

Вирус штриховатой мозаики ячменя – опасный патоген, влияющий на экспортный потенциал Российской Федерации

Н.А. ХОРИНА¹, А.А. ЛОПАТКИН², Т.С. ЖИВАЕВА³,
Ю.Н. ПРИХОДЬКО⁴, Ю.А. ШНЕЙДЕР⁵

¹ Приморский филиал ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений» (ФГБУ «ВНИИКР»), г. Владивосток, Россия

² ООО «ПарсекЛаб», г. Москва, Россия

^{3,4,5} ФГБУ «ВНИИКР», р. п. Быково, г. Раменское, Московская обл., Россия

¹ e-mail: nkhorina83@yandex.ru

² e-mail: lopatkin86@mail.ru

³ e-mail: zhivaeva.vniikr@mail.ru

⁴ e-mail: prihodko_yuri59@mail.ru

⁵ ORCID 0000-0002-7565-1241,
e-mail: yury.shneyder@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Экспорт зерновых культур – важная часть экономики России. В связи с международным продовольственным кризисом зерновые становятся стратегическим сырьем. Урожайность зерновых культур зависит от многих факторов, в том числе от качества семенного материала и устойчивости растений к многочисленным заболеваниям. Вирус штриховатой мозаики ячменя является опасным заболеванием, поражающим зерновые культуры, ячмень и пшеницу, а в экспериментальных условиях – ряд других растений семейств Мятликовые (Poaceae) и Амарантовые (Amaranthaceae). Этот вирус входит в перечни карантинных вредных организмов многих стран – импортеров российского зерна, в том числе лидеров по импорту – Турции и Египта. Целью наших исследований являлась оценка методов диагностики и сравнение результатов, полученных как в ходе оценки применимости, так и с реальными растительными образцами, собранными в процессе научного мониторинга. В статье представлен обзор, краткая характеристика вируса, его особенности, а также результаты апробации современных методов выявления и идентификации. В ходе испытаний тест-систем использовали положительные контроли и референтные изоляты вирусов, поражающих зерновые культуры и потенциально затрудняющих диагностику из-за ложноположительных результатов.

Результаты оценки специфичности и чувствительности тест-системы для иммуноферментного анализа показали высокую чувствительность и специфичность со всеми исследуемыми в экспериментах вирусами, в связи с чем было принято решение провести скрининг-тестирование отобранных в ходе изучения фитосанитарного состояния посевов зерновых культур. Было выявлено большое количество сероположительных образцов, которые в дальнейшем подвергали тестированию

Barley stripe mosaic virus – a serious pathogen affecting the export potential of the Russian Federation

N.A. KHORINA¹, A.A. LOPATKIN², T.S. ZHIVAEVA³,
YU.N. PRIKHODKO⁴, YU.A. SHNEYDER⁵

¹ Primorsky branch of FGBU “All-Russian Plant Quarantine Center” (FGBU “VNIICR”), Vladivostok, Russia

² Parseq Lab, Moscow, Russia

^{3,4,5} FGBU “VNIICR”, Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia

¹ e-mail: nkhorina83@yandex.ru

² e-mail: lopatkin86@mail.ru

³ e-mail: zhivaeva.vniikr@mail.ru

⁴ e-mail: prihodko_yuri59@mail.ru

⁵ ORCID 0000-0002-7565-1241,
e-mail: yury.shneyder@mail.ru

ABSTRACT

The export of grain crops is an important part of the Russian economy. In connection with the international food crisis, grains are becoming a strategic raw material. The yield of grain crops depends on many factors, including the quality of seed material and plant resistance to numerous diseases. Barley stripe mosaic virus is a serious disease affecting grain crops, barley and wheat, and in experimental conditions – some other Poaceae and Amaranthaceae plants. This virus is included in the quarantine pest lists of many countries importing Russian grain, including the leaders in imports – Turkey and Egypt. The purpose of our studies was to evaluate diagnostic methods and compare the results obtained both during the applicability assessment and with real plant samples collected during scientific monitoring. The article presents an overview, a brief description of the virus, its peculiarities, as well as the results of testing modern detection and identification methods. During testing of test systems, positive controls and reference isolates of viruses that infect crops and potentially complicate diagnosis due to false positive results were used.

The results of assessing the specificity and sensitivity of the test system for enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) showed high sensitivity and specificity with all the viruses studied in the experiments, and therefore it was decided to conduct screening testing of grain crops selected during the study of the phytosanitary state of crops. A large number of seropositive samples were identified, which were subsequently subjected to testing by molecular methods – Russian test kits for the polymerase chain reaction (PCR). The test results showed that all seropositive samples did

молекулярными методами – тест-наборами для полимеразной цепной реакции (ПЦР) отечественного производства. Результаты тестирования показали, что во всех сероположительных образцах не подтвердилось наличие целевого вируса, в связи с чем необходимо провести дополнительное исследование причин ложноположительных реакций.

Ключевые слова. Barley stripe mosaic virus, карантин растений, экспорт, злаки, ячмень, пшеница, штриховатая мозаика ячменя, BSMV.

ВВЕДЕНИЕ

Российская Федерация традиционно является одним из ведущих экспортеров зерновых культур в мире. Российское зерно экспортируется более чем в 130 стран мира. Согласно данным Федеральной таможенной службы, основными покупателями зерна российского происхождения в последние годы являются Турция, Египет, Иран, Саудовская Аравия, Бангладеш, Азербайджан, Судан, Нигерия, Казахстан, Грузия, Ливия, Израиль, Иордания (<http://stat.customs.ru>).

В 2019 г. российскими аграриями было собрано 121,2 млн т зерна (74,4 млн т пшеницы, 20,5 млн т ячменя, 14,2 млн т кукурузы), в рекордном 2020-м – 133,5 млн т зерна (85,9 млн т пшеницы, 20,9 млн т ячменя, 13,9 млн т кукурузы), в 2021-м – 121,4 млн т зерна (76,1 млн т пшеницы, 18,0 млн т ячменя, 15,2 млн т кукурузы) (<https://rosstat.gov.ru>, <http://www.fao.org>).

На экспорт в 2019 г. было отправлено 39,4 млн т зерна (31,9 млн т пшеницы и 3,94 млн т ячменя), в 2020-м – 48,61 млн т (38,4 млн т пшеницы и 6,00 млн т ячменя), в 2021-м – 42,9 млн т (32,5 млн т пшеницы и 5,1 млн т ячменя), что составляет не менее 35% от общего собранного урожая (<https://rosstat.gov.ru>, <http://stat.customs.ru>).

Зерновые культуры – высоколиквидный товар на внешнем рынке. Доходы России от экспорта всех зерновых культур в 2019–2021 гг. составили около 30 млрд долларов США. Экспортный потенциал напрямую зависит от урожайности зерновых культур (Гребенников и др., 2020). Одним из факторов, снижающих урожайность и валовые сборы зерна, является заражение многочисленными грибными, бактериальными и вирусными болезнями. При поражении вирусами угнетаются растения, снижается качество и количество получаемого урожая, а ослабление растений способствует их восприимчивости к заражению другими фитопатогенами. Наибольшую потенциальную опасность представляют вирусы, передающиеся семенами растений-хозяев. Такие вирусы сохраняются в зерне в латентной форме, что при отсутствии контроля способствует перемещению вируса на дальние расстояния. При посеве зараженных семян из них развиваются ослабленные растения, которые в дальнейшем дают меньший урожай или вовсе погибают. Кроме этого, при посеве зараженных семян вирусы

not confirm the presence of the target virus, and therefore it is necessary to conduct additional research into the causes of false positive reactions.

Key words. Barley stripe mosaic virus, plant quarantine, export, cereals, barley, wheat, barley stripe mosaic, BSMV.

INTRODUCTION

The Russian Federation is traditionally one of the leading exporters of grain crops in the world. Russian grain is exported to more than 130 countries of the world. According to the Federal Customs Service, the main buyers of grain of Russian origin in recent years are Turkey, Egypt, Iran, Saudi Arabia, Bangladesh, Azerbaijan, Sudan, Nigeria, Kazakhstan, Georgia, Libya, Israel, Jordan (<http://stat.customs.ru>).

In 2019, Russian farmers harvested 121.2 million tons of grain (74.4 million tons of wheat, 20.5 million tons of barley, 14.2 million tons of corn), in the record 2020 – 133.5 million tons of grain (85.9 million tons of wheat, 20.9 million tons of barley, 13.9 million tons of corn), in 2021 – 121.4 million tons of grain (76.1 million tons of wheat, 18.0 million tons of barley, 15.2 million tons of corn) (<https://rosstat.gov.ru>, <http://www.fao.org>).

In 2019, 39.4 million tons of grain were sent for export (31.9 million tons of wheat and 3.94 million tons of barley), in 2020 – 48.61 million tons (38.4 million tons of wheat and 6.00 million tons of barley), in 2021 – 42.9 million tons (32.5 million tons of wheat and 5.1 million tons of barley), which is at least 35% of the total harvested crop (<https://rosstat.gov.ru>, <http://stat.customs.ru>).

Cereal crops are highly liquid goods on the foreign market. Russia's income from the export of all grain crops in 2019–2021 amounted to about 30 billion US dollars. The export potential depends directly on the yield of grain crops (Grebennikov et al., 2020). One of the factors that reduces the yield and gross harvest of grain is infection with numerous fungal, bacterial and viral diseases. When affected by viruses, plants are inhibited, the quality and quantity of the crop is reduced, and the weakening of plants contributes to their susceptibility to infection by other phytopathogens. Viruses transmitted by the seeds of host plants pose the greatest potential threat. Such viruses remain in the grain in a latent form, which, if not controlled, contributes to the movement of the virus over long distances. When sowing infected seeds, weakened plants develop from them, which later give a smaller yield or even die. In addition, when infected seeds are sown, viruses are

распространяются горизонтально – механически, с помощью насекомых-переносчиков или прочих векторов.

Высококчувствительные методы диагностики фитопатогенных вирусов являются основой отбора здорового семенного материала и решают потенциальные проблемы при совершении экспортно-импортных операций с зерном. В ФГБУ «ВНИИКР» проводятся исследования по выявлению и идентификации вирусов зерновых культур, влияющих на экспортный потенциал Российской Федерации, а также разработка методов их молекулярно-генетической идентификации и дифференциации (Лопаткин и др., 2020; Zvyaginseva et al., 2021).

Одним из опасных патогенов зерновых является вирус штриховатой мозаики ячменя (Barley stripe mosaic virus, BSMV). Впервые это заболевание, отмеченное в 1910 г. в США в штате Висконсин, было описано как ложная штриховатость ячменя («ложная полосатая мозаика»). Оно считалось непаразитарным. Только спустя 40 лет, в 1951 г. Мак-Кинни доказал вирусную природу заболевания, в 1954 г. Хадборг подтвердил эти данные (Крылов и др., 1980).

Согласно литературным источникам, на территории бывшего СССР штриховатая мозаика ячменя была выявлена в 1960 г. в Московской области. В последующие годы регистрировались случаи обнаружения этого заболевания в Ленинградской, Оренбургской, Самарской, Свердловской, Тамбовской, Ульяновской областях, а также в Алтайском, Краснодарском и Приморском краях (Герасимов, 1966; Макеева, Богоутдинов, 1993; Богоутдинов и др., 2017; Какарека и др., 2020). В Приморье, по информации ряда исследователей, BSMV является наиболее широко распространенным вирусом зерновых культур и ежегодно поражает около трети посевов ячменя и пшеницы (Какарека и др., 2020). В последнее время массовых обследований посевов зерновых не проводилось, поэтому точных данных о распространении патогена нет.

Согласно данным Европейской и Средиземноморской организации по карантину и защите растений (ЕОКЗР) BSMV официально зарегистрирован в следующих странах:

Африка: Египет, ЮАР, Тунис;

Америка: Аргентина, Бразилия, Канада, Мексика, Перу, США;

Азия: Китай, Израиль, Япония, Иордания, Республика Корея, Ливан, Пакистан, Сирия, Тайвань;

Европа: Болгария, Чехия, Дания, Греция, Венгрия, Молдавия, Польша, Португалия, Румыния, Россия, Сербия, Словакия, Словения, Швейцария, Украина;

Океания: Австралия, Новая Зеландия (<https://gd.eppo.int>).

С 1975 по 1999 г. BSMV входил в Перечень карантинных организмов ЕОКЗР, но затем был исключен из этого перечня в связи с широкой распространенностью. Однако во многих странах мира штриховатая мозаика ячменя является карантинным объектом, в том числе и странах – импортерах российского зерна: Бахрейн, Египет – Список A2, Турция, Чили, Уругвай, Иордания, Грузия, Бразилия, Узбекистан – карантинный организм, отсутствующий на территории стран (A1). В Израиле BSMV включен в карантинный перечень (<https://gd.eppo.int>).

spread horizontally – mechanically, with the help of insect vectors or other vectors.

Highly sensitive methods for diagnosing phytopathogenic viruses are the basis for the selection of healthy seed material and solve potential problems when performing export-import operations with grain. FGBU “VNIICR” conducts research on the detection and identification of crop viruses that affect the export potential of the Russian Federation, as well as the development of methods for their molecular genetic identification and differentiation (Lopatkin et al., 2020; Zvyaginseva et al., 2021).

One of the serious grain crops pathogens is barley stripe mosaic virus (BSMV). This disease, noted in 1910 in the USA in the state of Wisconsin, was first described as false barley stripes (“false striped mosaic”). It was considered non-parasitic. It was only 40 years later, in 1951, when McKinney proved the viral nature of the disease, in 1954 Hadborg confirmed these data (Krylov et al., 1980).

According to literary sources, barley stripe mosaic was detected in the territory of the former USSR in 1960 in Moscow Oblast. In subsequent years, cases of detection of this disease were recorded in the Leningrad Oblast, Orenburg Oblast, Samara Oblast, Sverdlovsk Oblast, Tambov Oblast, Ulyanovsk Oblast, as well as in Altai Krai, Krasnodar Krai and Primorsky Krai (Gerasimov, 1966; Makeeva, Bogoutdinov, 1993; Bogoutdinov et al., 2017; Kakareka et al., 2020). In Primorye, according to some researchers, BSMV is the most widespread virus in grain crops and annually infects about a third of barley and wheat crops (Kakareka et al., 2020). Recently, mass surveys of grain crops have not been carried out, so there is no accurate data on the spread of the pathogen.

According to the European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO), BSMV is officially reported in the following countries:

Africa: Egypt, South Africa, Tunisia;

America: Argentina, Brazil, Canada, Mexico, Peru, USA;

Asia: China, Israel, Japan, Jordan, Republic of Korea, Lebanon, Pakistan, Syria, Taiwan;

Europe: Bulgaria, Czech Republic, Denmark, Greece, Hungary, Moldova, Poland, Portugal, Romania, Russia, Serbia, Slovakia, Slovenia, Switzerland, Ukraine;

Oceania: Australia, New Zealand (<https://gd.eppo.int>).

From 1975 to 1999, BSMV was included in the EPPO Quarantine Pest List, but then was removed from it due to its widespread occurrence. However, in many countries, BSMV is a quarantine pest, including countries importing Russian grain: Bahrain, Egypt – List A2, Turkey, Chile, Uruguay, Jordan, Georgia, Brazil, Uzbekistan – a quarantine pest, absent in the territory of the country (A1). In Israel, BSMV is on the quarantine list (<https://gd.eppo.int>).

The main host plants for BSMV are barley (*Hordeum vulgare*) and wheat (*Triticum aestivum*, *Triticum durum*) (<https://gd.eppo.int>). More rarely, the infection occurs on oats (*Avena sativa*) (McKinney, Greeley,

Основными растениями – хозяевами BSMV являются ячмень (*Hordeum vulgare*) и пшеница (*Triticum aestivum*, *Triticum durum*) (<https://gd.eppo.int>). Реже инфекция встречается на овсе (*Avena sativa*) (McKinney, Greeley, 1965; Atabekov, Novikov, 1989; Jackson et al., 2009). В Приморском крае BSMV идентифицирован в качестве возбудителя хлоротической полосатости кукурузы, что является первым случаем выявления этого вируса на данной культуре (Гапека и др., 2018; Gapeka et al., 2018). Также в Приморском крае вирус штриховатой мозаики был выявлен на растениях пырея ползучего (*Elytrigia repens*) и щетинника низкого (*Setaria pumila*) (Gapeka et al., 2018). По данным ЕОКЗР, в экспериментальных условиях BSMV заражает овес пустой (*Avena fatua*), рожь (*Secale cereale*), кукурузу (*Zea mays*), рис (*Oryza sativa*), сорго (*Sorghum bicolor*), просо (*Panicum miliaceum*), марь (*Chenopodium album*, *Chenopodium giganteum*), киноа (*Chenopodium quinoa*), шпинат (*Spinacia oleracea*), свеклу (*Beta vulgaris*) и табак (*Nicotiana tabacum*) (<https://gd.eppo.int>).

Вирус штриховатой мозаики ячменя является типовым видом рода *Hordeivirus* (Hamilton, Jackson, 1995) семейства Virgaviridae. Частицы BSMV представляют собой жесткие палочковидные вирионы диаметром около 20 нм и длиной от 100 до 150 нм в зависимости от размера инкапсулируемой РНК. Молекулярная масса наиболее крупных вирусных частиц составляет около 26 кДа, при этом единственный белок оболочки имеет молекулярную массу около 22 кДа (Atabekov, Novikov, 1989; Adams et al., 2011). У вирионов BSMV отчетливо просматривается осевой канал, имеющий диаметр около 3–4 нм, и спиральная структура с шагом спирали 2,5–2,6 нм (Gibbs et al., 1963). Геном BSMV, как и у других представителей рода *Hordeivirus*, состоит из трех молекул однонитевой РНК (α , β и γ , размером 3,8 тыс. оснований (т. о.), 3,3 т. о. и 3,2 т. о. соответственно) (Hamilton, Jackson, 1995). Все 3 геномные РНК необходимы для заражения растения (Petty et al., 1990).

Несмотря на многолетнее изучение вируса штриховатой мозаики ячменя, его естественные природные переносчики до сих пор не установлены (Carroll, 1981; Atabekov, Novikov, 1989). Инфекция может передаваться через механический контакт листьев здоровых и пораженных растений (Развязкина, 1975), из-за чего вирус быстро распространяется в поле от растения к растению (Carroll, 1981). Но основным способом распространения вируса являются зараженные семена. Семенная инфекция BSMV впервые была установлена в 1954 г. (Gold et al., 1954), а затем исследована различными авторами с использованием методов электронной микроскопии, биотестов и серологии. Процент передачи заболевания, по разным данным, составляет от 90 до 100% (Gold et al., 1954) и зависит от штамма вируса, стадии развития растений в момент заражения и температуры окружающей среды (Singh et al., 1960). BSMV способен длительное время сохраняться в пораженных зерновках. В частности, установлено, что хранение инфицированных семян в течение более 5 лет не оказывало существенного влияния на инфекционность вируса (Развязкина, 1975; Makkouk, Attar, 2001), он сохранялся, даже когда сами семена уже потеряли свою всхожесть (Развязкина, 1975).

1965; Atabekov, Novikov, 1989; Jackson et al., 2009). In Primorsky Krai, BSMV was identified as the causative agent of MCMV, which is the first case of detection of this virus on this crop (Gapeka et al., 2018). Also, in Primorsky Krai, BSMV was detected on plants of couch grass (*Elytrigia repens*) and yellow foxtail (*Setaria pumila*) (Gapeka et al., 2018). According to EPPO, under experimental conditions, BSMV infects empty oats (*Avena fatua*), rye (*Secale cereale*), maize (*Zea mays*), rice (*Oryza sativa*), sorghum (*Sorghum bicolor*), millet (*Panicum miliaceum*), pigweed (*Chenopodium album*, *Chenopodium giganteum*), quinoa (*Chenopodium quinoa*), spinach (*Spinacia oleracea*), beet (*Beta vulgaris*) and tobacco (*Nicotiana tabacum*) (<https://gd.eppo.int>).

BSMV is a type species of the genus *Hordeivirus* (Hamilton, Jackson, 1995) family Virgaviridae. BSMV particles are rigid, rod-shaped virions about 20 nm in diameter and 100 to 150 nm in length, depending on the size of the encapsulated RNA. The molecular weight of the largest viral particles is about 26 kDa, while the only envelope protein has a molecular weight of about 22 kDa (Atabekov, Novikov, 1989; Adams et al., 2011). BSMV virions clearly show an axial channel with a diameter of about 3–4 nm and a helical structure with a helical pitch of 2.5–2.6 nm (Gibbs et al., 1963). The BSMV genome, like that of other members of the *Hordeivirus* genus, consists of three single-stranded RNA molecules (α , β and γ , 3.8 kb in size, 3.3 kb and 3.2 kb respectively) (Hamilton and Jackson, 1995). All 3 genomic RNAs are required to infect a plant (Petty et al., 1990).

Despite many years of study of BSMV, its natural vectors have not yet been determined (Carroll, 1981; Atabekov and Novikov, 1989). The infection can be transmitted through mechanical contact between the leaves of healthy and diseased plants (Razvyazkina, 1975), due to which the virus quickly spreads from plant to plant in the field (Carroll, 1981). But the main way the virus spreads is through infected seeds. Seed infection with BSMV was first detected in 1954 (Gold et al., 1954) and subsequently investigated by various authors using electron microscopy, bioassays, and serology. The percentage of disease transmission, according to various sources, ranges from 90 to 100% (Gold et al., 1954) and depends on the virus strain, the stage of plant development at the time of infection, and the ambient temperature (Singh et al., 1960). BSMV is able to persist for a long time in the affected caryopses. In particular, it was found that the storage of infected seeds for more than 5 years did not significantly affect the infectivity of the virus (Razvyazkina, 1975; Makkouk, Attar, 2001), it persisted even when the seeds themselves had already lost their germination capacity (Razvyazkina, 1975).

In addition to seeds, the phytopathogen spreads with the pollen of infected plants (Gold et al., 1954; Razvyazkina, 1975). The contamination of pollen grains varies from 10 to 35% (Carroll and Mayhew, 1976). This method can ensure the infection of plants growing at some distance from the outbreak of the virus (Jackson et al., 1989).

There are numerous BSMV strains that cause different disease symptoms and vary in seed transfer

Помимо семян фитопатоген распространяется с пылью зараженных растений (Gold et al., 1954; Развязкина, 1975). Заражение пылевых зерен варьирует от 10 до 35% (Carroll, Mayhew, 1976). Этот способ может обеспечить заражение растений, произрастающих на некотором удалении от очага вируса (Jackson et al., 1989).

Существуют многочисленные штаммы BSMV, вызывающие различные симптомы болезни и различающиеся по эффективности переноса с семенами (Jackson et al., 2009). На ячмене, пшенице и овсе были описаны несколько изолятов BSMV, существенно различающиеся по вызываемым ими симптомам, которые получили название латентного, слабого, умеренного, сурового и некротического штаммов. Были отмечены также изоляты, вызывающие карликовость растений и пожелтение листьев (McKinney, Greeley, 1965). Позднее были описаны изоляты BSMV, получившие название Type («типовой»), Russian («русский»), Norwich, North Dakota 18 (ND18), Argentina mild (AM) и Rothamsted (Jackson, Brakke, 1973). Способность к переносу семенами у изолятов вируса различна. Некоторые изоляты редко заражают зародыш семян, некоторые инактивируются в процессе прорастания семян (Singh et al., 1960; Carroll, 1972). Большинство дивергентных изолятов было описано в ранний период изучения вируса, и их генетические особенности не были изучены. В связи с этим в настоящее время невозможно сделать генетически обоснованный вывод о наличии нескольких стабильных штаммов BSMV.

Вредоносность заболевания зависит от сорта поражаемой культуры, фазы развития растений при заражении, штамма вируса. Согласно литературным данным, потери зерна могут составить 16–27%, а в отдельных случаях – 30–50% (Крылов и др., 1980). В период 1953–1970 гг. экономические потери производителей в США от заражения ячменя оценивались в 30 млн долларов (Carroll, 1980). В Румынии потери урожая ячменя в результате заражения BSMV составляли 16–27% (EPPO, 1983). Снижение урожайности пшеницы от заражения BSMV может достигать 40–75% (EPPO, 1983), а потери урожая зерна кукурузы, когда в некоторых случаях наблюдается почти полная недоразвитость початка, – 37,1% (Гапека и др., 2018).

Выраженность симптомов усиливается при высоких температурах (24–30 °C) (McKinney, 1954). На листьях симптомы варьируют от слабой до очень резкой мозаики в зависимости от штамма вируса и сортовых особенностей пораженной культуры. Мозаику составляют параллельные светло-зеленые полосы, идущие вдоль жилок листа от основания к его вершине, несколько меняясь по ширине и часто прерываясь. Нередко мозаичный рисунок имеет форму буквы V – прямой или перевернутой. Этот признак отличает BSMV от всех других вирусных



Рис. 1. Сравнение симптомов листьев, вызванных у ячменя сорта Аннабель агрессивными (a) и слабыми (b) изолятами BSMV (фото Aleksandra Zarzyńska, <https://www.cabi.org/cpc/datasheet/10529>)

Fig. 1. Comparison of leaf symptoms caused in Annabelle barley by aggressive (a) and mild (b) BSMV isolates (photos Aleksandra Zarzyńska, <https://www.cabi.org/cpc/datasheet/10529>)

efficiency (Jackson et al., 2009). Several BSMV isolates have been described in barley, wheat and oats, differing significantly in the symptoms they cause, and have been termed latent, mild, moderate, severe, and necrotic strains. Isolates causing dwarfing of plants and yellowing of leaves were also noted (McKinney and Greeley, 1965). Later, BSMV isolates were described and named Type, Russian, Norwich, North Dakota 18 (ND18), Argentina mild (AM), and Rothamsted (Jackson and Brakke, 1973). The ability to carry seeds in the virus isolates is different. Some isolates rarely infect the seed embryo, some are inactivated during seed germination (Singh et al., 1960; Carroll, 1972). Most of the divergent isolates were described in the early period of the study of the virus, and their genetic characteristics have not been studied. Therefore, it is currently not possible to make a genetically based conclusion about the presence of multiple stable BSMV strains.

The harmfulness of the disease depends on the variety of the affected crop, the phase of plant development during infection, and the virus strain. According to literature data, grain losses can be 16–27%, and in some cases – 30–50% (Krylov et al., 1980). In the period 1953–1970, the economic loss to US producers from barley infection has been estimated at \$30 million (Carroll, 1980). In Romania, barley yield losses due to BSMV infection were 16–27% (EPPO, 1983). The reduction in wheat yield from BSMV infection can reach 40–75% (EPPO, 1983), and the loss of corn grain yield, when in some cases almost complete underdevelopment of the cob is observed, is 37.1% (Gapeka et al., 2018).

болезней злаков (Развязкина, 1975). Пораженные растения отстают в росте, имеют укороченные стебли и колосья, уменьшается число зерен в колосе, зерновки становятся щуплыми и мелкими, наблюдается стерильность цветков.

Внешние симптомы BSMV напоминают поражение гельминтоспориозом, вызываемым грибом *Puccinia graminea* Ito & Kuribayashi (CABI, 2021).

Также симптомы BSMV (рис. 1) в некоторых случаях можно легко спутать с симптомами других вирусов, заражающих растения пшеницы и ячменя, таких как вирусы слабой мозаики ячменя (Barley mild mosaic virus, BaMMV), желтой мозаики ячменя (Barley yellow mosaic virus, BaYMV) (рис. 2), желтой карликовости ячменя (Barley yellow dwarf virus, BYDV), веретеновидной полосатой мозаики пшеницы (Wheat spindle streak mosaic virus, WSSMV), почвенный вирус мозаики пшеницы (Soil-borne wheat mosaic virus, SBWMV), вирус мозаики костра (Brome mosaic virus, BMV) (рис. 3).

Вследствие этого визуальная диагностика заболеваний на зерновых культурах имеет сугубо предварительный характер, а идентификация вирусов возможна лишь с использованием серологических и молекулярных методов диагностики.

Для выявления BSMV в мировой практике использовались различные серологические методы, включая методы двойной иммунодиффузии (Carroll et al., 1979), радиальной иммунодиффузии (Slack, Shepherd, 1975), латекс-агглютинации (Lundsgaard, 1976), dot-иммуноблоттинга (Lange, Heide, 1986), иммуноспецифической электронной микроскопии (Brlansky, Derrick, 1979) и иммуноферментного анализа (ИФА) (Huth, 1988).

В действующем диагностическом протоколе ЕОКЗР РМЗ/034 (1) (ОЕПР/ЕРРО, 1991) для выявления и идентификации BSMV рекомендован ИФА, который характеризуется достаточно высокой чувствительностью и в настоящее время наиболее адаптирован для одновременного тестирования большого количества образцов (CABI, 2021).

Для тестирования методом ИФА пригодны как сухие семена, так и семена, пророщенные во влажной камере в течение одной недели (CABI, 2021). Установлено, что метод ИФА позволяет обнаруживать одно зерно, инфицированное BSMV, в партии из 1000–2000 неинфицированных зерен (Huth, 1988).

В случае слабых и латентных изолятов BSMV, встречающихся в семенах ячменя в низкой концентрации, диагностическая процедура, рекомендованная стандартом ЕОКЗР РМЗ/034 (1), является недостаточно чувствительной. Рекомендуется модифицированная процедура, включающая предварительное проращивание семян перед тестированием методом ИФА (Jezewska, Cajza, 2010).

Для выявления BSMV преимущественно используется ИФА в формате DAS-ELISA (Clark, Adams, 1977). Диагностические наборы для выявления BSMV методом ИФА в формате DAS-ELISA выпускают несколько ведущих мировых фирм-производителей, например Loewe и DSMZ (обе – Германия).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе был использован положительный контроль вируса штриховатой мозаики ячменя (BSMV) 07004 PC (Loewe, Германия). Специфичность



Рис. 2. Симптомы вируса желтой мозаики ячменя (Barley yellow mosaic virus, BaYMV) на листьях растений ячменя (фото IACR-Rothamsted, <https://www.cabi.org/isc/datasheet/10540#toPictures>)

Fig. 2. Symptoms of Barley yellow mosaic virus (BaYMV) on the leaves of barley plants (photo IACR-Rothamsted, <https://www.cabi.org/isc/datasheet/10540#toPictures>)

Symptoms are aggravated at high temperatures (24–30 °C) (McKinney, 1954). On leaves, symptoms vary from mild to very severe mosaic, depending on the virus strain and the varietal characteristics of the affected crop. The mosaic consists of parallel light green stripes running along the leaf veins from the base to its top, somewhat varying in width and often interrupted. Quite often, the mosaic pattern has the shape of the letter V – straight or inverted. This feature distinguishes BSMV from all other viral grain diseases (Razvyazkina, 1975). Affected plants lag behind in growth, have shortened stems and ears, the number of grains per



Рис. 3. Симптомы вируса мозаики костра (Brome mosaic virus) (фото Ю.А. Шнейдера)

Fig. 3. Symptoms of Brome mosaic virus (photo by Yu.A. Schneyder)

тест-системы оценивали с положительными контролями фирмы Loewe (Германия) следующих вирусов: желтой карликовости ячменя (BYDV), слабой мозаики ячменя (BaMMV), желтой мозаики ячменя (BYMV), мозаики костра (BMV), полосатой мозаики пшеницы (WSMV), карликовости пшеницы (WDV), штриховатой мозаики костра (BStMV), веретеновидной полосатой мозаики пшеницы (WSSMV), мозаичной карликовости кукурузы (MDMV), мозаики сахарного тростника (SCMV), и изолятами следующих вирусов из коллекции DSMZ (Германия): мозаики костра (BMV), мозаичной карликовости кукурузы (MDMV), мозаики сахарного тростника (SCMV), хлоротической крапчатости кукурузы (MCMV), мозаики сорго (SrMV).

Таблица 1
Оценка специфичности тест-системы для ИФА к BSMV фирмы Loewe (Германия)
Table 1
Evaluation of the specificity of the test system for ELISA to BSMV by Loewe (Germany)

№ обр. Sample №	Образец Sample	BSMV (Loewe)		
		X Ao	Ao/Ak	**
1	MDMV, PC-0802, DSMZ	0,039	1,00	–
2	MDMV, +K, Loewe, PC-07059	0,050	1,22	–
3	SCMV, PC-0731, DSMZ	0,045	1,10	–
4	SCMV, +K, Loewe, PC-07088	0,036	1,00	–
5	MCMV, PC-1087, DSMZ	0,043	1,05	–
6	SrMV, PC-0801, DSMZ	0,046	1,12	–
7	BMV, PV-0194, DSMZ	0,053	1,29	–
8	BMV, +K, Loewe, PC-07016	0,044	1,07	–
9	BSMV, +K, Loewe, PC-07004	0,381	9,29	+
10	BYDV, +K, Loewe, PC-07005	0,055	1,34	–
11	BStMV, +K, Loewe, PC-07123	0,051	1,24	–
12	WDV, +K, Loewe, PC-07082	0,049	1,20	–
13	BYMV, +K, Loewe, PC-07007	0,066	1,61	–
14	WSMV, +K, Loewe, PC-07048	0,049	1,20	–
15	WSSMV, +K, Loewe, PC-07171	0,045	1,10	–
16	BaMMV, +K, Loewe, PC-07006	0,075	1,83	–
Отрицательный контроль Negative control		0,041		
Положительный контроль Positive control		0,422		

** Заключение о наличии вируса:

«–» – вирус отсутствует (Ao/Ak < 2, 0);

«+» – недостоверное наличие вируса (Ao/Ak = 2,0–3,0);

«++» – достоверное наличие вируса (Ao/Ak > 3,0),

где Ao – среднее значение экстинкции образца,

Ak – среднее значение экстинкции отрицательного контроля.

** Conclusion on the virus presence:

“–” – no virus (Ao/Ak < 2, 0);

“+” – unreliable virus presence (Ao/Ak = 2.0–3.0);

“++” – significant virus presence (Ao/Ak > 3.0),

Ao is the average extinction value of the sample,

Ak – the average value of the extinction of the negative control.

ear decreases, grains become puny and small, sterility of flowers is observed.

The external symptoms of BSMV resemble those of helminthosporiosis caused by a fungus called *Pyrenophora graminea* Ito & Kuribayashi (CABI, 2021).

The BSMV symptoms (Fig. 1) can in some cases be easily confused with those of other viruses that infect wheat and barley plants, such as Barley mild mosaic virus (BaMMV), Barley yellow mosaic virus (BaYMV) (Fig. 2), Barley yellow dwarf virus (BYDV), Wheat spindle streak mosaic virus (WSSMV), Soil-borne wheat mosaic virus (SBWMV), Brome mosaic virus (BMV) (Fig. 3).

As a result, the visual diagnosis of grain diseases is purely preliminary, and the identification of viruses is possible only using serological and molecular diagnostic methods.

Various serological methods have been used to detect BSMV worldwide, including double immunodiffusion (Carroll et al., 1979), radial immunodiffusion (Slack, Shepherd, 1975), latex agglutination (Lundsgaard, 1976), dot-immunoblotting (Lange, Heide, 1986), immunospecific electron microscopy (Brlansky, Derrick, 1979) and enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) (Huth, 1988).

The current EPPO diagnostic protocol PM3/034 (1) (OEPP/EPPO, 1991) recommends an ELISA for the detection and identification of BSMV, which is characterized by a fairly high sensitivity and is currently the most adapted for the simultaneous testing of a large number of samples (CABI, 2021).

Both dry seeds and seeds germinated in a humid chamber for one week are suitable for ELISA testing (CABI, 2021). It has been established that the ELISA method makes it possible to detect one grain infected with BSMV in a batch of 1000–2000 uninfected grains (Huth, 1988).

In the case of weak and latent BSMV isolates occurring in low concentrations in barley seeds, the diagnostic procedure recommended by EPPO standard PM3/034 (1) is not sensitive enough. A modified procedure is recommended that includes pre-germination of seeds prior to ELISA testing (Jezewska, Cajza, 2010).

To detect BSMV, ELISA in the DAS-ELISA format is mainly used (Clark, Adams, 1977). Diagnostic kits for the BSMV detection by ELISA in the DAS-ELISA format are produced by several leading manufacturers, such as Loewe and DSMZ (both from Germany).

MATERIALS AND METHODS

We used a positive control for BSMV 07004 PC (Loewe, Germany). The specificity of the test system was evaluated with positive controls from Loewe (Germany) of the following viruses: BYDV, BaMMV, BYMV, BMV, WSMV, WDV, BStMV, WSSMV, MDMV, SCMV, and isolates of the following viruses from the DSMZ collection (Germany): BMV, MDMV, SCMV, MCMV, SrMV.

To detect BSMV by ELISA, a Loewe test system (Germany) was used. Testing was carried out in accordance with the instructions of the manufacturer.

To confirm the results of ELISA, real-time PCR (RT-PCR) reagent kits for BSMV from AgroDiagnostica and Syntol (both from Russia) were used.

Для выявления BSMV методом ИФА использовали тест-систему фирмы Loewe (Германия). Тестирование проводили в соответствии с инструкцией фирмы-производителя.

Для подтверждения результатов ИФА использовали наборы реагентов для ПЦР в реальном времени (ПЦР-РВ) к BSMV фирм ООО «АгроДиагностика» и ООО «НПФ Синтол» (обе – Россия).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Специфичность тест-системы для ИФА к BSMV фирмы Loewe (Германия) оценивали по отношению к 16 изолятам 13 вирусов, заражающих зерновые культуры. В результате исследований показана высокая специфичность исследуемой тест-системы. Сероположительный сигнал наблюдался лишь для изолята целевого объекта. Не отмечено перекрестной реакции с изолятами нецелевых вирусов MDMV, SCMV, MCMV, SrMV, BMV, BYDV, BStMV, BYMV, BaMMV, WDV, WSSMV и WSMV (табл. 1).

С использованием тест-системы для ИФА к BSMV фирмы Loewe (Германия) проведен серомониторинг BSMV в посевах различных зерновых культур в нескольких хозяйствах Воронежской и Волгоградской областей, Ставропольского края, Приморского края и Республики Дагестан.

Таблица 2

Выявление вируса штриховатой мозаики ячменя (BSMV) методом ИФА в растениях пшеницы и кукурузы, отобранных в окрестностях г. Пятигорска Ставропольского края

Table 2

BSMV detection by ELISA in wheat and corn plants selected in the vicinity of the city of Pyatigorsk, Stavropol Krai

№ обр. Sample №	Образец Sample	BSMV (Loewe)		
		X Ao	Ao/Ak	*
Пшеница, вегетативные части растения Wheat, vegetative parts of the plant				
1	№ 1	0,089	1,59	–
2	№ 2	0,180	3,21	+
3	№ 3	0,065	1,16	–
4	№ 4	0,075	1,34	–
5	№ 5	0,086	1,54	–
6	№ 6	0,113	2,02	–
7	№ 7	0,081	1,45	–
8	№ 8	0,096	1,71	–
9	№ 9	0,089	1,59	–
10	№ 18	0,075	1,34	–
11	№ 19	0,098	1,75	–
12	№ 20	0,127	2,27	+-
13	№ 21	0,089	1,59	–
14	№ 22	0,082	1,46	–
15	№ 23	0,087	1,55	–
16	№ 24	0,091	1,63	–
17	№ 25	0,077	1,38	–
18	№ 26	0,090	1,61	–
19	№ 27	0,099	1,77	–
20	№ 28	0,085	1,52	–

RESULTS AND DISCUSSION

The specificity of the ELISA test system for BSMV from Loewe (Germany) was evaluated with respect to 16 isolates of 13 viruses infecting crops. As a result of the research, the high specificity of the test system under study was shown. A seropositive signal was observed only for the target isolate. No cross-reaction with isolates of non-target viruses MDMV, SCMV, MCMV, SrMV, BMV, BYDV, BStMV, BYMV, BaMMV, WDV, WSSMV and WSMV was noted (Table 1).

Using the test system for ELISA for BSMV by Loewe (Germany), BSMV seromonitoring was carried out in crops of various grain crops in several farms of Voronezh Oblast and Volgograd Oblast, Stavropol Krai, Primorsky Krai and the Republic of Dagestan.

BSMV seropositive samples were detected in most sites surveyed, but with varying frequency. Seropositive samples were most often noted in winter and spring wheat samples, but were also detected in barley, oats, corn, and Sudan grass (Tables 2–4).

It should be noted that the values of extinction in seropositive samples were relatively low, most often in the range of 0.118–0.245 optical unit (o. u.) and only in rare cases reached 0.300–0.400 o. u. The presence of such low extinction values does not exclude the possibility of a false positive reaction. All seropositive samples were further tested for BSMV by PCR.

№ обр. Sample №	Образец Sample	BSMV (Loewe)		
		X Ao	Ao/Ak	*
21	№ 29	0,135	2,41	+-
22	№ 72	0,113	2,02	–
Кукуруза, вегетативные части растения <i>Maize, vegetative parts of the plant</i>				
23	№ 36	0,154	2,75	+-
24	№ 37	0,104	1,86	–
Отрицательный контроль <i>Negative control</i>		0,056		
Положительный контроль <i>Positive control</i>		0,303		

* Заключение о наличии вируса:

«–» – вирус отсутствует (Ao/Ak < 2,0);

«+-» – недостоверное наличие вируса (Ao/Ak = 2,0–3,0);

«+» – достоверное наличие вируса (Ao/Ak > 3,0), где

Ao – среднее значение экстинкции образца,

Ak – среднее значение экстинкции отрицательного контроля.

* Conclusion about the virus presence:

“–” – no virus (Ao/Ak < 2.0);

“+-” – unreliable virus presence (Ao/Ak = 2.0–3.0);

“+” – significant virus presence (Ao/Ak > 3.0),

Ao is the average extinction value of the sample,

Ak – the average value of the extinction of the negative control.

Таблица 3

Выявление вируса штриховатой мозаики ячменя (BSMV) методом ИФА в растениях зерновых культур, отобранных в четырех хозяйствах Воронежской области

№ обр. Образец	BSMV (Loewe)			№ обр. Образец	BSMV (Loewe)		
	X	Ao	Ao/Ak *		X	Ao	Ao/Ak *
Новоусманский район, Воронежская область				33	Озимая пшеница, с. Гром РС-3, № 18	0,096	1,48 –
1	Ячмень, сорт Маргарет, № 66	0,127	2,27 +-	34	Озимая пшеница, с. Гром РС-3, № 19	0,081	1,25 –
2	Ячмень, с. Маргарет, № 67	0,113	2,02 –	35	Озимая пшеница, с. Гром РС-3, № 20	0,095	1,46 –
3	Озимая пшеница, с. Базальт-2, № 68	0,102	1,82 –	36	Озимая пшеница, с. Гром РС-3, № 21	0,078	1,20 –
4	Озимая пшеница, с. Базальт-2, № 69	0,133	2,38 +-	Эртильский район, Воронежская область			
5	Озимая пшеница, с. Базальт-2, № 70	0,141	2,52 +-	37	Яровая пшеница, с. Дарья, № 22	0,079	1,22 –
Эртильский район, Воронежская область				38	Яровая пшеница, с. Дарья, № 23	0,087	1,34 –
6	Яровая пшеница, с. Дарья, № 71	0,112	2,00 –	39	Яровая пшеница, с. Дарья, № 24	0,101	1,55 –
7	Яровая пшеница, с. Дарья, № 72	0,118	2,11 +-	40	Кукуруза, гибрид Евралис РПО-7288, № 25	0,063	0,97 –
8	Яровая пшеница, с. Дарья, № 73	0,143	2,55 +-	41	Кукуруза, гибрид Евралис РПО-7288, № 26	0,075	1,15 –
9	Кукуруза, гибрид Краснодарский, № 74	0,171	3,05 +	42	Кукуруза, гибрид Евралис РПО-7288, № 27	0,076	1,17 –
10	Кукуруза, гибрид Краснодарский, № 75	0,108	1,93 –	43	Ячмень, с. Вакула, № 45	0,081	1,25 –
11	Кукуруза, гибрид Краснодарский, № 76	0,123	2,20 +-	44	Ячмень, с. Вакула, № 46	0,133	2,05 –
12	Ячмень двухрядный, с. Таловский-9, № 77	0,131	2,34 +-	45	Ячмень, с. Вакула, № 47	0,078	1,20 –
13	Ячмень двухрядный, с. Таловский-9, № 78	0,102	1,82 –	46	Ячмень, с. Вакула, № 48	0,110	1,69 –
14	Ячмень двухрядный, с. Таловский-9, № 79	0,110	1,96 –	47	Пшеница яровая, с. Черноземноуральская, № 49	0,115	1,77 –
15	Ячмень двухрядный, с. Таловский-9, № 80	0,165	2,95 +-	48	Пшеница яровая, с. Черноземноуральская, № 50	0,119	1,83 –
Отрицательный контроль		0,056		49	Пшеница яровая, с. Черноземноуральская, № 51	0,131	2,02 –
Положительный контроль		0,303		50	Пшеница яровая, с. Канюк К-40, № 52	0,127	1,95 –
с. Староникольское, Хохольский район, Воронежская область				51	Пшеница яровая, с. Канюк К-40, № 53	0,104	1,60 –
16	Кукуруза, с. Маримба, № 1	0,075	1,15 –	52	Пшеница яровая, с. Канюк К-40, № 54	0,115	1,77 –
17	Кукуруза, с. Маримба, № 2	0,083	1,28 –	53	Пшеница яровая, с. Тризо К-29, № 55	0,105	1,62 –
18	Кукуруза, с. Маримба, № 3	0,075	1,15 –	54	Пшеница яровая, с. Тризо К-29, № 56	0,149	2,29 +-
19	Кукуруза, с. Новотоп, № 4	0,085	1,31 –	55	Пшеница яровая, с. Тризо К-29, № 57	0,081	1,25 –
20	Кукуруза, с. Новотоп, № 5	0,088	1,35 –	56	Пшеница яровая, с. Торридон К-33, № 58	0,103	1,58 –
21	Кукуруза, с. Новотоп, № 6	0,096	1,48 –	57	Пшеница яровая, с. Торридон К-33, № 59	0,096	1,48 –
22	Кукуруза, с. Новотоп, № 7	0,086	1,32 –	58	Пшеница яровая, с. Торридон К-33, № 60	0,082	1,26 –
23	Ячмень, с. Приазовский-9 РС1, № 8	0,086	1,32 –	Отрицательный контроль		0,065	
24	Ячмень, с. Приазовский-9 РС1, № 9	0,075	1,15 –	Положительный контроль		0,303	
25	Ячмень, с. Приазовский-9 РС1, № 10	0,096	1,48 –	* Заключение о наличии вируса: «–» – вирус отсутствует (Ao/Ak < 2,0); «+-» – недостоверное наличие вируса (Ao/Ak = 2,0–3,0); «+» – достоверное наличие вируса (Ao/Ak > 3,0), где Ao – среднее значение экстинкции образца, Ak – среднее значение экстинкции отрицательного контроля.			
26	Пшеница озимая, с. Ахлат Эльтан, № 11	0,115	1,77 –				
27	Пшеница озимая, с. Ахлат Эльтан, № 12	0,088	1,35 –				
28	Пшеница озимая, с. Ахлат Эльтан, № 13	0,077	1,18 –				
29	Пшеница озимая, с. Ахлат Эльтан, № 14	0,110	1,69 –				
30	Яровая пшеница, с. Дарья элита, № 15	0,085	1,31 –				
31	Яровая пшеница, с. Дарья элита, № 16	0,087	1,34 –				
32	Яровая пшеница, с. Дарья элита, № 17	0,094	1,45 –				

Table 3
Detection of BSMV by ELISA in grain crops selected in four farms of Voronezh Oblast

№ Sample	BSMV (Loewe)		№ Sample	BSMV (Loewe)	
	X Ao	Ao/Ak *		X Ao	Ao/Ak *
Novousmanskyy district, Voronezh Oblast			33 Winter wheat, var. Grom RS-3, № 18	0.096	1.48 –
1 <i>Barley, var. Margaret, № 66</i>	0.127	2.27 +-	34 Winter wheat, var. Grom RS-3, № 19	0.081	1.25 –
2 Barley, var. Margaret, № 67	0.113	2.02 –	35 Winter wheat, var. Grom RS-3, № 20	0.095	1.46 –
3 Winter wheat, var. Basalt-2, № 68	0.102	1.82 –	36 Winter wheat, var. Grom RS-3, № 21	0.078	1.20 –
4 <i>Winter wheat, var. Basalt-2, № 69</i>	0.133	2.38 +-	Ertil'sky district, Voronezh Oblast		
5 <i>Winter wheat, var. Basalt-2, № 70</i>	0.141	2.52 +-	37 Spring wheat, var. Darya, № 22	0.079	1.22 –
Ertil'sky district, Voronezh Oblast			38 Spring wheat, var. Darya, № 23	0.087	1.34 –
6 Spring wheat, var. Darya, № 71	0.112	2.00 –	39 Spring wheat, var. Darya, № 24	0.101	1.55 –
7 <i>Spring wheat, var. Darya, № 72</i>	0.118	2.11 +-	40 Maize, hybrid Evralis RPO-7288, № 25	0.063	0.97 –
8 <i>Spring wheat, var. Darya, № 73</i>	0.143	2.55 +-	41 Maize, hybrid Evralis RPO-7288, № 26	0.075	1.15 –
9 <i>Maize, hybrid Krasnodarsky, № 74</i>	0.171	3.05 +	42 Maize, hybrid Evralis RPO-7288, № 27	0.076	1.17 –
10 Maize, hybrid Krasnodarsky, № 75	0.108	1.93 –	43 Barley, var. Vakula, № 45	0.081	1.25 –
11 <i>Maize, hybrid Krasnodarsky, № 76</i>	0.123	2.20 +-	44 Barley, var. Vakula, № 46	0.133	2.05 –
12 <i>Two-row barley, var. Talovsky-9, № 77</i>	0.131	2.34 +-	45 Barley, var. Vakula, № 47	0.078	1.20 –
13 Two-row barley, var. Talovsky-9, № 78	0.102	1.82 –	46 Barley, var. Vakula, № 48	0.110	1.69 –
14 Two-row barley, var. Talovsky-9, № 79	0.110	1.96 –	47 Spring wheat, var. Chernozemnouralskaya, № 49	0.115	1.77 –
15 <i>Two-row barley, var. Talovsky-9, № 80</i>	0.165	2.95 +-	48 Spring wheat, var. Chernozemnouralskaya, № 50	0.119	1.83 –
Negative control	0.056		49 Spring wheat, var. Chernozemnouralskaya, № 51	0.131	2.02 –
Positive control	0.303		50 Spring wheat, var. Kanuyk K-40, № 52	0.127	1.95 –
Staronikolskoye, Khokholsky district, Voronezh Oblast			51 Spring wheat, var. Kanuyk K-40, № 53	0.104	1.60 –
16 Maize, var. Marimba, № 1	0.075	1.15 –	52 Spring wheat, var. Kanuyk K-40, № 54	0.115	1.77 –
17 Maize, var. Marimba, № 2	0.083	1.28 –	53 Spring wheat, var. Trizo K-29, № 55	0.105	1.62 –
18 Maize, var. Marimba, № 3	0.075	1.15 –	54 <i>Spring wheat, var. Trizo K-29, № 56</i>	0.149	2.29 +-
19 Maize, var. Novotop, № 4	0.085	1.31 –	55 Spring wheat, var. Trizo K-29, № 57	0.081	1.25 –
20 Maize, var. Novotop, № 5	0.088	1.35 –	56 Spring wheat, var. Torridon K-33, № 58	0.103	1.58 –
21 Maize, var. Novotop, № 6	0.096	1.48 –	57 Spring wheat, var. Torridon K-33, № 59	0.096	1.48 –
22 Maize, var. Novotop, № 7	0.086	1.32 –	58 Spring wheat, var. Torridon K-33, № 60	0.082	1.26 –
23 Barley, var. Priazovsky-9 RS1, № 8	0.086	1.32 –	Negative control	0.065	
24 Barley, var. Priazovsky-9 RS1, № 9	0.075	1.15 –	Positive control	0.303	
25 Barley, var. Priazovsky-9 RS1, № 10	0.096	1.48 –	* Conclusion about the virus presence:		
26 Winter wheat, var. Akhlat Eltan, № 11	0.115	1.77 –	“–” – no virus (Ao/Ak < 2.0);		
27 Winter wheat, var. Akhlat Eltan, № 12	0.088	1.35 –	“+–” – unreliable virus presence (Ao/Ak = 2.0–3.0);		
28 Winter wheat, var. Akhlat Eltan, № 13	0.077	1.18 –	“+” – significant virus presence (Ao/Ak > 3.0),		
29 Winter wheat, var. Akhlat Eltan, № 14	0.110	1.69 –	Ao is the average extinction value of the sample,		
30 Spring wheat, var. Darya elite, № 15	0.085	1.31 –	Ak – the average value of the extinction of the negative control.		
31 Spring wheat, var. Darya elite, № 16	0.087	1.34 –			
32 Spring wheat, var. Darya elite, № 17	0.094	1.45 –			

Образцы с сероположительной реакцией к BSMV были выявлены на большинстве обследованных участков, но с различной частотой встречаемости. Сероположительные образцы чаще всего были отмечены в образцах озимой и яровой пшеницы, но также обнаруживались в ячмене, овсе, кукурузе и суданской траве (табл. 2–4).

Необходимо отметить, что значения экстинкции у сероположительных образцов были относительно невысокими, чаще всего находились в пределах 0,118–0,245 оптической единицы (о. е.) и лишь в редких случаях достигали 0,300–0,400 о. е. Наличие столь низких значений экстинкции

According to the results of confirmation of samples tested by ELISA, which was carried out with commercial kits for PCR-RT by Syntol and AgroDiagnostica, none of the seropositive samples was confirmed, while the positive control of BSMV had a high level of fluorescence.

The results of molecular tests prove the need to confirm all seropositive samples due to the high rate of false positives with plant samples.

Таблица 4

Выявление вируса штриховатой мозаики ячменя (BSMV) методом ИФА в растениях зерновых культур, отобранных в хозяйствах Волгоградской области, Республики Дагестан и Приморского края

№ обр. Образец		BSMV (Loewe)		
		X Ao	Ao/Ak	*
Городищенский район Волгоградской области				
1	Пшеница № 7	0,200	2,53	+-
2	Пшеница № 8	0,085	1,08	-
3	Пшеница № 9	0,245	3,10	+
4	Суданская трава № 10	0,084	1,06	-
5	Суданская трава № 11	0,139	1,76	-
6	Суданская трава № 12	0,228	2,89	+-
Иловлинский район Волгоградской области				
7	Суданская трава № 23	0,227	2,87	+-
8	Суданская трава № 24	0,058	1,00	-
9	Суданская трава № 25	0,113	1,43	-
Советский район г. Волгограда				
10	Пшеница № 42	0,227	2,87	+-
11	Пшеница № 43	0,071	1,00	-
12	Пшеница № 44	0,183	2,32	+-
Городищенский район Волгоградской области				
13	Кукуруза № 45	0,095	1,20	-
14	Кукуруза № 46	0,089	1,13	-
15	Кукуруза № 47	0,215	2,72	+-
16	Суданская трава № 48	0,193	2,44	+-
17	Суданская трава № 49	0,089	1,13	-
18	Суданская трава № 50	0,085	1,08	-
19	Суданская трава № 51	0,101	1,28	-
20	Суданская трава № 52	0,255	3,23	+
Советский район г. Волгограда				
21	Овес № 63	0,083	1,05	-

№ обр. Образец		BSMV (Loewe)		
		X Ao	Ao/Ak	*
22	Овес № 64	0,190	2,41	+-
23	Пшеница № 65	0,272	3,44	+
24	Пшеница № 66	0,141	1,78	-
25	Пшеница № 67	0,144	1,82	-
Республика Дагестан				
26	Кукуруза, поле № 1	0,165	2,09	+-
27	Кукуруза, поле № 2	0,409	5,18	+
28	Кукуруза, поле № 3	0,314	3,97	+
29	Кукуруза, поле № 1	0,131	1,66	-
Приморский край				
30	Кукуруза № 51	0,072	1,00	-
31	Кукуруза № 52	0,102	1,29	-
32	Кукуруза № 53	0,178	2,25	+-
33	Кукуруза № 54	0,055	1,00	-
34	Кукуруза № 56	0,066	1,00	-
35	Кукуруза № 67	0,164	2,08	+-
36	Овес № 64	0,177	2,24	+-
Отрицательный контроль		0,079		
Положительный контроль		0,494		

* Заключение о наличии вируса:
«-» – вирус отсутствует (Ao/Ak < 2,0);
«+-» – недостоверное наличие вируса (Ao/Ak = 2,0–3,0);
«+» – достоверное наличие вируса (Ao/Ak > 3,0),
где Ao – среднее значение экстинкции образца,
Ak – среднее значение экстинкции отрицательного контроля.

* Заключение о наличии вируса:

«-» – вирус отсутствует (Ao/Ak < 2,0);

«+-» – недостоверное наличие вируса (Ao/Ak = 2,0–3,0);

«+» – достоверное наличие вируса (Ao/Ak > 3,0),

где Ao – среднее значение экстинкции образца, Ak – среднее значение экстинкции отрицательного контроля.

CONCLUSION

The high specificity of the test system for ELISA to BSMV manufactured by Loewe (Germany) was established, using controls and isolates of closely related viruses. This test system can be recommended for screening tests for the presence of this virus.

BSMV seromonitoring was carried out using a test system for ELISA for BSMV manufactured by Loewe (Germany) in various grain crops in several farms of Voronezh Oblast and Volgograd Oblast, Stavropol Krai, Primorsky Krai and the Republic of Dagestan. Some BSMV seropositive samples have been identified. To confirm the infection of the samples for the presence of BSMV, positive samples were tested by PCR with commercial PCR test systems by Syntol and AgroDiagnostica (both Russia). According to the results of the molecular studies, it was found that only in positive controls, specific PCR products were amplified. None of the samples identified during seromonitoring was confirmed by PCR results.

It can be concluded that the data obtained and published by scientists from the Russian Federation and the world and which concern the spread of viruses and obtained on the basis of serological methods, without confirmation by molecular genetic methods, cannot

не исключает возможность ложноположительной реакции. Все образцы с сероположительной реакцией в дальнейшем тестировали на наличие BSMV методом ПЦР.

По результатам подтверждения протестированных методом ИФА образцов, которое проведено коммерческими наборами для ПЦР-РВ производства ООО «НПФ Синтол» и ООО «АгроДиагностика», ни один из сероположительных образцов не был подтвержден, при этом положительный контроль вируса штриховатой мозаики ячменя имел высокий уровень флуоресценции.

Результаты молекулярных тестов доказывают необходимость подтверждения всех сероположительных образцов в связи с высоким уровнем ложноположительных результатов с растительными образцами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлена высокая специфичность тест-системы для ИФА к BSMV производства Loewe (Германия), с использованием контролей и изолятов близкородственных вирусов. Данная тест-система может быть рекомендована для проведения скрининговых тестов на наличие этого вируса.

Проведен серомониторинг BSMV с использованием тест-системы для ИФА к BSMV производства Loewe (Германия) в посевах различных зерновых культур в нескольких хозяйствах Воронежской

Table 4

Detection of BSMV by ELISA in plants of grain crops selected in the farms of Volgograd Oblast, the Republic of Dagestan and Primorsky Krai

Sample		BSMV (Loewe)		
Nº	Sample	X Ao	Ao/Ak	*
Gorodishchensky district, Volgograd Oblast				
1	Wheat № 7	0.200	2.53	+–
2	Wheat № 8	0.085	1.08	–
3	Wheat № 9	0.245	3.10	+
4	Sudan grass № 10	0.084	1.06	–
5	Sudan grass № 11	0.139	1.76	–
6	Sudan grass № 12	0.228	2.89	+–
Ilovinsky district , Volgograd Oblast				
7	Sudan grass № 23	0.227	2.87	+–
8	Sudan grass № 24	0.058	1.00	–
9	Sudan grass № 25	0.113	1.43	–
Sovetsky district, Volgograd				
10	Wheat № 42	0.227	2.87	+–
11	Wheat № 43	0.071	1.00	–
12	Wheat № 44	0.183	2.32	+–
Gorodishchensky district, Volgograd Oblast				
13	Maize № 45	0.095	1.20	–
14	Maize № 46	0.089	1.13	–
15	Maize № 47	0.215	2.72	+–
16	Sudan grass № 48	0.193	2.44	+–
17	Sudan grass № 49	0.089	1.13	–
18	Sudan grass № 50	0.085	1.08	–
19	Sudan grass № 51	0.101	1.28	–
20	Sudan grass № 52	0.255	3.23	+
Sovietsky district, Volgograd				
21	Oat № 63	0.083	1.05	–

Sample		BSMV (Loewe)		
Nº	Sample	X Ao	Ao/Ak	*
22	Oat № 64	0.190	2.41	+–
23	Wheat № 65	0.272	3.44	+
24	Wheat № 66	0.141	1.78	–
25	Wheat № 67	0.144	1.82	–
Republic of Dagestan				
26	Maize, field № 1	0.165	2.09	+–
27	Maize, field № 2	0.409	5.18	+
28	Maize, field № 3	0.314	3.97	+
29	Maize, field № 1	0.131	1.66	–
Primorsky Krai				
30	Maize № 51	0.072	1.00	–
31	Maize № 52	0.102	1.29	–
32	Maize № 53	0.178	2.25	+–
33	Maize № 54	0.055	1.00	–
34	Maize № 56	0.066	1.00	–
35	Maize № 67	0.164	2.08	+–
36	Oat № 64	0.177	2.24	+–
Negative control		0.079		
Positive control		0.494		

* Conclusion about the virus presence:
“–” – no virus (Ao/Ak < 2.0);
“+–” – unreliable virus presence (Ao/Ak = 2.0–3.0);
“+” – significant virus presence (Ao/Ak > 3.0),
Ao is the average extinction value of the sample,
Ak – the average value of the extinction of the negative control.

* Conclusion about the virus presence:

“–” – no virus (Ao/Ak < 2.0);

“+-” – unreliable virus presence (Ao/Ak = 2.0–3.0);

“+” – significant virus presence (Ao/Ak > 3.0),

Ao is the average extinction value of the sample, Ak – the average value of the extinction of the negative control.

и Волгоградской областей, Ставропольского, Приморского краев и Республики Дагестан. Выявлен целый ряд образцов с сероположительной реакцией к BSMV. Для подтверждения инфицирования образцов на наличие BSMV проводили тестирование положительных образцов методом ПЦР с коммерческими ПЦР-тест-системами фирм «НПФ Синтол» и «АгроДиагностика» (обе – Россия). По результатам проведенных молекулярных исследований установлено, что только в положительных контролях амплифицировались специфичные продукты ПЦР. Ни один из образцов, выявленных в ходе серомониторинга, не был подтвержден результатами ПЦР.

Можно сделать предварительный вывод, что данные, которые получены и опубликованы учеными из Российской Федерации и мира и которые касаются распространения вирусов и получены на основании серологических методов, без подтверждения молекулярно-генетическими методами, не могут считаться валидными в связи с выявлением большого количества ложноположительных реакций и, соответственно, с ложными результатами диагностики.

Данные о распространении вируса штриховатой мозаики ячменя в регионах Российской Федерации следует считать ориентировочными, и требуется проведение широкомасштабного тестирования образцов молекулярными методами диагностики.

be considered valid due to the detection of a large number of false positive reactions and, consequently, with false diagnostic results.

Data on the distribution of BSMV in the regions of the Russian Federation should be considered indicative, and large-scale testing of samples using molecular diagnostic methods is required.

REFERENCES

1. Bogoutdinov D., Kastalyeva T., Girsova N. Virus diseases of grain crops in Samara Oblast [Virusnyye zaboлевaniya zernovykh kultur v Samarskoy oblasti]. *Bulletin of the Orenburg State University*, 2017; 4 (204): 46–52 (in Russian).
2. Gapeka A., Zelikova A., Zhmurkina S., Ledneva V., Volkov Yu., Kakareka N., Shchelkanov M. Barley striped mosaic virus (Virgaviridae, Hordeivirus) as an etiological agent of maize chlorotic stripe disease [Virus shtrikhovatoy mozaiki yachmenya (Virgaviridae, *Hordeivirus*) kak etiologicheskii agent khlorotichnoy polosatosti kukuruzy]. *Russian Agricultural Science*, 2018; 1: 22–26 (in Russian).
3. Gerasimov S. Virus diseases of cereals in the Volga region [Virusnyye bolezni zernovykh

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богоутдинов Д., Кастальева Т., Гирсова Н., 2017. Вирусные заболевания зерновых культур в Самарской области. – Вестник Оренбургского государственного университета, № 4 (204): 46–52.
2. Гапека А., Зеликова А., Жмуркина С., Леднева В., Волков Ю., Какарека Н., Щелканов М., 2018. Вирус штриховатой мозаики ячменя (*Virgaviridae*, *Hordeivirus*) как этиологический агент хлоротичной полосатости кукурузы. – Российская сельскохозяйственная наука, № 1: 22–26.
3. Герасимов С. Вирусные болезни зерновых в Поволжье: Автореф. дис. канд. биол. наук. – Л., 1966, 22 с.
4. Гребенников К., Касаткин Д., Ловцова Ю., Шнейдер Ю., 2020. Разработка информационной системы по фитосанитарным требованиям стран – импортеров российской зерновой продукции. – Фитосанитария. Карантин растений, № 2 (2): 26–32.
5. Какарека Н., Волков Ю., Сапоцкий М., Толкач В., Щелканов М., 2020. Вирусы злаковых культур и их переносчики на юге российского Дальнего Востока (обзор). – Сельскохозяйственная биология, 55 (3): 439–450.
6. Крылов А., Соколова Е., Немилостива Н., 1980. Возбудители вирусных болезней злаков. – В кн.: Возбудители болезней сельскохозяйственных растений Дальнего Востока. М.: Наука, 225–244.
7. Лопаткин А., Приходько Ю., Живаева Т., Хорина Н., Шнейдер Ю., 2020. Метод ПЦР в реальном времени для диагностики вирусов зерновых культур: вируса карликовой мозаики кукурузы (Maize dwarf mosaic virus) и вируса мозаики костра (Brome mosaic virus). – Современные подходы и методы в защите растений: Материалы II Международной научно-практической конференции. Екатеринбург, Россия: 106–107.
8. Макеева А., Богоутдинов Д., 1993. Вирусные болезни злаковых культур в условиях Среднего Поволжья. – Проблемы вирусных болезней зерновых и пути их решения: сб. докладов совещания. Тверь: 15–16.
9. Развязкина Г. Вирусные заболевания злаков. – Новосибирск, 1975, 297 с.
10. Adams M., Heinze C., Jackson A., Kreuze J., Macfarlane S., Torrance L., 2011. Family *Virgaviridae*. – In: Virus Taxonomy: Ninth Report of the International Committee on Taxonomy of Viruses. USA: Elsevier: 1139–1162.
11. Atabekov J., Novikov V. 1989. Barley stripe mosaic virus. – CMI/AAB Descriptions of Plant Viruses, Vol. 344: 6 p.
12. Bransky R., Derrick K., 1979. Detection of seedborne plant viruses using serologically specific electron microscopy. – *Phytopathology*, 69 (1): 96–100.
13. Carroll T., 1972. Seed transmissibility of two strains of Barley stripe mosaic virus. – *Virology*, Vol. 48: 323–336.
14. Carroll T., Mayhew D., 1976. Anther and pollen infection in relation to the pollen and seed transmissibility of two strains of Barley stripe mosaic virus in barley. – *Canadian Journal of Botany*, 54 (14): 1604–1621.
15. Carroll T., Gossel P., Hockett E., 1979. Inheritance of resistance to seed transmission of Barley stripe mosaic virus in barley. – *Phytopathology*, 69 (5): 431–433.
16. Grebennikov K., Kasatkin D., Lovtsova Yu., Shneyder Yu. Development of the information system on phytosanitary requirements of the countries importing Russian grain products. *Plant Health and Quarantine*, 2020; 2 (2): 26–32.
17. Kakareka N., Volkov Yu., Sapotskiy M., Tolkach V., Shchelkanov M. Viruses of cereal crops and their vectors in the south of the Russian Far East (review) [Virusy zlakovykh kultur i ikh perenoschiki na yuge rossiyskogo Dalnego Vostoka (obzor)]. *Agricultural Biology*, 2020; 55 (3): 439–450.
18. Krylov A., Sokolova E., Nemilostiva N. Causative agents of grain viral diseases [Vozbuditeli virusnykh bolezney zlakov]. In: Pathogens of diseases of agricultural plants of the Far East. Moscow: Nauka, 1980; 225–244 (in Russian).
19. Lopatkin A., Prikhodko Yu., Zhivaeva T., Khorina N., Schneyder Yu. Real-time PCR method for diagnosing grain crop viruses: Maize dwarf mosaic virus and brome mosaic virus [Metod PTSR v realnom vremeni dlya diagnostiki virusov zernovykh kultur: virusa karlikovoy mozaiki kukuruzy i virusa mozaiki kostra]. Modern approaches and methods in plant protection: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference. Yekaterinburg, Russia: 2020; 106–107 (in Russian).
20. Makeeva A., Bogoutdinov D. Virus diseases of grain crops in the conditions of the Middle Volga region [Virusnyye bolezni zlakovykh kul'tur v usloviyakh Srednego Povolzhya]. Problems of viral diseases of cereals and ways to solve them: Sat. meeting reports. Tver: 1993; 15–16 (in Russian).
21. Razvyazkina G. Viral diseases of grains [Virusnyye zabolevaniya zlakov]. Novosibirsk, 1975, 297 p. (in Russian).
22. Adams M., Heinze C., Jackson A., Kreuze J., Macfarlane S., Torrance L. Family *Virgaviridae*. In: Virus Taxonomy: Ninth Report of the International Committee on Taxonomy of Viruses. USA: Elsevier, 2011; 1139–1162.
23. Atabekov J., Novikov V. Barley stripe mosaic virus. *CMI/AAB Descriptions of Plant Viruses*, 1989; Vol. 344: 6 p.
24. Bransky R., Derrick K. Detection of seedborne plant viruses using serologically specific electron microscopy. *Phytopathology*, 1979; 69 (1): 96–100.
25. Carroll T. Seed transmissibility of two strains of Barley stripe mosaic virus. *Virology*, 1972; Vol. 48: 323–336.
26. Carroll T., Mayhew D. Anther and pollen infection in relation to the pollen and seed transmissibility of two strains of Barley stripe mosaic virus in barley. *Canadian Journal of Botany*, 1976; 54 (14): 1604–1621.
27. Carroll T., Gossel P., Hockett E. Inheritance of resistance to seed transmission of Barley stripe mosaic virus in barley. *Phytopathology*, 1979; 69 (5): 431–433.
28. Carroll T. Barley stripe mosaic virus: its economic importance and control in Montana. *Plant Disease*, 1980; 64 (2): 136–140.

16. Carroll T., 1980. Barley stripe mosaic virus: its economic importance and control in Montana. *Plant Disease*, 64 (2): 136–140.
17. Carroll T., 1981. Seedborne viruses: virus-host interactions. – In: Maramorosch K., Harris K.F., eds. *Plant Diseases and Vectors: Ecology and Epidemiology*. New York, USA: Academic Press: 293–317.
18. Clark M., Adams A., 1977. Characteristics of the microplate method of enzyme-linked immunosorbent assay for the detection of plant viruses. – *Journal of General Virology*, 34 (3): 475–483.
19. EPPO, 1983. Barley stripe mosaic virus. Data sheets on quarantine organisms. Set 6. – *EPPO Bulletin*, 13 (1): 12–16.
20. Gapeka A., Kakareka N., Volkov Yu., Sapotskiy M., Schelkanov M., 2018. Barley stripe mosaic virus (Virgaviridae, *Hordeivirus*) as biological threat for agricultural crop in the Far East. The 1st International Conference on North East Asia Biodeversity, p. 111.
21. Gibbs A., Kassanis B., Nixon H., Woods R., 1963. The relationship between Barley stripe mosaic virus and *Lychnis* ringspot virus. – *Virology*, Vol. 20: 194–199.
22. Gold A., Suneson C., Houston B., Oswald J., 1954. Electron microscopy and seed and pollen transmission of rod-shaped particles associated with the false stripe virus disease of barley. – *Phytopathology*, Vol. 44: 115–117.
23. Hamilton R., Jackson A., 1995. *Hordeivirus* genus. – *Archives of Virology*, Vol. 10: 441–444.
24. Huth W., 1988. Use of ELISA for detection of Barley stripe mosaic virus in barley seeds. – *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes*, 40 (8–9): 128–132.
25. Jackson A., Brakke M., 1973. Multicomponent properties of Barley stripe mosaic virus ribonucleic acid. – *Virology*, Vol. 55: 483–487.
26. Jackson A., Hunter B., Gustafson G., 1989. *Hordeivirus* relationships and genome organization. – *Annu. Rev. Phytopathology*, Vol. 27: 95.
27. Jackson A., Lim H., Bragg J., Ganesan U., Lee M., 2009. *Hordeivirus* replication, movement, and pathogenesis. – *Annual Review of Phytopathology*, 47 (1): 385–422.
28. Jezewska M., Cajza M., 2010. Barley stripe mosaic virus (BSMV) – a latent pathogen of barley (*Wirus pasiastej mozaiki jeczmienia* (Barley stripe mosaic virus, BSMV) – utajony patogen jeczmienia). *Progress in Plant Protection*, 50 (1): 208–212.
29. Lange L., Heide M., 1986. Dot immuno binding (DIB) for detection of virus in seed. – *Canadian Journal of Plant Pathology*, 8 (4): 373–379.
30. Lundsgaard T., 1976. Routine seed health testing for Barley stripe mosaic virus in barley seeds using the latex-test. – *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, 83 (5): 278–283.
31. Makkouk K., Attar N., 2001. Effect of storage and heat treatment on barley stripe mosaic virus (BSMV) in barley seeds. – *Arab Journal of Plant Protection*, 19 (1): 52–54.
32. McKinney H., 1954. Culture methods of detecting seed-borne viruses in Glacier barley seedlings. – *Plant Disease Reporter*, Vol. 38: 152–162.
33. McKinney H., Greeley L., 1965. Biological characteristics of Barley stripe mosaic virus strains and their interactions. In: Maramorosch K., Harris K.F., eds. *Plant Diseases and Vectors: Ecology and Epidemiology*. New York, USA: Academic Press, 1981; 293–317.
18. Clark M., Adams A. Characteristics of the microplate method of enzyme-linked immunosorbent assay for the detection of plant viruses. *Journal of General Virology*, 1977; 34 (3): 475–483.
19. EPPO, 1983. Barley stripe mosaic virus. Data sheets on quarantine organisms. Set 6. *EPPO Bulletin*, 13 (1): 12–16.
20. Gapeka A., Kakareka N., Volkov Yu., Sapotskiy M., Schelkanov M. Barley stripe mosaic virus (Virgaviridae, *Hordeivirus*) as biological threat for agricultural crop in the Far East. The 1st International Conference on North East Asia Biodeversity, 2018; p. 111.
21. Gibbs A., Kassanis B., Nixon H., Woods R. The relationship between Barley stripe mosaic virus and *Lychnis* ringspot virus. *Virology*, 1963, Vol. 20: 194–199.
22. Gold A., Suneson C., Houston B., Oswald J. Electron microscopy and seed and pollen transmission of rod-shaped particles associated with the false stripe virus disease of barley. *Phytopathology*, 1954; Vol. 44: 115–117.
23. Hamilton R., Jackson A. *Hordeivirus* genus. *Archives of Virology*, 1995; Vol. 10: 441–444.
24. Huth W. Use of ELISA for detection of Barley stripe mosaic virus in barley seeds. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes*, 1988; 40 (8–9): 128–132.
25. Jackson A., Brakke M., Multicomponent properties of Barley stripe mosaic virus ribonucleic acid. *Virology*, 1973; Vol. 55: 483–487.
26. Jackson A., Hunter B., Gustafson G. *Hordeivirus* relationships and genome organization. *Annu. Rev. Phytopathology*, 1989; Vol. 27: 95.
27. Jackson A., Lim H., Bragg J., Ganesan U., Lee M. *Hordeivirus* replication, movement, and pathogenesis. *Annual Review of Phytopathology*, 2009; 47 (1): 385–422.
28. Jezewska M., Cajza M. Barley stripe mosaic virus (BSMV) – a latent pathogen of barley (*Wirus pasiastej mozaiki jeczmienia* (Barley stripe mosaic virus, BSMV) – utajony patogen jeczmienia). *Progress in Plant Protection*, 2010; 50 (1): 208–212.
29. Lange L., Heide M. Dot immuno binding (DIB) for detection of virus in seed. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 1986; 8 (4): 373–379.
30. Lundsgaard T. Routine seed health testing for Barley stripe mosaic virus in barley seeds using the latex-test. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, 1976; 83 (5): 278–283.
31. Makkouk K., Attar N. Effect of storage and heat treatment on barley stripe mosaic virus (BSMV) in barley seeds. *Arab Journal of Plant Protection*, 2001; 19 (1): 52–54.
32. McKinney H. Culture methods of detecting seed-borne viruses in Glacier barley seedlings. *Plant Disease Reporter*, 1954; Vol. 38: 152–162.
33. McKinney H., Greeley L. Biological characteristics of Barley stripe mosaic virus strains and their

34. OEPP/EPPO, 1991. Quarantine procedures No. 34, Barley stripe mosaic hordeivirus. – Bulletin OEPP/EPPO Bulletin, Vol. 21: 257–260.
35. Petty I., French R., Jones R., Jackson A., 1990. Identification of Barley stripe mosaic virus genes involved in viral RNA replication and systemic movement. – EMBO, Vol. 9: 3453–3457.
36. Singh G., Arny D., Pound G., 1960. Studies on the stripe mosaic of barley, including effects of temperature and age of host on disease development and seed infection. – Phytopathology, Vol. 50: 290–296.
37. Slack S., Shepherd R., 1975. Serological detection of seed-borne Barley stripe mosaic virus by a simplified radial-diffusion technique. – Phytopathology, 65 (9): 948–955.
38. Zvyaginceva D., Beloshapkina O., Lopatkin A., Shneider Y., Morozova O., 2021. Cereal viruses – Brome mosaic virus: Prevalence and diagnostics. – IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 663 (1). URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/663/1/012036>.
39. CABI, 2022 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cabi.org/ISC/datasheet/10529> (дата обращения: 17.08.2022).
40. EPPO Global Database, 2022 [Электронный ресурс]. – URL: <https://gd.eppo.int> (дата обращения: 17.08.2022).
41. Таможенная статистика внешней торговли Российской Федерации [Электронный ресурс]. – URL: <http://stat.customs.ru> (дата обращения: 17.08.2022).
42. Федеральная служба государственной статистики Российской Федерации [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 17.08.2022).
43. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.fao.org> (дата обращения: 17.08.2022).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Хорина Наталья Анатольевна, младший научный сотрудник Приморского филиала ФГБУ «ВНИИКР», г. Владивосток, Россия;
e-mail: nkhorina83@yandex.ru.

Лопаткин Антон Александрович, кандидат биологических наук, специалист по продукции ООО «ПарсекЛаб», г. Москва, Россия;
e-mail: lopatkin86@mail.ru.

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

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

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

evolution. *United States Department of Agriculture Technical Bulletin*, 1965; No. 1324: 84 p.

34. OEPP/EPPO, 1991. Quarantine procedures No. 34, Barley stripe mosaic hordeivirus. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, Vol. 21: 257–260.

35. Petty I., French R., Jones R., Jackson A. Identification of Barley stripe mosaic virus genes involved in viral RNA replication and systemic movement. *EMBO*, 1990; Vol. 9: 3453–3457.

36. Singh G., Arny D., Pound G. Studies on the stripe mosaic of barley, including effects of temperature and age of host on disease development and seed infection. *Phytopathology*, 1960; Vol. 50: 290–296.

37. Slack S., Shepherd R. Serological detection of seed-borne Barley stripe mosaic virus by a simplified radial-diffusion technique. *Phytopathology*, 1975; 65 (9): 948–955.

38. Zvyaginceva D., Beloshapkina O., Lopatkin A., Shneider Y., Morozova O. Cereal viruses – Brome mosaic virus: Prevalence and diagnostics. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021; 663 (1). URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/663/1/012036>.

39. CABI, 2022 [Electronic resource]. URL: <https://www.cabi.org/ISC/datasheet/10529> (last accessed: 17.08.2022).

40. EPPO Global Database, 2022 [Electronic resource]. URL: <https://gd.eppo.int> (last accessed: 17.08.2022).

41. Customs statistics of foreign trade of the Russian Federation [Electronic resource]. URL: <http://stat.customs.ru> (last accessed: 17.08.2022).

42. Federal State Statistics Service of the Russian Federation [Electronic resource]. URL: <https://rosstat.gov.ru> (last accessed: 17.08.2022).

43. Food and Agriculture Organization of the United Nations [Electronic resource]. URL: <http://www.fao.org> (last accessed: 17.08.2022).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Natalya Khorina, Junior Researcher, Primorsky branch of FGBU “VNIKR”, Vladivostok, Russia;
e-mail: nkhorina83@yandex.ru.

Anton Lopatkin, PhD in Biology, product specialist, Parseq Lab, Moscow, Russia;
e-mail: lopatkin86@mail.ru.

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

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

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