PepMV*, обусловлен снижением качества плодов и листьев, а *ToBRFV* – деформацией плодов, снижением урожайности и товарности продукции. При смешанных инфекциях вирус *ToBRFV* значительно повышает титры вируса *PepMV*, что приводит к тяжелым симптомам (сморщивание плодов, желтая пятнистость, выраженная деформация) даже при заражении слабыми изолятами вируса *PepMV* [5].

Согласно статистическому анализу импортной продукции Республики Казахстан за 2024-2025 годы, в январе-декабре 2024 года общий объем импорта составил 1 607 036,5 тыс. долларов США (3 925 444,9 т). На продукты, подверженные вирусной инфекции, пришлось: томаты – 57 209,1 тыс. долларов США (61 025,3 т, 3,55% от общего объема); перец (*Capsicum*/*Pimenta*) – 12 068,3 тыс. долларов США (12 955,1 т, 0,75%).

В 2025 году общий объем импорта сократился до 1 494 237,4 тыс. долларов США (2 862 468,1 т). В то же время импорт томатов составил 56 929,0 тыс. долларов США (66 750,3 т, 3,8%), перца – 13 441,4 тыс. долларов США (17 642,0 т, 0,9%). Таким образом, несмотря на общее снижение импорта, импорт томатов и перца в натуральном выражении увеличился на 5 725,0 и 4 686,9 т соответственно [9].

При этом, анализ посевных площадей основных пасленовых культур показал, что наибольшие площади занимают томаты – 23 098,9 га в 2025 году, перец – 8 461,5 га, почти в три раза меньше. Основные площади сосредоточены в южных регионах, в первую очередь в Туркестанской области (9 205,3 га под помидоры и 4 192,3 га под перец), а также в Алматинской области. Такая географическая концентрация создает зоны повышенного фитосанитарного риска в случае заноса *PepMV* и *ToBRFV* [10].

Средняя урожайность томатов по республике составила 279,0 ц/га, перца – 263,2 ц/га. Высокая интенсивность производства требует поддержания стабильного фитосанитарного состояния, поскольку распространение вирусов может привести к значительным потерям урожая и ухудшению качества продукции [11].

Более 98% площадей под томатами и около 97% площадей под перцем сосредоточено в крестьянских (фермерских) хозяйствах и домашних хозяйствах населения. Это требует организации систематического фитосанитарного контроля не только на крупных предприятиях, но и среди мелких производителей, где риск позднего выявления инфекций особенно высок.

Выявление вируса *ToBRFV* в тепличном комплексе ТОО «Теплица-Казтомат» в Экибастузе в 2024 году с установлением карантинной зоны [12], а также неоднократные случаи обнаружения вируса PepMV в казахстанских помидорах, экспортируемых в Россию [13–16], подчеркивают необходимость усиления фитосанитарного контроля.

Несмотря на отдельные случаи выявления *PepMV* и *ToBRFV* на территории Республики Казахстан, данные патогены остаются сравнительно новыми объектами фитосанитарного мониторинга и научных исследований. В перечень карантинных объектов Республики Казахстан *PepMV* и *ToBRFV* были включены приказом Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 30 апреля 2021 года № 147 «О внесении дополнений в приказ Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 30 марта 2015 года №4-4/282» в перечень карантинных вредных организмов, отсутствующих на территории Республики Казахстан, имеющих карантинное значение. Согласно приказу Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 26 января

2026 года №32, данные вирусы были перенесены в перечень чужеродных видов, отсутствующих на территории Республики Казахстан.

Первые сообщения об обнаружении *ToBRFV* в Казахстане появились лишь в последние годы, что свидетельствует о недостаточной изученности распространения, биологических особенностей и фитосанитарного значения данных вирусов в условиях республики. В связи с этим проведение мониторинга и изучение распространения *PepMV* и *ToBRFV* в различных регионах Казахстана представляет актуальную научную и практическую задачу.

Совершенствование методов диагностики позволит более эффективно сдерживать распространение патогенных микроорганизмов и минимизировать экономические потери, так как вирусы могут находиться в латентной форме и выраженность их симптомов может протекать скрытно.

Выраженность симптомов *PepMV* зависит от штамма вируса, сорта растения, возраста и условий выращивания. Вирус вызывает системный некроз на перце и латентную инфекцию многих сорняков. *ToBRFV* поражает томаты и перец. На томатах это проявляется хлорозом, деформацией листьев, некрозом стеблей, пятнистостью и деформацией плодов; на перце это проявляется пожелтением, некрозом и часто гибелью растений. Степень поражения варьируется в зависимости от сорта и внешних факторов [17].

Таким образом, широкий спектр растений-хозяев, высокая степень механической передачи и значительное усиление симптомов при смешанных инфекциях подтверждают высокий фитосанитарный риск *PepMV* и *ToBRFV* и необходимость тщательной оценки рисков, связанных с ними.

В статье рассматриваются потенциальные растения-хозяева, эколого-географическое распространение, а также выявление данных вирусов на территории Казахстана.

Целью исследования является мониторинг распространения *PepMV*, *ToBRFV* и проведение диагностического тестирования данных вирусов методами ОТ-ПЦР и ИХА.

Материалы и методы

Исследования проводились на базе лаборатории молекулярной диагностики фитопатогенов, лаборатории биотехнологии растений, а также лаборатории молекулярно-генетического анализа и защиты растений Института сельского и лесного хозяйства НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина».

Для проведения молекулярно-диагностических исследований были отобраны образцы. Потенциально поражёнными территориями были определены Алматинская и Туркестанская области Республики Казахстан.

Объектами исследования служили 122 сортообразца томата и перца с симптомами вирусных заболеваний.

Было проведено обследование посадок томата и перца в теплицах и открытом грунте. В основных регионах выращивания томатов и перцев были собраны образцы листьев и плодов с симптомами, характерными для вирусной инфекции (мозаика, хлороз, деформация листьев, неравномерное созревание и мраморность плодов, некрозы). В ходе лабораторного мониторинга проведена молекулярная диагностика 122 образцов растений методом полимеразной цепной реакции с обратной транскрипцией. Из общего количества 79 образцов были исследованы на наличие ToBRFV и 43 образца - на наличие *PepMV*.

Отбор растительного материала проводили с учётом общих требований ГОСТ 12430-2019 [18]. В обследованных теплицах и участках открытого грунта проводили целевой отбор растений томата и перца с визуальными признаками, характерными для вирусной инфекции. Для лабораторной диагностики отбирали листья и плоды с проявлениями мозаики, хлороза, деформации листьев, некрозов, неравномерного созревания и мраморности плодов. Каждый образец исследовали индивидуально методом ОТ-ПЦР.

РНК выделяли с помощью набора реагентов «РИБО-сорб» (РФ) [19], согласно протоколу производителя. Для получения кДНК использовали набор реагентов для обратной транскрипции «РЕВЕРТА-L» (РФ) [20], согласно протоколу производителя. Для проведения обратной транскрипции используют готовый набор реагентов «РЕВЕРТА-L». Расход реагентов на один образец составляет: RT-mix - 10,4 мкл, RT-G-Mix - 0,42 мкл, MMLV - 0,5 мкл.

Полученную реакционную смесь инкубировали в амплификаторе при 37 °С в течение 30 минут. После завершения инкубации к смеси добавляют 20 мкл ДНК-буфера. Полученный раствор готов к дальнейшему использованию.

Реакционную смесь для амплификации готовят из расчёта на конечный объём 25 мкл. Состав смеси: деионизированная вода - 10 мкл, мастер-микс - 8 мкл, прямой и обратный праймеры - по 1 мкл каждого из рабочего раствора с концентрацией 10 мкМ, кДНК - 5 мкл. Конечная концентрация каждого праймера в реакционной смеси составляла 0,4 мкМ. Амплификацию проводили на амплификаторе T100 (BioRad, США), с использованием специфических праймеров.

Для выявления *PepMV* использовали праймеры PepMV-F1 (5'-TGTCCTTACGCGCTTAATGATTA-3') и PepMV-R1 (5'-GTTAATGGAGTAAATCGCAGGGA-3'), обеспечивающие амплификацию фрагмента размером 474 п.н. [21]. Для выявления *ToBRFV* использовали праймеры ToBRFV-FD (5'-GTCCCGATGTCTGTAAGGCTTGC-3') и ToBRFV-RD (5'-GCAGGTGCAGAGGACCATTGTAA-3'), обеспечивающие амплификацию фрагмента размером 680 п.н. [22].

Условия амплификации после синтеза кДНК были следующими: начальная стадия денатурации при 95 °С в течение 5 мин; 35 циклов, включающих денатурацию при 95 °С в течение 30 с, отжига праймера (56 °С – 30 с для *PepMV* и 57 °С – 30 с для *ToBRFV*) элонгацию при температуре 72 °С (30 с для *PepMV* и 60 с для *ToBRFV*); финальная элонгация при температуре 72 °С в течение 5 мин. Продукты ПЦР были разделены на 1,5%-ном агарозном геле, окрашены бромистым этидием и визуализированы с помощью трансиллюминатора.

Для сопоставления результатов экспресс-диагностики использовали иммунохроматографический анализ (ИХА) с использованием тест-наборов ImmunoStrip *PepMV* [23] и ImmunoStrip *ToBRFV* [24] производства Agdia (США). Иммунохроматографический анализ проводили согласно инструкции производителя Agdia. Для приготовления экстракта использовали 0,15 г растительной ткани и 3 мл экстракционного буфера SEB1, что соответствовало соотношению 1:20. Растительный материал тщательно гомогенизировали в экстракционном пакете, после чего полученный экстракт оставляли на 3 мин. Тест-полоску ImmunoStrip погружали в экстракт до указанной производителем отметки. Результат учитывали в течение 30 мин. Появление контрольной и тестовой полос расценивали как положительный результат, появление только контрольной полосы – как отрицательный. При отсутствии контрольной полосы результат считали недействительным.

Результаты

Для оценки вероятности ввоза *PepMV* и *ToBRFV* был проведен анализ данных Глобальной базы данных Европейская и Средиземноморская организация по карантину и защите растений (ЕОКЗР) и показателей внешней торговли. По данным ЕОКЗР, оба вируса широко распространены в Европе, Азии, Америке, Африке и Океании, и во многих странах изучаемые вирусы имеют карантинный статус (рисунки 1, 2) [24].

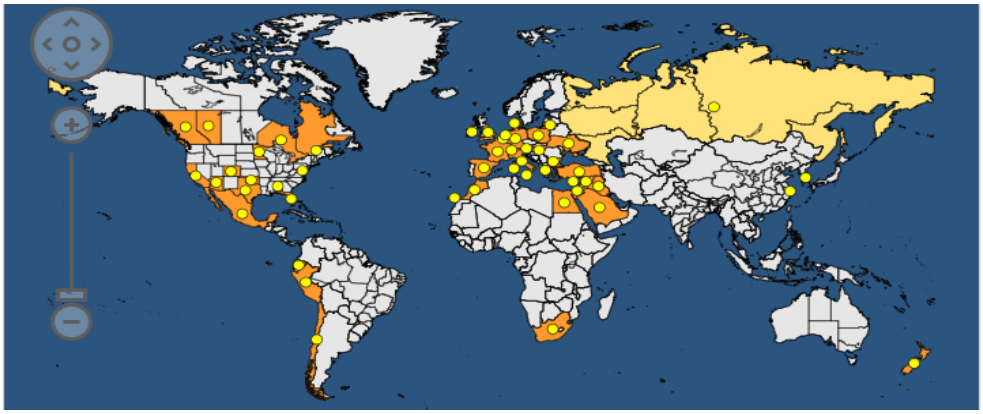


Рисунок 1. Распространение PepMV
- присутствует на территории страны
EPPO Global Database
(https://gd.eppo.int/taxon/PEPMV0/distribution).

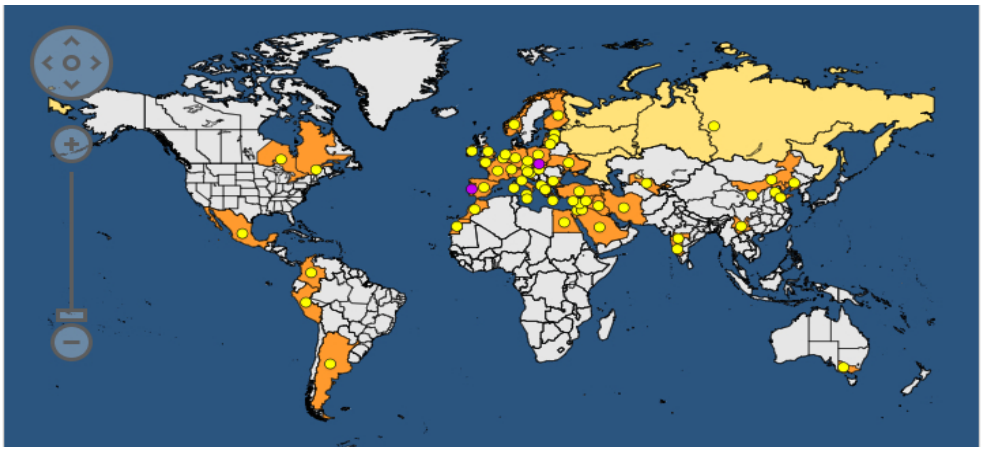


Рисунок 2. Распространение ToBRFV
- присутствует на территории страны
- присутствует, но ограниченно распространен
EPPO Global Database
(https://gd.eppo.int/taxon/TOBRFV/distribution).

Анализ внешней торговли показал, что значительная часть импорта поступает из стран, где зарегистрированы эти вирусы. В январе-феврале 2026 года импорт Казахстана составил 9,64 млрд долларов США, при этом наибольшая доля пришлась на Китай и Россию (по 31%), а также Германию, Соединенные Штаты, Турцию, Италию, Республику Корея и другие страны. Большинство из этих стран находятся в зоне распространения *PepMV* и *ToBRFV* [25].

Дополнительным фактором риска остается ежегодный импорт более 56 000 т свежих томатов и более 13 000 т перца, а также семян и посадочного материала. Зараженные продукты могут стать источником проникновения вирусов, которые затем распространяются механическим путем, через семена, рассаду и во время сельскохозяйственных работ.

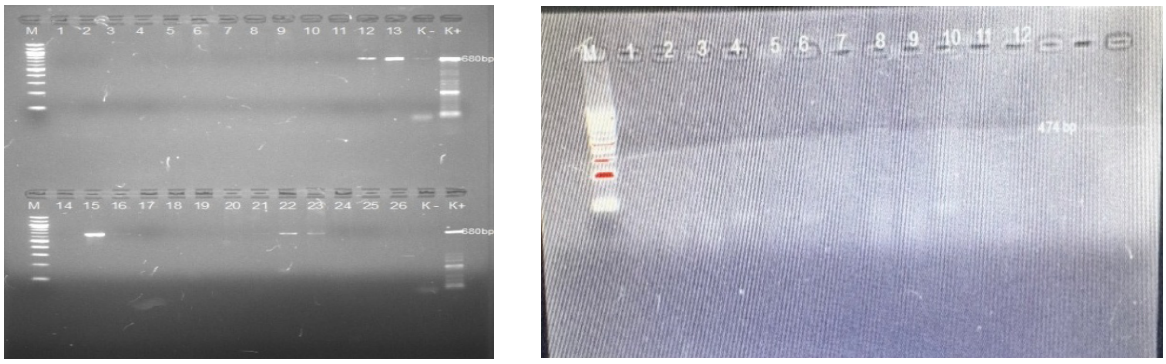
Учитывая, что основные районы выращивания томатов и перцев сосредоточены в южных регионах Республики Казахстана, в первую очередь, в Туркестанской и Алматинской областях, занесение этих вирусов в эти регионы может привести к их быстрому распространению и значительным экономическим потерям. Полученные результаты подтверждают необходимость усиления фитосанитарного контроля импортируемой продукции, совершенствования методов лабораторной диагностики вируса *PepMV* и *ToBRFV*, а также проведения систематического мониторинга посевов томатов и перца для обеспечения своевременного выявления и локализации потенциальных очагов инфекции.

На следующем этапе с целью выявления очагов распространения карантинных вирусов томатов *PepMV* и *ToBRFV* были отобраны образцы растений из потенциально пораженных регионов и областей Республики Казахстан для молекулярно-диагностических исследований (таблица 1). Были обследованы Алматинская, Туркестанская и Акмолинская области Республики Казахстан.

Таблица 1. Перечень регионов отбора и количество исследованных образцов

П/н	Область	Культура	Количество образцов
1	Акмолинская	Томат/перец	22
2	Алматинская	Томат/перец	26
3	Туркестанская	Томат/перец	74

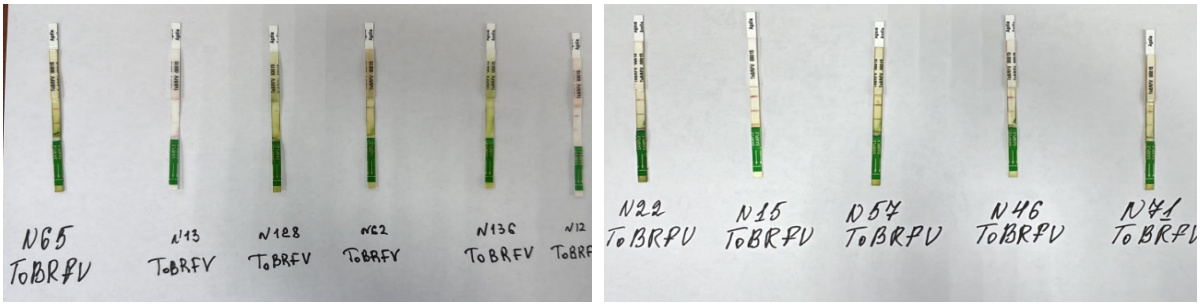
По результатам ОТ-ПЦР *ToBRFV* выявлен в 11 из 79 исследованных образцов, что составило 13,9 %, тогда как *PepMV* выявлен в 3 из 43 исследованных образцов, что составило 7,0 % (рисунок 3). Наличие *ToBRFV* подтверждено в образцах №12, 13, 15, 22, 46, 57, 62, 65, 71, 128 и 136, *PepMV* в образцах №8, 10, 12. Доля положительных результатов среди образцов, исследованных на *ToBRFV*, составила 13,9 %, тогда как среди образцов, исследованных на *PepMV*, – 7,0 %. Поскольку диагностика двух вирусов проводилась на разных выборках, прямое сравнение их распространённости не проводилось. Названия исследуемых образцов приведены в таблице 2.



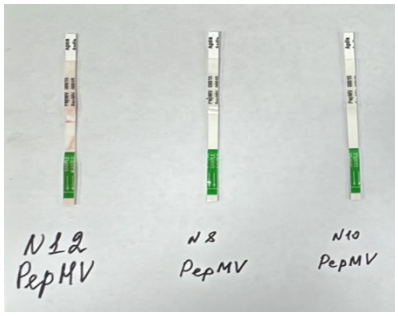
А Б

Рисунок 3. Электрофореграммы продуктов ОТ-ПЦР: А - *ToBRF*V, ожидаемый размер ампликона 680 п.н.; В - *PepMV*, ожидаемый размер ампликона 474 п.н.; М - маркер молекулярной массы GeneRuler 100 bp DNA Ladder; К- - отрицательный контроль, К+ - положительный контроль

По результатам ИХА *ToBRFV* выявлен во всех 11 образцах, ранее показавших положительный результат ОТ-ПЦР. При этом в образцах № 13, 62, 128 и 136 тестовая зона была выражена слабо, однако результат оценивался как положительный. Для *PepMV* положительный результат ИХА получен только для образца № 12, тогда как образцы № 8 и № 10, положительные по данным ОТ-ПЦР, методом ИХА дали отрицательный результат. Таким образом, для *ToBRFV* результаты ИХА и ОТ-ПЦР совпали по качественной оценке, хотя интенсивность тестовой зоны в отдельных образцах различалась. Для *PepMV* совпадение результатов двух методов было неполным. Полученные данные указывают на целесообразность использования ИХА в качестве метода экспресс-скрининга с последующим подтверждением результатов методом ОТ-ПЦР.



Образцы, протестированные методом ИХА на наличие *ToBRFV*



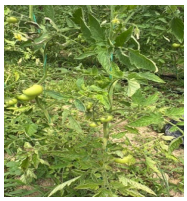
Образцы, протестированные методом ИХА на наличие *PepMV*

Рисунок 4. Результаты иммунохромотографического анализа образцов на *ToBRFV* и *PepMV* (названия исследуемых образцов приведены в таблице 2)

Детально сопоставлены результаты лабораторных исследований и симптомы вирусной инфекции. Результаты представлены в таблице 2.

№ 3 (131)/2026 ISSN 3135-243X, 3135-2448

Таблица 2. Анализ симптомов вирусов *ToBRFV* и *PepMV* с данными молекулярной диагностики (ОТ-ПЦР) и экспресс-метода ИХА

№	Регион	Селекционный образец	Симптомы вирусной инфекции	ОТ-ПЦР		ИХА	
				Tomato brown rugose fruit virus	*Pepino mosaic virus*	*Tomato brown rugose fruit virus*	*Pepino mosaic virus*
8	Туркестанская область	Lesvos		-	+	-	-
10	Туркестанская область	Socorro		-	+	-	-
12	Туркестанская область	Socorro		+	+	+	+
13	Туркестанская область	Pegasus		+	-	+ слаб	-
15	Туркестанская область	Runner		+	-	+	-
22	Туркестанская область	MRT 2749		+	-	+	-
46	Туркестанская область	Сайлау 4		+	-	+	-

Продолжение таблицы 2

57	Туркестанская область	Мамстон		+	-	+	-
62	Туркестанская область	Аламина		+	-	+ слаб	-
65	Туркестанская область	Malika		+	-	+	-
71	Туркестанская область	Вега		+	-	+	-
128	Алматинская область	Diana		+	-	+ слаб	-
136	Алматинская область	NC 515		+	-	+ слаб	-

Примечание: «+» - положительный результат; «+ слаб.» - слабо выраженная тестовая зона; «-» - отрицательный результат»

Анализ полученных данных подтвердил наличие выраженных симптомов вирусного T*omato brown rugose fruit virus* поражения у исследуемых образцов. У образцов № 12, 13, 15, 22, 46, 57, 62, 65, 71, 128 и 136 наблюдались характерные признаки заболевания: сморщивание и деформация молодых листьев, их сужение (игольчатость), постепенное увядание с последующим пожелтением и гибель всего растения.

Образцы № 8, 10 и 12 продемонстрировали типичные симптомы заражения вирусом PepMV. Степень выраженности симптомов варьировала в зависимости от образца. На начальных этапах поражения симптомы проявлялись в верхней части растений в виде формирования светло-зеленых узких (игольчатых) листьев и задержки роста. По мере развития инфекции на листьях отмечались мозаичная окраска, желтая угловатая пятнистость, слабовыраженный межжилковый хлороз и различные деформации. На побегах и цветках наблюдалось образование

некротических участков, негативно влияющих на развитие цветков и формирование плодов. При сильном поражении растения становились угнетенными, низкорослыми и деформированными. На плодах томата, инфицированных PepMV, обычно формировались желто-красные мозаичные узоры (мраморность), приводящие к неравномерному созреванию плодов. Наличие вируса было подтверждено методом полимеразной цепной реакции с обратной транскрипцией (ОТ-ПЦР). Результаты оценки чувствительности свидетельствуют о высокой эффективности применяемого метода диагностики.

Обсуждение

Данное исследование подтверждает, что *Pepino mosaic virus* (*PepMV*) и *Tomato brown rugose fruit virus* (*ToBRFV*) представляют реальную фитосанитарную угрозу для овощеводства в Республике Казахстан. Анализ международных данных из EPPO Global Database показал широкое географическое распространение обоих вирусов и их присутствие у большинства основных торговых партнеров Казахстана. Это указывает на сохраняющийся риск заноса патогенов через международные перевозки семян, посадочного материала и свежей овощной продукции [26].

Анализ статистических данных показал, что, несмотря на снижение общего объема импорта растениеводческой продукции в 2025 году по сравнению с предыдущим годом, объемы импорта томатов и перцев остаются высокими. Более того, в натуральном выражении импорт обеих культур увеличился. Учитывая, что семена, рассада и свежие продукты являются потенциальными переносчиками вирусных инфекций [6], эти тенденции могут способствовать повышению риска заноса карантинных вирусов на территорию Республики Казахстан.

Не менее важным фактором является структура отечественного овощеводства. Основные площади выращивания томатов и перцев сосредоточены в Туркестанской и Алматинской областях, где также высока интенсивность производства. Концентрация значительных площадей восприимчивых растений-хозяев в определенных регионах создает благоприятные условия для быстрого распространения инфекции в случае ее заноса. Дополнительным фактором риска является преобладание в структуре производства крестьянских (фермерских) хозяйств и хозяйств населения, где проведение регулярного фитосанитарного мониторинга может быть затруднено.

Обнаружение вируса *ToBRFV* в тепличном комплексе в Павлодарской области, а также неоднократные обнаружения вируса *PepMV* в экспортируемых партиях казахстанских томатов подтверждают, что эти вирусы уже циркулируют внутри страны и требуют постоянного мониторинга. В связи с этим, использование методов молекулярной диагностики, основанных на ОТ-ПЦР, является одним из наиболее эффективных инструментов раннего выявления инфекции, позволяющих выявлять вирусы даже в бессимптомных случаях.

Молекулярные методы широко применяются для диагностики *PepMV* и *ToBRFV*. В работах *Ota* et al. [7] и *Ling* et al. [27] показана высокая аналитическая чувствительность систем RT-qPCR при выявлении вирусов в растительном и семенном материале. Следует учитывать, что RT-qPCR отличается от использованной в настоящем исследовании конвенциональной ОТ-ПЦР с электрофоретической детекцией и, как правило, характеризуется более низким пределом обнаружения. В настоящей работе ОТ-ПЦР использовали как качественный метод подтверждения наличия специфических фрагментов генома *PepMV* и *ToBRFV*.

Полученные нами результаты по подтверждению инфекции методом ИХА также согласуются с данными китайских исследователей, которые разработали и применили иммунохроматографические тест-полоски (CGICS) в сочетании с ОТ-ПЦР для диагностики вирусной инфекций томата. Авторы показали высокую степень совпадения результатов иммунохроматографического и молекулярного методов, что подтверждает целесообразность методов ИХА в качестве экспресс-скрининга с последующим подтверждением результатов методом ОТ-ПЦР [28].

Полученные нами данные показывают, что ИХА может использоваться как метод оперативного скрининга. Для *ToBRFV* результаты ИХА совпали с данными ОТ-ПЦР во всех 11 исследованных положительных образцах, при этом у образцов № 13, 62, 128 и 136 тестовая зона была выражена слабо. Для *PepMV* два из трёх ОТ-ПЦР-положительных образцов дали отрицательный результат ИХА. Это указывает на необходимость подтверждения отрицательных или сомнительных результатов ИХА молекулярным методом.

Таким образом, полученные результаты подтверждают необходимость комплексного подхода к предотвращению распространения *PepMV* и *ToBRFV*, включая усиление фитосанитарного контроля импортируемой продукции, устойчивых сортообразцов, проведение регулярного мониторинга тепличных хозяйств и посевов в открытом грунте, а также внедрение современных методов молекулярно-генетической диагностики в государственную систему карантина растений Республики Казахстан.

Заключение

В результате проведенного исследования была проведена оценка фитосанитарных рисков, связанных с распространением *Pepino mosaic virus* (*PepMV*) и *Tomato brown rugose fruit virus* (*ToBRFV*) на территории Республики Казахстан.

Анализ структуры производства овощей в Республике Казахстан показал, что наибольшие площади, отведенные под выращивание томатов и перцев, сосредоточены в южных регионах страны, в первую очередь в Туркестанской и Алматинской областях, что определяет эти территории как зоны повышенного фитосанитарного риска в случае появления патогена.

В ходе исследования методом ОТ-ПЦР проанализировано 122 образца растений томата и перца из Акмолинской, Алматинской и Туркестанской областей. На наличие *ToBRFV* исследовано 79 образцов, из которых 11 оказались положительными, что составило 13,9%. На наличие *PepMV* исследовано 43 образца, из которых положительными были 3, или 7,0%. Поскольку исследования двух вирусов проводились на разных выборках, полученные показатели не позволяют непосредственно сравнивать распространённость *ToBRFV* и *PepMV*.

При сопоставлении результатов ИХА и ОТ-ПЦР для *ToBRFV* совпадение положительных результатов отмечено во всех 11 образцах, при этом в четырёх из них тестовая зона ИХА была выражена слабо. Для *PepMV* методом ИХА подтверждён один из трёх ОТ-ПЦР-положительных образцов. Полученные данные свидетельствуют о возможности использования ИХА для оперативного скрининга с последующим подтверждением результатов методом ОТ-ПЦР.

В целом, результаты исследования указывают на реальное присутствие и распространение двух опасных карантинных вирусов (*ToBRFV* и *PepMV*) на территории Республики Казахстан и подчеркивают необходимость дальнейшего усиления фитосанитарного мониторинга и совершенствования системы диагностики.

Полученные результаты подтверждают необходимость дальнейшего совершенствования системы карантинного фитосанитарного контроля, расширения мониторинга посевов томатов и перца, а также проведения регулярного тестирования импортируемой продукции с использованием современных методов молекулярно-генетической диагностики. Реализация этих мер позволит своевременно выявлять очаги инфекции, предотвращать дальнейшее распространение вирусов и снижать экономические потери овощеводческого сектора Республики Казахстан.

Вклад авторов

МӘ, МС, ВХ: участвовали в сборе и подготовке образцов для проведения ОТ-ПЦР и ИХА диагностики, подготовили литературный обзор, обобщили результаты исследований, выполнили анализ данных и совместно подготовили текст статьи, провели окончательную редакцию и вычитку рукописи. Все авторы прочитали, просмотрели и одобрили окончательный вариант статьи.

Информация о финансировании

Исследования проводились в рамках программно-целевого финансирования МСХ РК на 2024-2026 годы по научно-технической программе BR22887230 «Создание эффективной системы управления численностью популяций карантинных вредных организмов, ограничено распространенных на территории РК», проекту «Проведение апробации современных методов диагностики карантинных вредных организмов».

Список литературы

1 Ahatov, A.K., Gannibal, F.B., Meshkov, Ju.I., Dzhalilov, F.S., Chizhov, V.N., Ignatov, A.N., Polishhuk, V.P., Shevchenko, T.P., Borisov, B.A., Stroikov, Ju.M., Beloshapkina, O.O. (2013). *Bolezni i vrediteli ovoshhnyh kul''tur i kartofelya* [*Diseases and pests of vegetable crops and potatoes*]. Moskva: Tovarishhestva nauchnyh izdanii KMK, 414. [*In Russian*].

2 Reshenie Soveta Evraziiskoi ekonomicheskoi komissii *ot № 158.* (2016). *Ob utverzhdenii edinogo perechnya karantinnyh obektov Evraziiskogo ekonomicheskogo soyuza* [*On the approval of the unified list of quarantine objects of the Eurasian Economic Union*]. https://adilet.zan.kz/rus/docs/H16EV000158. [*In Russian*].

3 *Ob utverzhdenii perechnya karantinnyh obektov i chuzherodnyh vidov, po otnosheniyu k kotorym ustanavlivayutsya i osushhestvlyayutsya meroprijatiya po karantinu rastenii, i perechnya osobo opasnyh vrednyh organizmov* [*On the approval of the list of quarantine objects and alien species in relation to which plant quarantine measures are established and implemented, and the list of particularly dangerous harmful organisms*]. (2015). https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500011739. [*In Russian*].

4 Roggero, P., Masenga, V., Lenzi, R., Coghe, F., Ena, S., Winter, S. (2001). First report of Pepino mosaic virus in tomato in Italy. *Plant Pathology*, 50(6), 798–798. DOI:10.1046/j.1365-3059.2001.00621.x.

5 Klap, C., Luria, N., Smith, E., Hadad, L., Bakelman, E., Sela, N., Dombrovsky, A. (2020). Tomato brown rugose fruit virus contributes to enhanced pepino mosaic virus titers in tomato plants. *Viruses*, 12(8), 879.

6 Golnaraghi, A., Gaur, R.K. (*Eds*.). (2024). New and Emerging Plant Viruses: The Threat to Food Security. CRC Press.

7 Ota, E., Shinosaka, H., Ishibashi, K., Takeyama, S., Matsuyama, M., Tomitaka, Y., Kubota, K. (2025). Development and evaluation of a SYBR Green-based RT-qPCR assay with a specific primer set for tomato seed testing against tomato brown rugose fruit virus. *Journal of General Plant Pathology*, 91(3), 160–170.

8 Mehle, N., Luigi, M., Tiberini, A., Manglli, A., Vučurović, A., Faggioli, F. (2023). Testing of tomato brown rugose fruit virus by real-time RT-PCR (Bernabe-Orts et al. 2021): validation report. EURL-Virology, European Union Reference Laboratory for Pests of Plants on Viruses, Viroids and Phytoplasmas.

9 Byuro nacional'noi statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazahstan. (2025). *Eksport i import tovarov produkcii rastenievodstva* [*Eksport i import tovarov produkcii rastenievodstva*]. https://stat.gov.kz/ [*In Russian*].

10 Byuro nacional'noi statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniju i reformam Respubliki Kazahstan. (2025). *Posevnye ploshhadi sel'skohozyaistvennyh kul'tur pod urozhai 2025 goda v Respublike Kazahstan* [*Sown areas of agricultural crops for the 2025 harvest in the Republic of Kazakhstan*]. https://stat.gov.kz/ [*In Russian*].

11 Byuro nacional'noi statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazahstan. (2025). *Valovyisbor sel'skohozyaistvennyh kul'tur v Respublike Kazahstan za 2025 god* [*Gross harvest of agricultural crops in the Republic of Kazakhstan in 2025*]. https://stat.gov.kz/ [*In Russian*].

12 ElDala.kz. (2024). *Karantin vveli v Ekibastuze iz-za virusa tomatov* [*Quarantine has been imposed in Ekibastuz due to a tomato virus*]. https://eldala.kz/novosti/ovoshchi-i-frukty/20126-karantin-vveli-v-ekibastuze-iz-za-virusa-tomatov [*In Russian*].

13 Federal'naya sluzhba po veterinarnomu i fitosanitarnomu nadzoru (Rossel'hoznadzor). (2021). *Upravleniem Rossel'hoznadzora po Altaiskomu krayu i Respublike Altai vyyavlen virus mozaiki pepino v 5 partiyah tomatov* [*The Rosselkhoznadzor Directorate for the Altai Territory and the Republic of Altai has identified the pepino mosaic virus in 5 batches of tomatoes*]. https://fsvps.gov.ru/news/upravleniem-rosselhoznadzora-po-altajskomu-kraju-i-respublike-altaj-vyjavlen-virus-mozajki-pepino-v-5-partiyah-tomatov/ [*In Russian*].

14 Tengrinews – informacionnaya platforma. (2021). *Iz Kazahstana v Rossiyu pytalis' provezti zarazhennye pomidory* [*They tried to smuggle infected tomatoes from Kazakhstan to Russia*]. https://tengrinews.kz/sng/kazahstana-rossiyu-pyitalis-provezti-zarajennyie-pomidoryi-440145/ [*In Russian*].

15 ElDala.kz - agrarnyi sait Kazahstana. (2022). *Krupnuyu partiyu zarazhennyh tomatov iz RK vyyavili v RF* [*A large consignment of contaminated tomatoes from Kazakhstan was detected in Russia*]. https://

eldala.kz/novosti/ovoshchi-i-frukty/8556-krupnuyu-partiyu-zarazhennyh-tomatov-iz-rk-vyyavili-v-rf [*In Russian*].

16 Federal'naya sluzhba po veterinarnomu i fitosanitarnomu nadzoru (Rossel'hoznadzor). (2024). *Rossel'hoznadzor predotvratil vvoz v Sverdlovskuju oblast' 18 tonn tomatov iz Kazahstana, zarazhennyh virusom mozaiki pepino* [*Rosselkhoznadzor prevented the import of 18 tons of tomatoes from Kazakhstan, infected with the pepino mosaic virus, into the Sverdlovsk Region*]. https://fsvps.gov.ru/news/rosselhoznadzor-predotvratil-vvoz-v-sverdlovskuju-oblast-18-tonn-tomatov-iz-kazahstana-zarazhennyh-virusom-mozaiki-pepino/m [*In Russian*].

17 Vserossiiskii centr karantina rastenii. (2026). *Virus mozaiki pepino* (*PepMV*) [*Pepino mosaic virus (PepMV)*]. https://www.vniikr.ru/upload/medialibrary/pdf/_%20%D0%92%D0%B8%D1%80%D1%83%D1%81%20%D0%BC%D0%BE%D0%B7%D0%B0%D0%B8%D0%BA%D0%B8%20%D0%BF%D0%B5%D0%BF%D0%B8%D0%BD%D0%BE%20PepMV.pdf [*In Russian*].

18 Mezhgosudarstvennyi standart GOST 12430-2019 – Karantin rastenii. Metody i normy otbora obrazcov podkarantinnoi produkcii pri karantinnom fitosanitarnom dosmotre i laboratornyh issledovaniyah [Plant Quarantine. Methods and Standards for Sampling Quarantine Products during Quarantine Phytosanitary Inspection and Laboratory Testing]. (2019). Moskva: Standartinform, 4-5. [*In Russian*].

19 Nabor reagentov «RIBO-sorb». (2026). https://www.amplisens.ru/catalog/komplekty-reagentov-dlya-ekstraktsii-dopolnitelnye-reagenty/komplekty-reagentov-dlya-ekstraktsii/ribosorb/ [*In Russian*].

20 Nabor reagentov dlya obratnoi transkripcii «REVERTA-L». (2026). https://www.amplisens.ru/catalog/komplekty-reagentov-dlya-ekstraktsii-dopolnitelnye-reagenty/dopolnitelnye-reagenty/revertal/ [*In Russian*].

21 Li, Q.A., Zhang, J.K., Zeng, X.D., Wang, Q., Wang, Z.H., Xu, W.X. (2023). Studies on the detection of Pepino mosaic virus using RT-PCR and dot blot methods. *Acta Phytopathologica Sinica*, 53(6), 1262–1265.

22. Guo H., Dong X., Wang Z., An M., Yang X., Xia Z., Wu Y. (2024). First Report of Tomato Brown Rugose Fruit Virus Infecting Solanum lycopersicum in Northeast China. *Plant Disease*, 108(2), 542. DOI: 10.1094/PDIS-11-23-2395-PDN.

23 Test-nabor ImmunoStrip PepMV. (2026). https://orders.agdia.com/agdia-immunostrip-for-pepmv-isk-13001

24 EPPO Global Database (https://gd.eppo.int/taxon/PEPMV0/distribution)

25 Test-nabor ImmunoStrip ToBRFV. (2026). https://orders.agdia.com/agdia-immunostrip-for-tobrfv-isk-66800

26 Byuro nacional'noi statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniju i reformam Respubliki Kazahstan. (2026). *Osnovnye pokazateli vneshnei torgovli Respubliki Kazahstan po stranam* [T*he main indicators of the foreign trade of the Republic of Kazakhstan by country*]. https://stat.gov.kz/ [*In Russian*].

27 Salem, N.M., Jewehan, A., Aranda, M.A., Fox, A. (2023). Tomato brown rugose fruit virus pandemic. *Annual review of phytopathology*, 61(1), 137–164.

28 Ling, K.S., Wechter, W.P., Jordan, R. (2007). Development of a one-step immunocapture real-time TaqMan RT-PCR assay for the broad-spectrum detection of *Pepino mosaic virus. Journal of virological methods*, 144(1–2), 65–72.

29 Zhao, X., Wu, J., Ma, Z., Shi, Y., Fang, Z., Wu, J., Zhou, X. (2024). Development and application of monoclonal antibody-based dot-ELISA and colloidal gold immunochromatographic strip for rapid, specific, and sensitive detection of tomato brown rugose fruit virus. *Journal of virological methods,* 323, 114841.

Қазақстан Республикасының аумағында пепино мозаика вирусының (*PepMV*) және қызанақ жемісінің қоңыр қатпарлы вирусының (*ToBRFV*) диагностикасы

Сүлейман М.А., Әжімахан М.Ә., Хасанов В.Т.

«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Мақала Қазақстан Республикасы үшін салыстырмалы түрде жаңа, жылыжайлар мен ашық топырақта қызанақ өсіруге елеулі қауіп төндіретін қауіпті карантиндік патогендер қызанақ вирустарын – *Pepino mosaic virus* (*PepMV*, пепино мозаикасының вирусы) және T*omato brown rugose fruit virus* (*ToBRFV*, Қызанақ жемісінің қоңыр қатпарлы вирусы) диагностикалауға арналған.

Материалдар мен әдістер. КТ-ПТР әдісімен Қазақстанның түрлі өңірлерінен (Түркістан, Алматы және Ақмола облыстары) өсімдіктердің 122 үлгісі зерттелді. *ToBRFV* вирусы үлгілердің 14%-ында, *PepMV* вирусы үлгілердің 7%-да анықталды. ИХТ әдісінің нәтижесі ПТР нәтижелерімен салыстырмалы бағаланды, *ToBRFV* үшін барлық зерттелген 11 үлгіде оң нәтижелердің сәйкестігі анықталса, ал *PepMV* үшін КТ-ПТР-де көрсеткен оң үш үлгінің біреуі ИХТ әдісімен расталды.

Нәтижелер. Симптомдардың молекулалық деректермен сәйкестігі анықталды, диагностиканың молекулалық және экспресс-иммунологиялық әдістерін қатар пайдаланудың жоғары тиімділігі көрсетілді.

Қорытынды. Нәтижелер Қазақстан Республикасының зерттелген аймақтарынан зерттелген өсімдік үлгілерінде *PepMV* және *ToBRFV* анықталғанын растайды және фитосанитариялық бақылауды күшейту, жылыжайларда және ашық егістікте қызанақ пен бұрыш екпелерін тұрақты мониторинг жұмыстарын және зертханалық диагностиканың заманауи әдістерін қолдану қажеттігін көрсетеді.

Кілт сөздер: қызанақ; карантиндік нысандар; *Pepino mosaic virus*; *Tomato brown rugose fruit virus*; КТ-ПТР, ИХТ.

Diagnostics of Pepino mosaic virus (*PepMV*) and Tomato brown rugose fruit virus (*ToBRFV*) in tomato and pepper samples from selected regions of the Republic of Kazakhstan

Madina A. Suleiman, Moldir A. Azhimakhan, Vadim T. Khassanov

NJSC “S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University”, Astana, Kazakhstan

Abstract

Background and Aim. This article is devoted to the diagnostics of tomato viruses – *Pepino mosaic virus* (*PepMV*) and *Tomato brown rugose fruit virus* (*ToBRFV*) – dangerous quarantine pathogens that are relatively recent targets of phytosanitary monitoring in the Republic of Kazakhstan and pose a serious threat to tomato cultivation in greenhouses and open fields.

Materials and Methods. A total of 122 plant samples from various regions of Kazakhstan (Turkestan, Almaty, and Akmola regions) were tested by RT-PCR. *ToBRFV* was detected in 14% of the samples, while *PepMV* was detected in 7%. For *ToBRFV*, the ICA results were consistent with the RT-PCR results for all 11 positive samples, whereas for *PepMV* only one of three RT-PCR-positive samples was positive by ICA.

Results. The observed symptoms were consistent with the molecular data, and the high effectiveness of combining RT-PCR with immunochromatographic testing was demonstrated.

Conclusion. The results confirm the detection of *PepMV* and *ToBRFV* in the plant samples collected from the surveyed regions of the Republic of Kazakhstan and highlight the need to strengthen phytosanitary control measures, conduct regular monitoring of tomato and pepper crops in both greenhouses and open fields, and use modern laboratory diagnostic methods.

Keywords: tomato; quarantine pests; *Pepino mosaic virus*; *Tomato brown rugose fruit virus*; RT-PCR; ICA.