

Распространение вирусных инфекций в сортовых посадках хмеля*

Л. П. ХЛЕБОВА, Е. С. БРОВКО, О. Н. МИРОНЕНКО, О. В. БЫЧКОВА, А. В. НЕБЫЛИЦА

Алтайский государственный университет, просп. Ленина, 61, Барнаул, 656049, Российская Федерация

Резюме. Исследования проводили с целью изучения распространенности вирусных инфекций в сортовых посадках хмеля в Алтайском крае и Республике Алтай. Сорта Брянский, Magnum, Подвязный и Флагман оценивали на зараженность 15 видами вирусов и 1 вириода серологическим (DAS-ELISA) и молекулярным (ОТ-ПЦР РВ) методами. Инфицированность сортов варьировала от 63,6 до 100 %. В хмельниках Республики Алтай выявлены экономически опасные для хмеля патогены *Apple mosaic virus* (ApMV) и *Hop mosaic virus* (HrMV) с частотой 83,3 и 45,5 % соответственно. Наличие вирусов не коррелировало с визуальными симптомами поражения растений. Среди сопутствующих вирусов наиболее распространенными были *Potato virus Y* (PVY) – 100 %, *Potato virus S* (PVS) – 52,9 % и *Potato leaf roll virus* (PLRV) – 50,0 %. Такие патогены, как *Arabis mosaic virus* (ArMV), *Petunia asteroid mosaic virus* (PetAMV), *Cucumber mosaic virus* (CMV), *Tobacco mosaic virus* (TMV) и *Tobacco necrosis virus* (TNV) не обнаружены. Фитосанитарная обстановка в хмельниках Алтайского края относительно благоприятна. Ни один из наиболее опасных для сортов хмеля вирусов не выявлен. Преобладающими в фитопатогенном комплексе оказались вирусы PVY, PLRV и PVS с частотой 88,9, 71,1 и 31,1 %. Вирусы мозаики картофеля – *Potato virus X* (PVX) и *Potato virus A* (PVA) – диагностированы на хмеле впервые в мире. Смешанные инфекции объединяли от 2 до 5 патогенов. В пробах листьев 13 видов сорных растений, доминирующих на плантациях хмеля, отмечали наличие 1...3 вирусов с преобладанием PVY с частотой от 35,6 (Республика Алтай) и 46,9 % (Алтайский край). Вирусы присутствовали в растениях бессимптомно. Экономически опасные патогены в тканях растений сорных видов не обнаружены.

Ключевые слова: хмель (*Humulus lupulus* L.), сорт, промышленные плантации, патоген, диагностика, вирусные инфекции, сорные растения.

Сведения об авторах: Л. П. Хлебова, кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник (e-mail: hlebova61@mail.ru); Е. С. Бровко, старший преподаватель (e-mail: alenaplyusheva.721@mail.ru); О. Н. МIRONENKO, кандидат биологических наук, зав. лабораторией (e-mail: olgmironenko@mail.ru); О. В. Бычкова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник (e-mail: olga4ka_asu@mail.ru); А. В. Небылица, лаборант-исследователь (e-mail: nastaynebylitsa@mail.ru).

Для цитирования: Распространение вирусных инфекций в сортовых посадках хмеля / Л. П. Хлебова, Е. С. Бровко, О. Н. МIRONENKO и др. // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38. № 1. С. 35–39. doi: 10.53859/02352451_2024_38_1_35

*Исследование выполнено в рамках гранта Российского научного фонда (проект № 22-26-20092).

Spread of viral infections in varietal hop plantings

L. P. Khlebova, E. S. Brovko, O. N. Mironenko, O. V. Bychkova, A. V. Nebylitsa

Altai State University, prosp. Lenina, 61, Barnaul, 656049, Russian Federation

Abstract. The research aimed to study the prevalence of viral infections in varietal hop plantings in the Altai Territory and the Altai Republic. The varieties Bryansky, Magnum, Podvyazny and Flagman were assessed for infection with 15 types of viruses and 1 viroid using serological (DAS-ELISA) and molecular (RT-PCR RT) methods. Infection of varieties varied from 63.6 to 100%. In the hop fields of the Altai Republic, the economically dangerous pathogens *Apple mosaic virus* (ApMV) and *Hop mosaic virus* (HrMV) were identified with a frequency of 83.3 and 45.5%, respectively. The presence of viruses did not correlate with visual symptoms of plant damage. Among the associated viruses, the most common were *Potato virus Y* (PVY) – 100%, *Potato virus S* (PVS) – 52.9% and *Potato leaf roll virus* (PLRV) – 50.0%. Pathogens such as *Arabis mosaic virus* (ArMV), *Petunia asteroid mosaic virus* (PetAMV), *Cucumber mosaic virus* (CMV), *Tobacco mosaic virus* (TMV) and *Tobacco necrosis virus* (TNV) were not detected. The phytosanitary situation in the hop fields of the Altai Territory is relatively favourable. None of the most dangerous viruses for hop varieties have been identified. The predominant viruses in the phytopathogenic complex were PVY, PLRV and PVS with a frequency of 88.9, 71.1 and 31.1%. Potato mosaic viruses – *Potato virus X* (PVX) and *Potato virus A* (PVA) – were diagnosed on hops for the first time in the world. Mixed infections included from 2 to 5 pathogens. In samples of leaves of 13 species of weeds that dominate hop plantations, the presence of 1-3 viruses with a predominance of PVY was observed with a frequency of 35.6 (Altai Republic) and 46.9% (Altai Territory). Viruses were present in plants asymptotically. No economically dangerous pathogens were found in plant tissues of weed species.

Keywords: hop (*Humulus lupulus* L.); variety; industrial plantations; pathogen; diagnostics; viral infections; weeds.

Author Details: L. P. Khlebova, Cand. Sc. (Biol.), assoc. prof., leading research fellow (e-mail: hlebova61@mail.ru); E. S. Brovko, senior lecturer (e-mail: alenaplyusheva.721@mail.ru); O. N. Mironenko, Cand. Sc. (Biol.), head of laboratory (e-mail: olgmironenko@mail.ru); O. V. Bychkova, Cand. Sc. (Agr.), senior research fellow (e-mail: olga4ka_asu@mail.ru); A. V. Nebylitsa, research assistant (e-mail: nastaynebylitsa@mail.ru).

For citation: Khlebova LP, Brovko ES, Mironenko ON, et al. [Spread of viral infections in varietal hop plantings]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2024;38(1):35–9. Russian. doi: 10.53859/02352451_2024_38_1_35

Вирусы и вириоды растений представляют серьезную угрозу для сельского хозяйства. В последние годы описано более 1000 видов, поражающих культурные растения [1, 2]. Высокая скорость мутирования и совместная эволюция хозяина и патогена, с одной стороны, и сужение генетической базы возделываемых сортов вследствие использования ограниченного спектра исходного материала, с другой стороны, способствуют широкому распространению инфекционных заболеваний среди культивируемых. Это вызывает обеспокоенность у производителей, поскольку приводит к значительной потере урожая и снижению его качества у широкого ряда сельскохозяйственных культур [3].

К наиболее опасным возбудителям вирусных заболеваний, наносящих серьезный урон производству, относят представителей родов *Tobamovirus*, *Tospovirus*, *Begomovirus*, *Cucumovirus*, *Ilarvirus*, *Potyvirus*, *Tungrovirus*,

Carlavirus, *Babuvirus*, *Badnavirus*, *Polerovirus*, *Allexivirus*, *Nepovirus* [2, 4].

Вирусы и вириоды, поражающие хмель (*Humulus lupulus* L.), широко распространены по всему миру в зонах его выращивания, создавая препятствия для успешного возделывания культуры. В некоторых странах, таких как Австралия и Новая Зеландия, эти патогены считают единственными серьезными патологическими проблемами, что связано с отсутствием тяжелых грибковых заболеваний, например, таких как мучнистая роса и ложная мучнистая роса [5].

К наиболее опасным вирусам хмеля относят три карлавируса – вирус мозаики хмеля (HrMV), латентный вирус хмеля (HrLV) и американский латентный вирус хмеля (AHLV); два иларвируса – вирус мозаики яблони (ApMV) и вирус некротической кольцевой пятнистости сливы (PNRSV) и неповирус – вирус мозаики резухи (ArMV). Патогены оказывают значительное влияние на урожайность и вторичный

метаболизм растений хмеля, что приводит к снижению уровня горьких кислот и эфирных масел в шишках – незаменимых компонентов при производстве пива [6].

Кроме того, в некоторых регионах описаны так называемые минорные (второстепенные) вирусы с низкой частотой распространения и слабой инфекционной способностью. Полагают, что в определенных патосистемах статус вызываемых ими заболеваний может измениться, что определяет необходимость контроля их распространения. Эта группа патогенов объединяет различные мозаичные вирусы (вирус мозаики люцерны (AMV), вирус мозаики табака (TMV), вирус мозаики огурца (CMV), вирус звездчатой мозаики петунии (PetAMV)), а также вирус латентный кольцевой пятнистости земляники (SLRSV), вирус кольцевой пятнистости табака (TRSV), вирус некроза табака (TNV) [1, 5, 7]. Информация относительно их вредоносности ограничена, имеются лишь описания симптомов, включающие деформацию и перфорацию листьев, различные типы хлорозов и некрозов, укорочения междоузлий [5, 8].

Сегодня известно, что растения хмеля служат хозяевами четырех видов виридов, а именно вирида приостановки роста хмеля (HrSVd) [9, 10], вирида морщинистости плодов яблони (AFCVd) [11], латентного вирида хмеля (HrLVd) [12] и вирида растрескивания коры цитрусовых (CBCVd) [13, 14].

Вириод HrLVd зарегистрирован во всех регионах выращивания хмеля. Хотя растения, инфицированные этим патогеном, не имеют симптомов, заражение оказывает влияние на экспрессию генов и биосинтез вторичных метаболитов в лупулиновых железах шишек, снижая содержание горьких альфа-кислот на 34%, а ксантогумола на 23,5% [12]. Вириод HrSVd был впервые обнаружен в посадках хмеля в Японии с типичными симптомами, возникающими через 3...7 лет после заражения, которые включают задержку роста, скручивание листьев, формирование небольших шишек и существенное снижение содержания альфа-кислот [15]. Патоген может привести к потерям урожая до 62% в зависимости от сорта [9]. Заболевание, вызванное AFCVd, сегодня распространено только в Японии, а симптомы, вызванные этим виридом, напоминают симптомы HrSVd [11, 14]. Вириод CBCVd выступает наиболее агрессивным, признаки которого появляются через год после заражения. Отмечается значительная задержка роста побегов, скручивание листьев, уменьшение размера шишек, сухое гниение корней после первого периода покоя и полное отмирание растения через 3...5 лет [13, 16].

Хотя проблемы, создаваемые вирусами и виридами в процессе производства хмеля, не представляются уникальными, они достаточно сложны, поскольку скорость распространения инфекции часто намного выше, чем у других многолетних культур. Причиной выступает быстрый годовой прирост стеблей (более 5 м в течение 3...4 месяцев) в близко расположенных посадках, что благоприятствует как механической передаче вирусов (для HrSVd, HrLVd и ArMV), так и заражению через тлей-переносчиков (для карлавирусов). Кроме того, длительный срок службы хмельников (обычно до 20 лет, но могут сохраняться и 50 лет) означает, что они неоднократно подвергаются инфицированию. Неперсистентный путь передачи большинства вирусных инфекций хмеля, не требующий латентного периода, исключает возможность контроля распространения заболеваний химическими способами. Ситуация также осложнена отсутствием генов устойчивости к вирусам и виридам, что препятствует селекции устойчивых сортов [5].

То есть, первостепенное значение в борьбе с патогенами хмеля приобретает организация и проведение профилактических мер, включающих широкомасштабный мониторинг

наиболее важных вирусов и виридов с целью обнаружения и искоренения первичных источников потенциальных инфекций, а также выяснения текущей ситуации по их распространённости. В некоторых странах были внедрены специальные программы сертификации хмельников, позволяющие контролировать наиболее вредоносные патогены [5, 17]. Эффективность таких программ существенно повысилась при использовании более чувствительных и надежных методов выявления скрытых инфекций. Такие инфекции могут наносить незначительный ущерб отдельным растениям. Однако их присутствие в массовых посадках создает угрозу дальнейшему распространению патогенов, что повышает вероятность потенциального экономического ущерба.

Цель исследования – изучение распространённости вирусных инфекций в сортовых посадках хмеля Алтайского края и Республики Алтай.

Условия, материалы и методы. Обследование хмелевых плантаций проводили в летнюю вегетацию 2023 г. в период с 17 июня по 15 июля. Хмельники расположены в Чарышском районе Алтайского края и Майминском районе Республики Алтай, где сосредоточены основные площади, занятые под культуру. Материалом для лабораторных анализов служили листья 4 сортов, отобранные в количестве не менее 12 шт. с разных ярусов растения (нижнего, среднего и верхнего). Оценивали от 11 до 18 растений каждого сорта. Согласно биохимическим характеристикам, сорта Брянский и Magnum входят в группу горьких, сорта Подвязный и Флагман – горько-ароматических сортогрупп [18].

Кроме того, с каждого участка проведен отбор листьев сорных растений, преобладающих на плантациях, для оценки их зараженности вирусами. Исследовано 6 и 7 видов, произрастающих на плантациях Чарышского и Майминского районов, соответственно. Транспортировку проб в количестве 147 сортовых образцов и 108 образцов сорных растений осуществляли в индивидуальных пластиковых пакетах, помещенных в термоконтейнер ТКМ-10.

Все растительные образцы были проанализированы методом ИФА (DAS-ELISA) на наличие 7 мозаичных вирусов (HrMV, ArMV, ArMV, AMV, TMV, CMV, PetAMV), а также вирусов SLRSV и TNV, хозяином которых выступает хмель. Для анализов использованы диагностические наборы компании BIOREBA AG (Швейцария).

Проведена диагностика образцов методом RT-PCR в режиме Real-time (OT-ПЦР-РВ) на зараженность 6 вирусами (PVS, PVA, PVM, PVX, PVY, PLRV) и 1 виридом картофеля (PSTVd). PHK экстрагировали реактивами DiamondDNA (Россия), согласно инструкции производителя. Исследование выполнено на ДНК-амплификаторе QuantStudio5 (Thermo Fisher Scientific, США). Диагностические наборы и условия термоциклирования разработаны компанией «Синтол» (Россия).

Лабораторные исследования выполнены в Алтайском центре прикладной биотехнологии Алтайского государственного университета. Оценку достоверности различий зараженности сортов и сорных растений различными вирусами проводили с использованием критерия χ^2 при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. Тестирование растений хмеля с плантации Майминского района методом ИФА выявило присутствие в пробах 4 из 9 исследованных вирусов (табл. 1). *Arabis mosaic virus* (ArMV), *Petunia asteroid mosaic virus* (PetAMV), *Cucumber mosaic virus* (CMV), *Tobacco mosaic virus* (TMV) и *Tobacco necrosis virus* (TNV) не обнаружены. Общий уровень инфицированности материала оказался достаточно высоким, достигая 73,9%.

Наибольшее количество положительных проб диагностировали у сорта Брянский. Распределение частот поражения растений этого сорта различными вирусами

Таблица 1. Результаты диагностики сортового хмеля на зараженность вирусами методом DAS-ELISA (Майминский район, 2023 г.)

Сорт	Проверено растений		Инфицировано вирусами, %				$\chi^2_{\text{факт}}$ *
	всего, шт.	инфицировано, %	НрMV	AMV	SLRSV	ArMV	
Брянский	12	83,3	0	8,3	25,0	83,3	17,43
Magnum	11	63,6	27,3	0	18,2	45,5	5,20
Всего	23	73,9	13,0	4,3	21,7	65,2	19,33

* $\chi^2_{0,5} = 7,78$.

происходило неравномерно, варьируя от 0 до 83,3 %. Статистическая оценка данных подтвердила достоверность указанных различий. Теоретическое значение критерия χ^2 уступало фактическому при $p < 0,05$. Сорт Magnum поражен в меньшей степени, однако и его инфицированность относительно высока – более 60 %.

Серьезную угрозу представляет обнаружение на хмелевой плантации с высокой частотой представителя рода *Ilarvirus* – вируса мозаики яблони (ArMV). Частота встречаемости патогена составила 65,2 %. При этом у сорта Брянский 10 из 12 обследованных растений демонстрировали положительную реакцию. В группу инфицированных проб попали как бессимптомные растения, так и с признаками визуального поражения с характерными кольцевыми пятнами и дугами, формирующими рисунок в виде «дубовых листьев».

Известно, что ArMV имеет широкий круг хозяев и способен инфицировать более 65 видов из 19 семейств, в том числе хмель. Вирус широко распространен по всему миру (США, Австралия, Европа). Так в Австралии при обследовании 5 плантаций хмеля 85...100 % проб оказались зараженными, в Новой Зеландии частота пораженных растений достигала 81 %, а в Чехии – от 6 до 100 % [19]. Зараженные хмельники снижали урожайность и уровень горьких кислот. Установлено, что распространение ArMV на хмельниках обычно происходит медленно и зависит от сорта [5], что подтверждено нашими исследованиями. Частоты поражения проб у сортов Брянский и Magnum, выращиваемых на одной плантации, различались почти вдвое. Растения с выраженными симптомами поражения вирусом ArMV следует удалять с плантации. Так как вирус мозаики яблони распространяется преимущественно механически, то в процессе выполнения агротехнических мероприятий, связанных с обрезкой, необходимо соблюдать меры предосторожности, чтобы исключить перенос инфекции на другие сорта и хмельники.

Зараженность растений другим вредоносным для хмеля патогеном – *Hop mosaic virus* – диагностирована у сорта Magnum с частотой 27,3 %. Негативное воздействие вируса может проявляться в отставании в росте, падении с опорной струны, снижении урожая шишек [5]. При обследовании плантации типичных симптомов мозаики хмеля у инфицированных образцов этого сорта не обнаружено. Аналогичную ситуацию наблюдали ранее в 2022 г. при мониторинге соседнего хмельника. Сорт Magnum был бессимптомно поражен на уровне 13,3 % наряду с сортами Northern Brewer и Смолистый, а сорт Брянский не поражен [20].

Из группы второстепенных вирусов оба сорта поражаются вирусом латентной кольцевой пятнистости земляники (21,7 % проб), а сорт Брянский – вирусом мозаики люцерны (8,3 %). Эти патогены были также обнаружены на план-

тации, обследованной ранее, однако частота проявления вируса SLRSV существенно превышала результаты этого исследования. Так сорт Magnum поражен на 100 %, а Брянский – на уровне 60,0 % [20].

Оценка материала методом ОТ-ПЦР-РВ на присутствие сопутствующих вирусов, распространенных на картофеле, выявила 4 патогена (PVM, PVS, PVY, PLRV), встречающихся с различной частотой (табл. 2). Все пробы были инфицированы вирусом PVY – одним из наиболее агрессивных патогенов, поражающих пасленовые. Тот факт, что PVY передается посредством 65 различных видов тли неперсистентным способом, осложняет его контроль и профилактику. Массовое присутствие патогена в изученном материале, вероятно, связано с распространением общего переносчика инфекции – зеленой персиковой тли (*Myzus persicae* Sulzer) [5].

Вирусы картофеля A (*Potato virus A*), X (*Potato virus X*), и Вироид веретеновидности клубней картофеля (*Potato spindle tuber viroid*) не обнаружены. Аналогичную ситуацию наблюдали в 2022 г. [20].

Таблица 2. Результаты диагностики сортового хмеля на зараженность вирусами методом ОТ-ПЦР-РВ (Майминский район, 2023 г.)

Сорт	Проверено растений		Инфицировано вирусами, %				$\chi^2_{\text{факт}}$ *
	всего, шт.	инфицировано, %	PVM	PVS	PVY	PLRV	
Брянский	16	100	25,0	75,0	100	50,0	8,00
Magnum	18	100	0	33,3	100	50,0	20,45
Всего	34	100	26,5	52,9	100	50,0	12,08

* $\chi^2_{0,5} = 7,78$.

Фитосанитарная обстановка в хмельниках Чарышского района оказалась более благоприятной. Ни один из наиболее экономически важных и несистемных вирусов, распространенных повсеместно, на хмеле не был выявлен. Тем не менее, сопутствующие патогены, распространенные на других культурах, присутствовали в большом количестве с частотой от 20,0 до 100 % в зависимости от вируса и сорта (табл. 3).

В отличие от хмельников Майминского района на плантации Чарышского района не удалось диагностировать вирус картофеля М. В то же время, были обнаружены вирусы PVX и PVA, о случаях заражения которыми, согласно нашим данным, до сегодняшнего дня не было известно. Преобладающим в изученном материале по-прежнему выступал PVY.

Аналогично результатам ранее выполненного исследования [20] большинство обнаруженных инфекций присутствовали в сортовом материале в комплексе от 2 до 5 видов. Стратегию борьбы со смешанными инфекциями необходимо разрабатывать, учитывая характер взаимоотношений патогенов, что требует выполнения специальных исследований. Наиболее тяжелая ситуация может сложиться в случае положительного синергизма разных видов, присутствующих в патогенном комплексе. Вместе с тем, отрицательная интерференция может способствовать ослаблению вредного воздействия.

Таблица 3. Результаты диагностики сортового хмеля на зараженность вирусами методом ОТ-ПЦР-РВ (Чарышский район, 2023 г.)

Сорт	Проверено растений		Инфицировано вирусами, %					$\chi^2_{\text{факт}}$ *
	всего, шт.	инфицировано, %	PVX	PVA	PVS	PVY	PLRV	
Подвязный	25	100	20,0	0	40,0	80,0	80,0	29,09
Флагман	20	100	40,0	40,0	20,0	100	60,0	14,12
Всего	45	100	28,9	17,8	31,1	88,9	71,1	30,43

* $\chi^2_{0,5} = 9,49$.

Таблица 4. Результаты диагностики сорных растений на зараженность вирусами методом ОТ-ПЦР-РВ (2023 г.)

Вид	Инфицировано растений, %	Инфицировано вирусами, %				
		PVM	PVX	PVS	PVY	PLRV
Майминский район						
Осот полевой	100	0	12,2	0	100	62,5
Звездчатка средняя	0	0	0	0	0	0
Щирица запрокинутая	0	0	0	0	0	0
Пикульник						
двунадрезанный	80,0	0	0	0	80,0/8	0
Вьюнок полевой	87,5	0	0	0	62,5	87,5
Марь белая	100	0	0	100	0	0
Бодяк щетинистый	50,0	0	0	0	0	50,0
Всего	59,3	0	1,7	13,6	35,6	32,2
$\chi^2_{\text{факт}}$ *		66,77				
Чарышский район						
Горошек мышиный	100	0	0	37,5	100	0
Люцерна хмелевидная	14,3	14,3	0	0	0	0
Просвирник приземистый	100	11,1	0	33,3	100	0
Вьюнок полевой	70,0	0	0	0	60,0	70,0
Марь белая	75,0	0	0	25,0	0	75,0
Клевер луговой	0	0	0	0	0	0
Всего	63,3	4,1	0	16,3	46,9	26,5
$\chi^2_{\text{факт}}$ *		59,34				

* $\chi^2_{0,5} = 21,03$

В накоплении и распространении вирусов в био- и агроценозах наряду с бессимптомными или слабо поражаемыми растениями-хозяевами большую роль играют сорные растения, выступающие природными резервуарами различных инфекций. Так, например, несмотря на то, что хозяевами вируса мозаики хмеля служат представители рода *Humulus* L., в Великобритании его обнаруживали в растениях *Urtica urens* L., а в Германии – в *Polygonum aviculare* L., *Stellaria media* (L.) Vill., *Chenopodium album* L., *Plantago major* L. [5].

На хмелевой плантации Майминского района преобладающая сорная растительность включала 7 видов, Чарышского района – 6 видов (табл. 4).

Диагностика 108 образцов на зараженность сопутствующими вирусами, многие из которых присутствовали в сортовом материале, выявила их наличие в более половине проб. У некоторых видов частота пораженных растений достигала 100 % (осот полевой, марь белая, горошек мышиный, просвирник приземистый). Вместе с тем, в материале трех видов инфекция не обнаружена (звездчатка средняя, щирица запрокинутая, клевер луговой).

Наиболее распространенным вирусом независимо от района исследования оказался PVY, частота встречаемости которого составила 35,6 и 46,9 %. Как указано выше, этот патоген превалировал и в сортовом материале в обеих локациях. Аналогичным образом выглядит ситуация с вирусом PLRV, который диагностирован в 32,2 и

26,5 % случаев. Исключение составили вирусы PVX и PVM для хмельников Майминского и Чарышского районов, соответственно, которые не были обнаружены ни в одном из культивируемых на этих территориях сортах. Во всех инфицированных видах сорных растений преобладали смешанные инфекции, включающие 2...3 патогена. Например, осот полевой был резервантом вирусов PVX, PVY и PLRV, а просвирник приземистый объединял вирусы PVM, PVS и PVY.

Оценка сорных растений обеих локаций методом ИФА на зараженность наиболее вредоносными (HrMV, ArMV, ArMV) и несистемными вирусами (SLRSV, AMV, TNV, TMV, PetAMV, CMV), в том числе

обнаруженными в пробах изученных сортов, дала отрицательные результаты. Этот факт следует рассматривать как положительный, поскольку исключает роль этих растений в качестве накопителей нежелательной инфекции.

Выводы. Зараженность сортов хмеля (Брянский, Флагман, Magnum, Подвязный) различными вирусами варьировала от 63,6 до 100 %. В хмельниках Майминского района выявлены экономически опасные для хмеля патогены – ArMV и HrMV – с частотой 83,3 и 45,5 % соответственно. Среди сопутствующих вирусов наибольшее распространение получили PVY (100 %), PVS (52,9 %) и PLRV (50,0 %). Вирусы ArMV, PetAMV, CMV, TMV и TNV не обнаружены. В хмельниках Чарышского района ни один из наиболее опасных вирусов хмеля не выявлен. В фитопатогенном комплексе преобладали вирусы PVY, PLRV и PVS с частотой соответственно 88,9, 71,1 и 31,1 %. Вирусы мозаики картофеля PVX и PVA обнаружены на хмеле впервые. В материале сорных растений, доминирующих на хмелевых плантациях, обнаружено наличие 1...3 вирусов с преобладанием PVY с частотой от 35,6 (Майминский район) до 46,9 % (Чарышский район). Частота пораженных растений осота полевого, мари белой, горошка мышиного и просвирника приземистого достигала 100 %. В растениях звездчатки средней, щирицы запрокинутой и клевера лугового инфекция не выявлена. Экономически опасные патогены хмеля в сорных видах не обнаружены.

Литература.

1. Encyclopedia of plant viruses and viroids / K. S. Sastry, B. Mandal, J. Hammond, et al. New Delhi, India: Springer Nature India Private Limited, 2019. 2936 p. doi: 10.1007/978-81-322-3912-3.
2. Gaur R. K., Selvarajan R., Patil B. L. Plant RNA viruses: Molecular pathogenesis and management. New Delhi, India: Academic Press, 2023. 666 p. doi: 10.1016/C2021-0-02584-0.
3. In vitro technology at the US potato Genebank / J. Bamberg, M. Martin, J. Abad, et al. // In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant. 2016. Vol. 52. No. 3. P. 213–225. doi: 10.1007/s11627-016-9753-x.
4. Top 10 plant viruses in molecular plant pathology / K. B. Scholthof, S. Adkins, H. Czosnek, et al. // Molecular Plant Pathology. 2011. Vol. 12. No. 9. P. 938–954. doi: 10.1111/J.1364-3703.2011.00752.X.
5. Viruses and viroids infecting hop: Significance, epidemiology, and management / S. J. Pethybridge, F. S. Ha, D. J. Barbara, et al. // Plant Disease. 2008. Vol. 92. No. 3. P. 324–338. doi: 10.1094/PDIS-92-3-0324.
6. Effect of virus infection on the secondary metabolite production and phytohormone biosynthesis in plants / J. Mishra, R. Srivastava, P. K. Trivedi, et al. // 3 Biotech. 2020. Vol. 10. Article 547. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13205-020-02541-6> (дата обращения: 24.11.2023). doi: 10.1007/s13205-020-02541-6.
7. A survey on pests and diseases of Italian Hop crops / E. Gargani, L. Ferretti, F. Faggioli, et al. // Italus Hortus. 2017. Vol. 24. No. 2. P. 1–17. URL: https://www.soihs.it/italushortus/review_32_anno_24_2017_numero_2/a_survey_on_pests_and_diseases_of_italian_hop.aspx (дата обращения: 26.11.2023). doi: 10.26353/italhort/2017.2.117.

8. Yu J., Liu Y. The occurrence of three viruses in hop (*Humulus lupulus* L.) in China // *Plant Pathology*. 1987. Vol. 36. P. 38–44. doi: 10.1111/j.1365-3059.1987.tb02175.x.
9. The economic impact of hop stunt viroid and certified clean planting materials / T. J. Davis, M. I. Gomez, S. J. Harper, et al. // *Hortscience*. 2021. Vol. 56. No. 12. P. 1471–1475. doi: 10.21273/HORTSCI15975-21.
10. Hop stunt viroid: Effects on vegetative growth and yield of hop cultivars, and its distribution in central Washington State / M. Kappagantu, M. E. Nelson, J. M. Bullock, et al. // *Plant Disease*. 2017. Vol. 101. P. 607–612. doi: 10.1094/PDIS-06-16-0884-RE.
11. Vegetative propagation and its possible role as a genetic bottleneck in the shaping of the Apple fruit crinkle viroid populations in apple and hop plants / T. Sano, S. Isono, K. Matsuki, et al. // *Virus Genes*. 2008. Vol. 37. P. 298–303. doi: 10.1007/s11262-008-0270-9.
12. The influence of hop latent viroid (HLVd) infection on gene expression and secondary metabolite contents in hop (*Humulus lupulus* L.) glandular trichomes / J. Patzak, A. Henychova, K. Krofta, et al. // *Plants*. 2021. Vol. 10. No. 11. Article 2297. URL: https://www.mdpi.com/2223-7747/10/11/2297/review_report (дата обращения: 24.11.2023). doi: 10.3390/plants10112297.
13. Deep-sequencing revealed Citrus bark cracking viroid (CBCVd) as a highly aggressive pathogen on hop / J. Jakse, S. Radisek, T. Pokorn, et al. // *Plant Pathology*. 2015. Vol. 64. No. 4. P. 831–842. doi: 10.1111/ppa.12325.
14. Evaluation of disease severity and global transcriptome response induced by Citrus bark cracking viroid, Hop latent viroid, and their co-infection in hop (*Humulus lupulus* L.) / N. Stajner, S. Radisek, A.K. Mishra, et al. // *International Journal of Molecular Sciences*. 2019. Vol. 20. No. 13. Article 3154. URL: <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/13/3154> (дата обращения: 23.11.2023). doi: 10.3390/ijms20133154.
15. Sano T. History, origin, and diversity of hop stunt disease and Hop stunt viroid // *Acta Horticulturae*. 2013. Vol. 1010. P. 87–96. doi: 10.17660/ActaHortic.2013.1010.9.
16. Identification and characterization of microRNAs in *Humulus lupulus* using high-throughput sequencing and their response to Citrus bark cracking viroid (CBCVd) infection / A. K. Mishra, G. S. Duraisamy, J. Matousek, et al. // *BMC Genomics*. 2016. Vol. 7. Article 919. URL: <https://bmcbgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12864-016-3271-4> (дата обращения: 24.11.2023). doi: 10.1186/s12864-016-3271-4.
17. One-step multiplex RT-PCR for simultaneous detection of four viroids from hop (*Humulus lupulus* L.) / T. Gucek, J. Jakse, J. Matousek, et al. // *European Journal of Plant Pathology*. 2019. Vol. 154. P. 273–286. doi: 10.1007/s10658-018-01654-2.
18. Леонтьева В. В. Биохимическая характеристика сортов хмеля, возделываемых в Чувашской Республике // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2020. № 3. С. 17–19. doi: 10.24411/2587-6740-2020-13042.
19. Apple mosaic virus / L. Grimova, L. Winkowska, M. Konrady, et al. // *Phytopathologia Mediterranea*. 2016. Vol. 55. No. 1. P. 1–19. URL: <https://oajournals.fupress.net/index.php/pm/article/view/5645> (дата обращения: 24.11.2023). doi: 10.14601/Phytopathol_Mediterr-16295.
20. Распространенность вирусов в производственных насаждениях хмеля в предгорье Алтая / Л. П. Хлебцова, Е. С. Бровко, О. В. Бычкова и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36. № 12. С. 35–39. doi: 10.53859/02352451_2022_36_12_35.

References

1. Sastry KS, Mandal B, Hammond J, et al. *Encyclopedia of plant viruses and viroids*. New Delhi (India): Springer Nature India Private Limited; 2019. 2936 p. doi: 10.1007/978-81-322-3912-3.
2. Gaur RK, Selvarajan R, Patil BL. *Plant RNA viruses: Molecular pathogenesis and management*. New Delhi (India): Academic Press; 2023. 666 p. doi: 10.1016/C2021-0-02584-0.
3. Bamberg J, Martin M, Abad J, et al. In vitro technology at the US potato Genebank. *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant*. 2016;52(3):213-25. doi: 10.1007/s11627-016-9753-x.
4. Scholthof KB, Adkins S, Czosnek H, et al. Top 10 plant viruses in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*. 2011;12(9):938-54. doi: 10.1111/J.1364-3703.2011.00752.X.
5. Pethybridge SJ, Ha FS, Barbara DJ, et al. Viruses and viroids infecting hop: significance, epidemiology, and management. *Plant Disease*. 2008;92(3):324-38. doi: 10.1094/PDIS-92-3-0324.
6. Mishra J, Srivastava R, Trivedi PK, et al. Effect of virus infection on the secondary metabolite production and phytohormone biosynthesis in plants. *3 Biotech [Internet]*. 2020 [cited 2023 Nov 24];10(12): Article 547. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13205-020-02541-6>. doi: 10.1007/s13205-020-02541-6.
7. Gargani E, Ferretti L, Faggioli F, et al. A survey on pests and diseases of Italian hop crops. *Italus Hortus [Internet]*. 2017 [cited 2023 Nov 26];24(2):1-17. Available from: https://www.soihs.it/italushortus/review_32_anno_24_2017_numero_2/a_survey_on_pests_and_diseases_of_italian_hop.aspx. doi: 10.26353/j.ithort/2017.2.117.
8. Yu J, Liu Y. The occurrence of three viruses in hop (*Humulus lupulus* L.) in China. *Plant Pathology*. 1987;36:38-44. doi: 10.1111/j.1365-3059.1987.tb02175.x.
9. Davis TJ, Gomez MI. The economic impact of hop stunt viroid and certified clean planting materials. *Hortscience*. 2021;56(12):1471-5. doi: 10.21273/HORTSCI15975-21.
10. Kappagantu M, Nelson ME, Bullock JM, et al. Hop stunt viroid: Effects on vegetative growth and yield of hop cultivars, and its distribution in central Washington State. *Plant Disease*. 2017;101:607-12. doi: 10.1094/PDIS-06-16-0884-RE.
11. Sano T, Isono S, Matsuki K, et al. Vegetative propagation and its possible role as a genetic bottleneck in the shaping of the Apple fruit crinkle viroid populations in apple and hop plants. *Virus Genes*. 2008;37:298-303. doi: 10.1007/s11262-008-0270-9.
12. Patzak J, Henychova A, Krofta K, et al. The influence of hop latent viroid (HLVd) infection on gene expression and secondary metabolite contents in hop (*Humulus lupulus* L.) glandular trichomes. *Plants [Internet]*. 2021 [cited 2023 Nov 24];10(11): Article 2297. Available from: https://www.mdpi.com/2223-7747/10/11/2297/review_report. doi: 10.3390/plants10112297.
13. Jakse J, Radisek S, Pokorn T, et al. Deep-sequencing revealed Citrus bark cracking viroid (CBCVd) as a highly aggressive pathogen on hop. *Plant Pathology*. 2015;64(4):831-42. doi: 10.1111/ppa.12325.
14. Stajner N, Radisek S, Mishra AK, et al. Evaluation of disease severity and global transcriptome response induced by Citrus bark cracking viroid, Hop latent viroid, and their co-infection in hop (*Humulus lupulus* L.). *International Journal of Molecular Sciences. [Internet]*. 2019 [cited 2023 Nov 23];20(13): Article 3154. Available from: <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/13/3154>. doi: 10.3390/ijms20133154.
15. Sano T. History, origin, and diversity of hop stunt disease and Hop stunt viroid. *Acta Horticulturae*. 2013;1010:87-96. doi: 10.17660/ActaHortic.2013.1010.9.
16. Mishra AK, Duraisamy GS, Matousek J, et al. Identification and characterization of microRNAs in *Humulus lupulus* using high-throughput sequencing and their response to Citrus bark cracking viroid (CBCVd) infection. *BMC Genomics. [Internet]*. 2016 [cited 2023 Nov 24]; Article 919. Available from: <https://bmcbgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12864-016-3271-4>. doi: 10.1186/s12864-016-3271-4.
17. Gucek T, Jakse J, Matousek J, et al. One-step multiplex RT-PCR for simultaneous detection of four viroids from hop (*Humulus lupulus* L.). *European Journal of Plant Pathology*. 2019;154:273-86. doi: 10.1007/s10658-018-01654-2.
18. Leontyeva VV [Biochemical characteristics of hop varieties cultivated in the Chuvash Republic]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal*. 2020;(3):17-9. Russian. doi: 10.24411/2587-6740-2020-13042.
19. Grimova L, Winkowska L, Konrady M, et al. Apple mosaic virus. *Phytopathologia Mediterranea [Internet]*. 2016 [cited 2023 Nov 24];55(1):1-19. Available from: <https://oajournals.fupress.net/index.php/pm/article/view/5645>. doi: 10.14601/Phytopathol_Mediterr-16295.
20. Khlebova LP, Brovko ES, Bychkova OV, et al. [The prevalence of viruses in hop industrial plantations in the foothills of Altai]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2022;36(12):35-9. Russian. doi: 10.53859/02352451_2022_36_12_35.