دانش بیماری‌شناسی گیاهی (شاپای ا: ۶۲۹۰-۲۵۸۸، شاپای چ: ۹۲۷۰-۲۲۵۱)
سال دوازدهم، جلد ۱، پاییز و زمستان ۱۴۰۱
**Plant Pathology Science (eISSN:2588-6290, pISSN:2251-9270)**
**Vol. 12(1), 2023**

# Tomato brown rugose fruit virus

Fereshteh Esmaeilzadeh, Davoud Koolivand✉
Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

Received: 04.11.2022 Accepted: 07.26.2022

Esmaeilzadeh, F., & Koolivand, D. (2022). Tomato brown rogue fruit virus. *Plant Pathology Science* 12(1), 84-93. Doi:10.2982/PPS.12.1.84

## Abstract

Tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV) is an emerging pathogen that generally causes disease in greenhouses. This virus causes yellow areas, malformation and brown necrotic lesions on tomato fruits. This virus, which has a global distribution, has recently been reported using molecular methods in the greenhouses of few provinces of Iran. According to the report of this virus from Iran, the characteristics of the ToBRFV, its symptoms, host range, mode of transmission and spread, and its management methods have been described based on previous studies.

**Key words:** Mechanical transmission, Seed, *Tobamovirus*

مقاله ترویجی

# ویروس چروکیدگی قهوه‌ای میوه گوجه‌فرنگی

فرشته اسماعیل‌زاده، داود کولیوند✉
گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان

دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۲ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۴

اسماعیل‌زاده، ف.، کولیوند، د. (۱۴۰۱). ویروس چروکیدگی قهوه‌ای میوه گوجه‌فرنگی. *دانش بیماری‌شناسی گیاهی* ۱۲(۱): ۸۴-۹۳. Doi: 10.2982/PPS.12.1.84

## چکیده

ویروس چروکیدگی قهوه‌ای گوجه‌فرنگی (ToBRFV) یک بیمارگر نوظهور است که عموماً در گلخانه‌ها باعث ایجاد بیماری می‌شود. این ویروس نواحی زرد رنگ، بدشکلی و زخم‌های نکروتیک قهوه‌ای رنگ روی میوه‌های گوجه‌فرنگی ایجاد می‌کند. این ویروس که انتشار جهانی دارد به تازگی با استفاده از روش‌های مولکولی در گلخانه‌های چند استان ایران گزارش شده است. با توجه به گزارش این ویروس از ایران خصوصیات ویروس ToBRFV، نشانه‌ها، دامنه میزبانی، نحوه انتقال و انتشار و روشهای مدیریت آن بر اساس مطالعات انجام شده قبلی شرح داده شده‌اند.

**واژگان کلیدی:** انتقال مکانیکی، بذر، توباموویروس

---

✉ Corresponding author:

[ DOR: 20.1001.1.22519270.1401.12.1.9.4 ]
[ DOI: 10.61186/pps.12.1.84 ]

## مقدمه

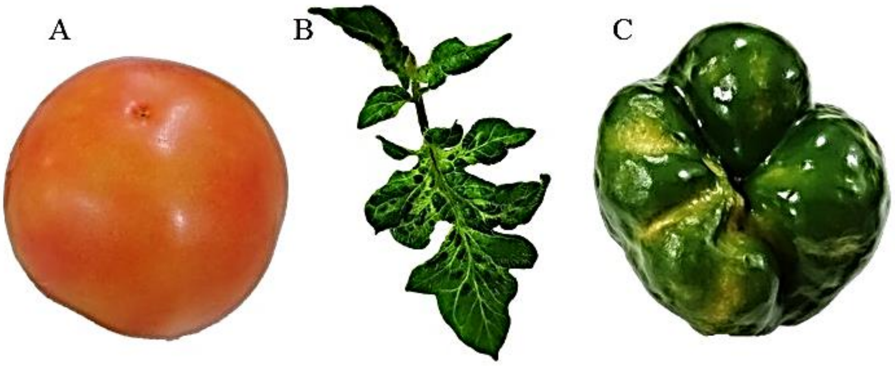
گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.)، گیاهی بومی مناطق گرمسیری آمریکا و متعلق به خانواده سولاناسه است (Costa and Heuvelink 2018 d)، این گیاه یکی از محبوب‌ترین و از نظر اقتصادی مهم‌ترین سبزیجات در سراسر جهان است.

ویروس‌ها یکی از بیمارگرهای مهمی هستند که عملکرد و کیفیت گوجه‌فرنگی را به شدت کاهش می‌دهند (Hanssen et al. 2010). گیاهان گوجه‌فرنگی داربستی که در ساختارهای حفاظت‌شده و گلخانه‌ها رشد می‌کنند، به شدت در معرض آلودگی‌های ویروس‌ها یا ویروئیدهای انتقال یافته به صورت مکانیکی عمدتاً توسط جنس‌های توباموویروس (*Tobamovirus*)، پوتکس ویروس (*Potexvirus*) و پوسپی ویروئید (*Pospiviroid*) قرار دارند (Luria et al. 2017). ویروس موزائیک توتون (Tobacco mosaic virus)، ویروس موزائیک گوجه فرنگی (Tomato mosaic virus) و ویروس پیسک خفیف گوجه‌فرنگی (Tomato mild mottle virus) مهم‌ترین توباموویروس‌هایی هستند که گوجه‌فرنگی را آلوده می‌کنند (Hanssen et al. 2010, Li et al. 2013). توباموویروس‌ها با داشتن پیکره‌های میله‌ای شکل به طول ۳۰۰ نانومتر مشخص می‌شوند که هر پیکره یک ژنوم آران ای تک رشته‌ای با قطبیت مثبت را در بر می‌گیرد. در سال ۲۰۱۶ یک عضو جدید از جنس توباموویروس توسط سالم و همکاران برای اولین بار در اردن روی گیاهان گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای شناسایی شد (Salem et al. 2016). این ویروس که باعث ایجاد نشانه روگوز قهوه‌ای در میوه‌های گوجه‌فرنگی می‌شود، tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV) نام گرفت (Salem et al. 2016). واریته‌های گوجه‌فرنگی دارای ژن‌های مقاومت می‌توانند توسط ToBRFV تحت تأثیر قرار گیرند. بیشترین تأثیر بر عملکرد، کیفیت و ارزش تجاری در این محصول زمانی رخ می‌دهد که نشانه شدید در میوه‌ها ظاهر شود (Oladokun et al. 2019).

## دامنه میزبانی ویروس

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) و فلفل (*Capsicum* sp) دو میزبان اصلی ToBRFV هستند. با این حال، شیوع در فلفل تنها از مکزیک، اردن، ایتالیا و ایران گزارش شده است (Salem et al. 2020, Cambrón -Crisantos et al. 2018, Panno et al. 2020a, Esmaeilzadeh and Koolivand 2022). در دسامبر ۲۰۱۷، یکی دیگر از گیاهان مهم اقتصادی تیره بادمجانیان، بادمجان (*Solanum melongena* L.)، به عنوان میزبان جدید ToBRFV گزارش شد (EPPO 2019). در مورد این میزبان جدید، ذکر این نکته مهم است که نتایج متفاوتی گزارش شده است؛ اما در نهایت، در شرایط آزمایشی، دو گروه تحقیقاتی مختلف نتوانستند ویروس را به این میزبان جدید انتقال دهند (Panno et al. 2019b). تا به امروز، هیچ میزبان ثانویه‌ای برای این ویروس گزارش نشده است، اگرچه انتقال مصنوعی با موفقیت به گیاه اطلسی (*Petunia hybrid* L.) و توتون (*Nicotiana* sp) نشان داده شده است (Luria et al. 2017).

[ DOR: 20.1001.1.22519270.1401.12.1.9.4 ]
[ DOI: 10.61186/pps.12.1.84 ]



شکل ۱. نشانه ایجاد شده در گیاهان گوجه فرنگی و میوه فلفل توسط ToBRFV، (A) نواحی زرد رنگ بر روی میوه گوجه فرنگی، (B) موزائیک شدید و تاولی شدن برگ گوجه فرنگی و (C) نکروز شدید روی میوه فلفل.

Figure 1. Symptoms of ToBRFV on tomato and pepper plants (A) Yellow areas on tomato fruit. (B) Severe mosaic and blistering of tomato leaves. (C) Severe necrosis on the pepper fruit.

## نشانه‌های ویروس

**نشانه‌ها در گوجه‌فرنگی:** به دلیل شباهت نشانه ایجاد شده در گوجه‌فرنگی توسط همه توباموویروس‌ها، شناسایی توباموویروس تنها بر اساس نشانه غیرممکن است. نشانه ToBRFV در گوجه‌فرنگی بسته به شرایط محیطی و ارقام گوجه‌فرنگی متفاوت است. ToBRFV باعث ایجاد نواحی یا لکه‌های زرد رنگ، بدشکلی و زخم‌های نکروتیک قهوه‌ای رنگ روی میوه‌های گوجه‌فرنگی و کاهش مقدار گل‌ها و میوه‌ها در گیاهان تحت تأثیر قرار گرفته می‌شود (شکل ۱، A). نشانه در برگ‌ها معمولاً به صورت موزائیک خفیف تا شدید، تاولی شدن سطح برگ، گاهی باریک شدن برگ‌ها دیده می‌شود (شکل ۱، B). لکه‌های نکروز ممکن است در ساقه، غلاف گل و دمبرگ ایجاد شود که ممکن است باعث زردی گیاه و در نهایت مرگ گیاه شود (Luria et al. 2017, Cambrón-Crisantos et al. 2018, Salem et al. 2016).

**نشانه‌ها روی فلفل:** گیاهان فلفل چهار ژن L دارند که مقاومت به گونه‌های توباموویروس را فراهم می‌کنند. گیاهان فلفلی که ژن‌های مقاومت L3 و L4 را ندارند می‌توانند توسط ToBRFV آلوده شوند و نشانه نشان دهند. گیاهانی که این ژن‌ها را دارند یک پاسخ فوق حساسیت موضعی نشان می‌دهند و بنابراین به طور سیستمیک آلوده نمی‌شوند. فلفل نشانه نسبتاً مشابهی را با مواردی که برای گوجه فرنگی توصیف شده نشان می‌دهد، اما نکروز شدیدتری در میوه (شکل ۱، C) ایجاد می‌کند (EPPO 2021, Fidan et al. 2021).

[ DOR: 20.1001.1.22519270.1401.12.1.9.4 ]
[ DOI: 10.61186/pps.12.1.84 ]

[ DOR: 20.1001.1.22519270.1401.12.1.9.4 ]
[ DOI: 10.61186/pps.12.1.84 ]

## مناطق انتشار ویروس

پس از اولین شیوع ToBRFV در گوجه‌فرنگی در اردن، ویروس به سرعت و در مدت کوتاهی در مناطق تولید گوجه‌فرنگی در سراسر جهان گسترش یافت. در حال حاضر، ToBRFV در گوجه‌فرنگی در مکزیک (Cambrón-Crisantos et al. 2018)، آلمان (Menzel et al. 2019)، ترکیه (Fidan et al. 2019a)، انگلستان (Skelton et al. 2019)، چین (Yan et al. 2019)، هلند (NPPO 2020)، ایالات متحده (Ling et al. 2019)، ایتالیا (Panno et al. 2019a)، فلسطین (Alkowni et al. 2019)، یونان (Beris et al. 2020)، مصر (Amer and Mahmoud 2020)، اسپانیا (Alfaro-Fernández et al. 2020) و ایران (Esmaeilzadeh and Koolivand 2021; Ghorbani et al. 2021) شناسایی شده است. علاوه بر گوجه‌فرنگی، ToBRFV در فلفل در مکزیک (Cambrón-Crisantos et al. 2018)، اردن (Salem et al. 2020)، ایتالیا (Panno et al. 2020a) و در ایران (Esmaeilzadeh and Koolivand 2022) نیز گزارش شده است.

این ویروس اولین بار در سال ۱۴۰۰ از روی گوجه فرنگی در ایران توسط اسماعیل‌زاده و کولیوند از چندین گلخانه در اطراف تهران و در همین سال توسط قربانی و همکاران در یکی از گلخانه‌های استان اصفهان گزارش شد (Esmaeilzadeh and Koolivand 2021, Ghorbani et al. 2021). پس از گزارش این ویروس از ایران، طی بازدیدها و بررسی‌های انجام شده، این ویروس در گلخانه‌های گوجه فرنگی مختلف در شمال غرب، جنوب و جنوب غرب نیز ردیابی شد و آزمون‌های مولکولی انجام شده حضور ToBRFV را در این گلخانه‌ها تأیید کرد. علاوه بر این، ToBRFV که فقط در مکزیک، اردن و ایتالیا از روی گیاهان فلفل گزارش شده است در بررسی‌های انجام شده از روی فلفل در ایران نیز گزارش شد (Esmaeilzadeh and Koolivand 2022).

## روشهای انتشار ویروس

**۱. انتقال مکانیکی:** به منظور درک واضح از پراکندگی و همه‌گیری شناسی ToBRFV در نظر گرفتن مسیرهای مختلف انتقال این ویروس مهم است. ToBRFV، مانند سایر اعضای جنس توباموویروس در خارج از میزبان خود بسیار پایدار است که امکان انتقال مکانیکی مؤثر آن را از طریق شیوه‌های مختلف فراهم می‌کند (Oladokun et al. 2019). انتقال مکانیکی این بیمارگر جدید در محصولات می‌تواند از طریق تماس با گیاهان آلوده، مواد تکثیری (پیوند، قلمه)، بذر و تجهیزاتی از جمله طناب‌های داربست و از طریق جریان آب در حال گردش (مثلاً در مورد محصولات گوجه‌فرنگی هیدروپونیک) صورت گیرد (Dombrovsky and Smith 2017). انتقال عمدتاً مکانیکی است، اما می‌تواند از طریق بذر و میوه‌های آلوده در فواصل طولانی نیز منتقل شود (Dombrovsky and Smith 2017). پراکندگی آن در واحدهای تولیدی از طریق محلول‌های غذایی و زنبورهای گرده افشان نیز گزارش شده است (Levitzky et al. 2019). عامل بیماری می‌تواند از طریق یک گیاهچه آلوده در خزانه وارد یک واحد تولیدی شده و سپس می‌تواند از طریق پرسنل که مسئول انجام اقدامات مختلف

[ DOR: 20.1001.1.22519270.1401.12.1.9.4 ]
[ DOI: 10.61186/pps.12.1.84 ]

کشت محصول در گلخانه هستند و با حضور زنبورها منتشر شود و پیامدهای اقتصادی قابل توجهی ایجاد کند (González-Concha et al. 2021). علاوه بر این، سیگار استفاده شده توسط کارگران می‌تواند حاوی پیکره‌های ویروسی زنده باشد و به عنوان منبع زادمایه در هنگام کار با گیاهان گوجه فرنگی عمل کند (Fidan et al. 2021).

**۲. حشره ناقل:** اگرچه وجود ناقل حشره‌ای برای انتقال توباموویروس ثابت نشده است، لیکن حشرات گرده‌افشان، از جمله زنبورهای بامبل و زنبورهای عسل که به طور معمول در گرده افشانی گوجه‌فرنگی استفاده می‌شوند می‌توانند در انتشار توباموویروس‌ها نقش داشته باشند. زنبور *Bombus terrestris* یک گرده افشان مفید است که به طور گسترده در تولید گوجه‌فرنگی استفاده می‌شود. نتایج مطالعه دامبروفسکی و همکاران نشان می‌دهد که کندوهای جمع آوری شده از گلخانه‌های آلوده به ToBRFV یک زادمایه اولیه از ویروس را حمل می‌کنند که در گسترش بیماری در گوجه فرنگی نقش دارند. گزارش شده است که قرار دادن کندوی جمع آوری شده از گلخانه آلوده به ToBRFV، در یک محفظه شیشه‌ای که فقط حاوی گیاهان گوجه فرنگی سالم بود، باعث گسترش ToBRFV شد. کالبد شکافی زنبور نشان داد که سر زنبور عاری از ویروس بوده در حالی که شکم این حشره به شدت آلوده به ویروس بوده است (Levitzky et al. 2019).

**۳. انتقال با بذر:** تجارت جهانی بذر به انتقال و انتشار بیماری‌های ویروسی جدید، به ویژه ویروس‌های جنس توباموویروس از جمله ToBRFV کمک کرده است (Dombrovsky and Smith 2017). مطالعات نشان داده‌اند که ToBRFV در پوشش دانه و گاهی در اندوسپرم قرار دارد، اما هرگز در جنین قرار نمی‌گیرد (Oladokun et al. 2019). انتقال آن از بذرهای آلوده به گیاهچه‌ها توسط زخم‌های ایجاد شده در طول جوانه‌زنی صورت می‌گیرد. میزان انتقال بذر ToBRFV ۲/۸ درصد گزارش شده است (Davino et al. 2020). اگرچه ToBRFV خطر انتقال به میزان پایین توسط بذر را به همراه دارد، اما همین میزان پایین به شدت بر سیستم‌های تولید تأثیر می‌گذارد (Tatineni et al. 2020).

## روش شناسایی ویروس

تشخیص و شناسایی سریع و دقیق یکی از پیش‌نیازهای اولیه در مهار بیماری‌های ویروسی گیاهان است. ویروس‌های گیاهی نوظهور یک تهدید دائمی هستند. برای جلوگیری یا محدود کردن گسترش بیمارگرهای جدید، آن‌ها باید به سرعت مورد توجه قرار گیرند؛ بنابراین، روش‌های آزمایشی خاص که امکان شناسایی ویروس‌های نوظهور را در میان خویشاوندان آن‌ها فراهم می‌کنند، برای نظارت بر پیشرفت همه‌گیری‌ها و اجرای اقدامات ریشه‌کنی بسیار مهم هستند. ToBRFV نمونه‌ای از یک ویروس گیاهی نوظهور است که از حوزه دریای مدیترانه تقریباً به تمام قاره‌ها گسترش یافته است (Bernabé-Orts et al. 2021). پیکره ویروس مشابه پیکره دیگر توباموویروس‌ها به صورت میله‌ای متقارن است؛ بنابراین، نمی‌توان با استفاده از میکروسکوپ الکترونی آن را از سایر توباموویروس‌ها

[ DOR: 20.1001.1.22519270.1401.12.1.9.4 ]
[ DOI: 10.61186/pps.12.1.84 ]

متمایز کرد. الایزا یک روش رایج است که برای شناسایی بیمارگرهای ویروسی استفاده می‌شود. الایزا با آنتی‌بادی‌های چند همسانه‌ای نمی‌تواند ToBRFV را از TMV و ToMV تفکیک کند (Yan et al. 2019)؛ زیرا همه توباموویروس‌ها، واکنش‌های متقاطعی در آزمون‌های سرولوژیکی نشان می‌دهند (Jacobi et al. 1998). در مقابل، آنتی‌بادی‌های تک همسانه‌ای می‌توانند شرایطی را فراهم کنند که هیچ واکنش متقابلی با سایر توباموویروس‌های مرتبط ایجاد نشود. نسخه‌برداری معکوس واکنش زنجیره‌ای پلیمراز (RT-PCR) و Real-time RT-PCR با استفاده از آغازگرها (Primers) و شناساگرهای (Probes) اختصاصی نیز استفاده می‌شوند. برای تشخیص و شناسایی ویروس در نمونه‌های بذر، به دلیل پایین بودن تیتر ویروس و نیاز به حساسیت در تشخیص ویروس، آزمایش Real-time RT-PCR توصیه شده است (Bernabé-Orts et al. 2021). یک روش چهارگانه RT-PCR (Quadruplex RT-PCR) که می‌تواند ToBRFV را از سایر توباموویروس‌ها متمایز کند، با موفقیت توسعه یافته است (Zhi-yong et al. 2021).

## مدیریت بیماری

**۱.ضدعفونی‌کردن وسیله‌های باغبانی:** ضدعفونی با غیرفعال کردن آلودگی ویروسی با استفاده از یک ماده شیمیایی مؤثر، ویروس‌کش یا یک محصول بیولوژیکی به دست می‌آید. چنین ضدعفونی‌کننده‌هایی باید بر اساس کارایی خود در برابر ویروس (های) هدف و استفاده ایمن برای گیاهان و کارگران، مقرون به صرفه انتخاب شوند. مجموعه ای از ۱۶ ماده ضدعفونی کننده شیمیایی برای بررسی کارایی آن‌ها در برابر انتقال مکانیکی ToBRFV مورد مطالعه قرار گرفت و پنج ضدعفونی کننده مؤثر در کم کردن انتشار توباموویروس‌ها شامل Lactoferrin (۰/۵٪)، Clorox (۱۰٪)، Virkon (۳٪)، Virocid (۰/۵٪) و Virex (۳٪) شناسایی شدند. این ضدعفونی کننده‌ها توانستند باعث آلودگی کمتر از ۷/۵٪ در دو توباموویروس از جمله ToBRFV شوند (Chanda et al. 2021). شناسایی لاکتوفرین به عنوان یک ضدعفونی کننده مؤثر در برابر توباموویروس‌ها یک کشف بزرگ است، زیرا این محصول زیستی طبیعی سازگار با محیط‌زیست است و می‌تواند با خیال راحت توسط تولیدکنندگان در طول تولید محصول استفاده شود. آزمایشات همچنین ثابت کرد که مواد شیمیایی مبتنی بر الکل در غیرفعال کردن ToBRFV کارایی ندارند (Chanda et al. 2021).

**۲. کشت رقمهای مقاوم:** در طول ۸۰ سال گذشته، پیشرفت‌های بزرگی در درک ما از مقاومت گیاهان در برابر ویروس‌ها حاصل شده است. از آن‌جایی که ویروس‌های گیاهی تکامل می‌یابند و گاهی توانایی غلبه بر مقاومت را به دست می‌آورند، ایجاد مقاومت‌های کارآمد و بادوام که قادر به مقاومت در برابر انعطاف‌پذیری ژنتیکی ویروس‌ها باشد، هنوز یک چالش بزرگ است (Nicaise 2014). اصلاح و استفاده از ارقام مقاوم گوجه فرنگی که در حال حاضر موثرترین استراتژی برای مهار توباموویروس‌ها است، حاصل ورود/انتقال سه ژن مقاومت (Tm-1، Tm-2 و Tm-22) به گوجه فرنگی است (Jewehan et al. 2022). ژن‌های مقاومت در گوجه فرنگی، مقاومت گسترده‌ای در برابر TMV و ToMV ایجاد

کرده‌اند. با این حال، ارقام گوجه فرنگی حامل ژن‌های مقاومت به جدایه‌های ToBRFV حساس بودند (Salem et al. 2016, Luria et al. 2017). با توجه به گسترش سریع ToBRFV، شناسایی منابع مقاومت جدید حیاتی‌تر شده و اصلاح ارقام مقاوم در اولویت صنعت گوجه‌فرنگی در سراسر جهان قرار گرفته است (Zhi-Yong et al. 2021).

## نتیجه‌گیری

نظر به اتکای فزاینده بسیاری از کشورها به واردات میوه گوجه‌فرنگی و بذر آن، خطر بالقوه ورود ToBRFV به این کشورها وجود دارد. این سناریو این فرضیه را تقویت می‌کند که انتشار این ویروس به دلیل انتقال بذر از یک کشور به کشور دیگر صورت گرفته است. با توجه به سطح پایین تنوع یافت شده در بین جدایه‌های ایرانی با سایر جدایه‌های گزارش شده و واردات بذر گوجه‌فرنگی از کشورهای هلند و آمریکا، گمان می‌رود ورود این ویروس به ایران احتمالاً از طریق بذرهای آلوده رخ داده است. از آن‌جایی که خسارت ناشی از ToBRFV در ایران در حال گسترش است، باید توجه بیشتری به وقوع و همه‌گیر شناسی این ویروس شود. علاوه بر این، تلاش جدی برای کاهش بروز آلودگی به ToBRFV و همچنین جلوگیری از گسترش آن به سایر مناطق و متعاقب آن ضررهای اقتصادی، اقدامهای بهداشت گیاهی مانند مدیریت صحیح محصول، قرنطینه و بررسی گیاه و بذر در مرزهای بین المللی و مرزهای داخلی با استفاده از ابزارهای سریع، حساس و اقتصادی برای تشخیص و مهم‌تر از همه، غربالگری و اصلاح رقمهای گوجه‌فرنگی برای مقاومت به ToBRFV مورد نیاز است.

## منابع References

Alfaro-Fernández, A., Castillo, P., Sanahuja, E., Rodríguez-Salido, M. C., & Font, M. I. (2021). First report of Tomato brown rugose fruit virus in tomato in Spain. *Plant Disease*, 105(2), 515-515.

Alkowni, R., Alabdallah, O., & Fadda, Z. (2019). Molecular identification of tomato brown rugose fruit virus in tomato in Palestine. *Journal of Plant Pathology*, 101, 719-723.

Amer, M. A., & Mahmoud, S. Y. (2020). First report of Tomato brown rugose fruit virus on tomato in Egypt. *New Disease Reports*, 41(24), 2044-0588.

Beris, D., Malandraki, I., Kektsidou, O., Theologidis, I., Vassilakos, N., & Varveri, C. (2020). First report of tomato brown rugose fruit virus infecting tomato in Greece. *Plant Disease*, 104(7), 2035.

Bernabé-Orts, J. M., Torre, C., Méndez-López, E., Hernando, Y., & Aranda, M. A. (2021). New resources for the specific and sensitive detection of the emerging tomato brown rugose fruit virus. *Viruses*, 13(9), 1680.

Cambrón-Crisantos, J. M., Rodríguez-Mendoza, J., Valencia-Luna, J. B., Rangel, S. A., De Jesús García-Ávila, C., López-Buenfil, J. A. (2018) First report of tomato brown

[ DOR: 20.1001.1.22519270.1401.12.1.9.4 ]
[ DOI: 10.61186/pps.12.1.84 ]

rugose fruit virus (ToBRFV) in Michoacan, Mexico. *Mexican Journal of Phytopathology*, 37(1),185–192.

Chanda, B., Shamimuzzaman, M., Gilliard, A., & Ling, K. S. (2021). Effectiveness of disinfectants against the spread of tobamoviruses: Tomato brown rugose fruit virus and Cucumber green mottle mosaic virus. *Virology Journal*, 18(1), 1-12.

Costa, J. M., & Heuvelink, E. P. (2018). The global tomato industry. In *Tomatoes* (pp. 1-26). Wallingford UK: CABI.

Davino, S., Caruso, A. G., Bertacca, S., Barone, S., & Panno, S. (2020). Tomato brown rugose fruit virus: Seed transmission rate and efficacy of different seed disinfection treatments. *Plants*, 9(11), 1615.

Dombrovsky, A., & Smith, E. (2017). Seed transmission of Tobamoviruses: Aspects of global disease distribution. *Advance Seed Biology*, 12, 233-260.

EPPO Bulletin (2021) PM 7/146 (1) Tomato brown rugose fruit virus. 51,178–197.

Esmaeilzadeh, F., & Koolivand, D. (2022). First report of tomato brown rugose fruit virus infecting bell pepper in Iran. *Journal of Plant Pathology*, 104(2), 893-893.

Esmaeilzadeh, F., & Koolivand, D. (2022). Occurrence of tomato brown rugose fruit virus in tomato in Iran. *Journal of Plant Pathology*, 104(1), 457-457.

European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO). Reporting Service 2019/192. Available online: https://gd.eppo.int/reporting/article-6622.

FAO (Food and Agriculture Organization) (2020) Online statistical database: Food balance. FAOSTAT.

Fidan, H., Sarikaya, P., & Calis, O. (2019). First report of Tomato brown rugose fruit virus on tomato in Turkey. *New Disease Reports*, 39(18), 2044-0588.

Fidan, H., Sarikaya, P., Yildiz, K., Topkaya, B., Erkis, G., & Calis, O. (2021). Robust molecular detection of the new Tomato brown rugose fruit virus in infected tomato and pepper plants from Turkey. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(8), 2170-2179.

Ghorbani, A., Rostami, M., Seifi, S., & Izadpanah, K. (2021). First report of Tomato brown rugose fruit virus in greenhouse tomato in Iran. *New Disease Reports*, 44(2), e12040.

González-Concha, L. F., Ramírez-Gil, J. G., García-Estrada, R. S., Rebollar-Alviter, Á., & Tovar-Pedraza, J. M. (2021). Spatiotemporal analyses of tomato brown rugose fruit virus in commercial tomato greenhouses. *Agronomy*, 11(7), 1268.

Hanssen, I. M., Lapidot, M., & Thomma, B. P. (2010). Emerging viral diseases of tomato crops. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 23(5), 539-548.

Jacobi, V., Bachand, G. D., Hamelin, R. C., & Castello, J. D. (1998). Development of a multiplex immunocapture RT-PCR assay for detection and differentiation of tomato and tobacco mosaic tobamoviruses. *Journal of Virological Methods*, 74(2), 167-178.

Jewehan, A., Salem, N., Tóth, Z., Salamon, P., & Szabó, Z. (2022). Screening of Solanum (sections Lycopersicon and Juglandifolia) germplasm for reactions to the

[ DOR: 20.1001.1.22519270.1401.12.1.9.4 ]

[ DOI: 10.61186/pps.12.1.84 ]

tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV). *Journal of Plant Diseases and Protection*, 1-7.

Levitzky, N., Smith, E., Lachman, O., Luria, N., Mizrahi, Y., Bakelman, H., & Dombrovsky, A. (2019). The bumblebee Bombus terrestris carries a primary inoculum of Tomato brown rugose fruit virus contributing to disease spread in tomatoes. *PloS one*, 14(1), e0210871.

Li, R., Gao, S., Fei, Z., & Ling, K. S. (2013). Complete genome sequence of a new tobamovirus naturally infecting tomatoes in Mexico. *Genome announcements*, 1(5), e00794-13.

Ling, K. S., Tian, T., Gurung, S., Salati, R., & Gilliard, A. (2019). First report of tomato brown rugose fruit virus infecting greenhouse tomato in the United States. *Plant Disease*, 103(6), 1439.

Menzel, W., Knierim, D., Winter, S., Hamacher, J., & Heupel, M. (2019). First report of Tomato brown rugose fruit virus infecting tomato in Germany. *New Disease Reports*, *39*(1), 2044-0588.

National Plant Protection Organization (NPPO) of Netherlands 2019-10. Available online: https://english.nvwa.nl/ (accessed on 7 April 2020).

Nicaise, V. (2014). Crop immunity against viruses: outcomes and future challenges. *Frontiers in Plant Science*, 5, 660.

Oladokun, J. O., Halabi, M. H., Barua, P., & Nath, P. D. (2019). Tomato brown rugose fruit disease: current distribution, knowledge and future prospects. *Plant Pathology*, 68(9), 1579-1586.

Panno, S., Caruso, A. G., & Davino, S. (2019a). First report of tomato brown rugose fruit virus on tomato crops in Italy. *Plant Disease*, 103(6), 1443-1443.

Panno, S., Caruso, A. G., Barone, S., Lo Bosco, G., Rangel, E. A., & Davino, S. (2020b). Spread of tomato brown rugose fruit virus in Sicily and evaluation of the spatiotemporal dispersion in experimental conditions. *Agronomy*, 10(6), 834.

Panno, S., Caruso, A. G., Blanco, G., & Davino, S. (2020a). First report of Tomato brown rugose fruit virus infecting sweet pepper in Italy. *New Disease Report*, 41(20), 2044-0588.

Panno, S., Ruiz-Ruiz, S., Caruso, A. G., Alfaro-Fernandez, A., San Ambrosio, M. I. F., & Davino, S. (2019b). Real-time reverse transcription polymerase chain reaction development for rapid detection of Tomato brown rugose fruit virus and comparison with other techniques. *Peer Journal*, 7, e7928.

Salem, N. M., Cao, M. J., Odeh, S., Turina, M., & Tahzima, R. (2020). First report of tobacco mild green mosaic virus and tomato brown rugose fruit virus infecting Capsicum annuum in Jordan. *Plant Disease*, *104*(2), 601.

Salem, N., Mansour, A., Ciuffo, M., Falk, B. W., & Turina, M. (2016). A new tobamovirus infecting tomato crops in Jordan. *Archives of Virology*, 161, 503-506.

Skelton, A., Buxton-Kirk, A., Ward, R., Harju, V., Frew, L., Fowkes, A., ... & Fox, A. (2019). First report of Tomato brown rugose fruit virus in tomato in the United Kingdom. *New Disease Report*, 40(12), 2044-0588.

[ DOR: 20.1001.1.22519270.1401.12.1.9.4 ]

[ DOI: 10.61186/pps.12.1.84 ]

Tatineni, S., Stewart, L. R., Sanfaçon, H., Wang, X., Navas-Castillo, J., & Hajimorad, M. R. (2020). Fundamental Aspects of Plant Viruses− An Overview on Focus Issue Articles. *Phytopathology*, 110(1), 6-9.

Yan, Z. Y., Ma, H. Y., Han, S. L., Geng, C., Tian, Y. P., & Li, X. D. (2019). First report of tomato brown rugose fruit virus infecting tomato in China. *Plant Disease*, 103(11), 2973-2973.

Zhi-yong, Y., Mei-sheng, Z., Hua-yu, M. A., Ling-zhi, L., Guang-ling, Y., Chao, G., Yanping, T., & Xiang-dong, L. (2021) Biological and molecular characterization of tomato brown rugose fruit virus and development of quadruplex RT-PCR detection. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(7), 1871–1879.

[ DOR: 20.1001.1.22519270.1401.12.1.9.4 ]

[ DOI: 10.61186/pps.12.1.84 ]