

سازوکار انتقال ویروس‌های گیاهی به وسیله مگس‌های سفید

محدثه گرامی نوقابی

گروه کشاورزی و علوم منابع طبیعی دانشگاه گناباد، گناباد، ایران.

mohadese.gerami@yahoo.com

https://giahpeshhsj.ut.ac.ir/article_104998.html



*چکیده

مگس‌های سفید یکی از ناقلین مهم ویروس‌های گیاهی هستند که ضمن تغذیه از شیر گیاهی به عنوان یک آفت عمومی، پتانسیل بسیار بالایی در انتقال ویروس‌های گیاهی نیز دارند. این حشرات حدود ۱۱۴ گونه ویروس گیاهی متعلق به ۵ جنس در سه خانواده را منتقل کرده که از این میان جنس *Begomovirus* دارای بیشترین درصد انتقال توسط مگس‌های سفید می‌باشند که به‌طور انحصاری توسط مگس سفید *Bemisia tabasi* و به‌صورت پایا منتقل می‌شوند. این در حالی است که ویروس‌های *Crinivirus*، *Colesterovirus* متعلق به خانواده *Colesteroviridae* توسط گونه‌های مختلف *Trialeurodes* و *Bemisia* و به‌صورت نیمه پایا و اعضای جنس *Ipomovirus* ها (متعلق به خانواده *Potyviridae*) به‌صورت ناپایا و نیمه پایا توسط گونه‌های متنوعی از مگس‌های سفید انتقال می‌یابند. گونه ویروس و شدت بیماری‌زایی آن، گونه و بیوتیپ مگس سفید ناقل، جنسیت و سن آن، حضور سمبونت‌ها در همولف و نیز مقاومت ناقل به انواع سموم شیمیایی از جمله فاکتورهای تعیین‌کننده راندمان انتقال ویروس‌های گیاهی توسط این حشرات است.

کلمات کلیدی: مگس سفید، انتقال پایا/ ناپایا و *Bemisia tabasi*

*مقدمه

ویروس‌ها برای آلوده کردن گیاهان مستقیماً از طریق سلول سالم وارد نمی‌شوند چون دیواره سلولی گیاه بسیار محکم است؛ بنابراین آن‌ها معمولاً از راه‌های غیرمستقیم وارد گیاه می‌شوند که مهم‌ترین روش‌ها شامل انتقال توسط ناقلین، ورود از طریق زخم، انتقال مکانیکی، ریشه و بذر و دانه گرده. هدف از بررسی سازوکار انتقال ویروس‌های گیاهی توسط ناقلین شناخت هر چه بیشتری بیولوژی ویروس و ارائه روش‌های مدیریتی مناسب برای کنترل بیماری‌های ویروسی از طریق دخالت در طرق انتقال آن‌ها است (Mukhopadhyay, 2010).

در میان ناقلین ویروس‌های گیاهی، حشرات دارای اهمیت ویژه‌ای هستند و در میان ناقلین حشره‌ای، مگس‌های سفید به دلیل تغییر اقلیم و گرم شدن دمای هوای کره زمین و افزایش جمعیت قابل‌توجه آن‌ها، مدتی است که موردنظر دانشمندان و ویروس‌شناسان قرار گرفته‌اند (Martin & Mound, 2007).

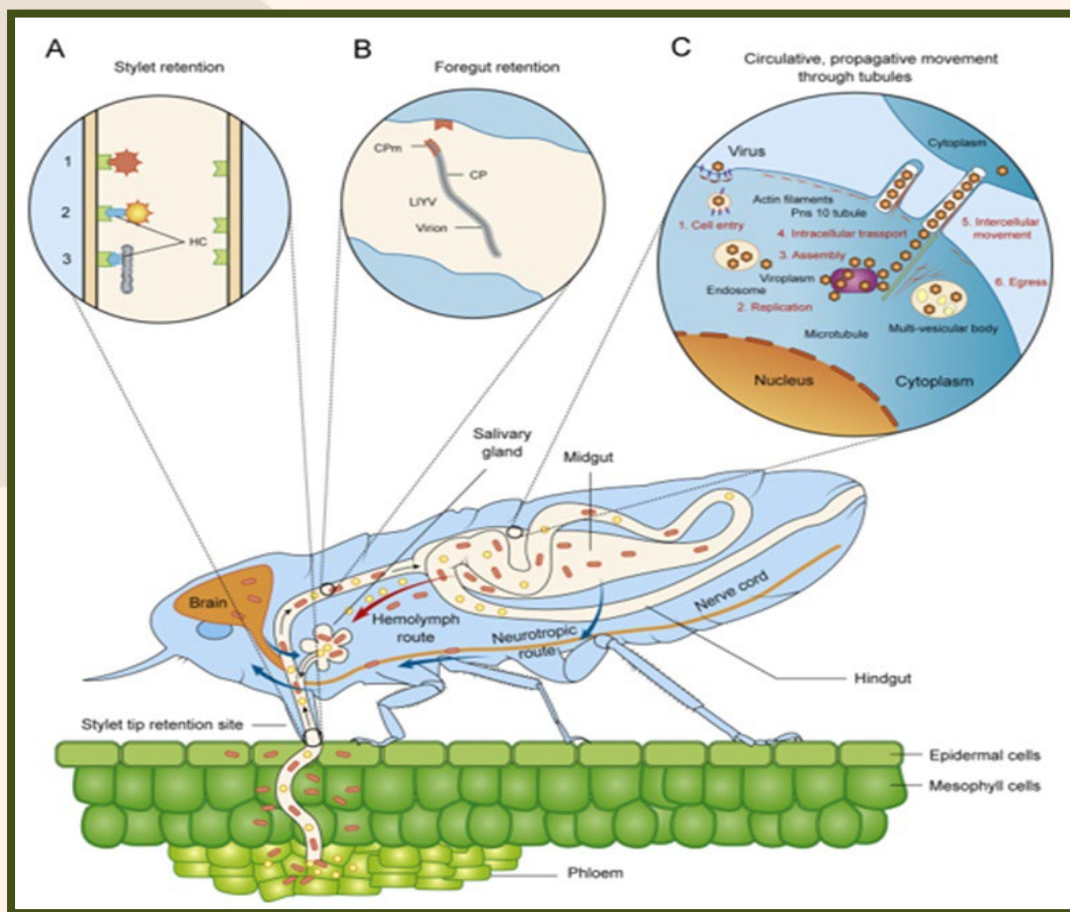
امروزه مگس‌های سفید در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری و به‌خصوص در شرایط گلخانه‌ای به مقدار

قابل‌توجهی یافت می‌شوند. سیکل زندگی این ناقل بسیار کوتاه بوده و در شرایط مناسب می‌توانند در مدت‌زمان اندکی به جمعیت بالایی برسند. این آفت گیاهی عموماً در سطح پشته برگ قرار داشته و ضمن تغذیه از شیر گیاهی بر فیزیولوژی آن اثر می‌گذارد. پوره و حشره کامل آفت، ضمن تغذیه از شیر گیاهی قادر به انتقال ویروس‌ها از گیاه آلوده به سالم نیز هستند (De Barro et al, 2011).

در حال حاضر حدود ۱۱۴ گونه ویروس گیاهی شناخته‌شده که به‌وسیله مگس‌های سفید منتقل می‌شوند (Jones, 2003). گونه‌هایی از مگس سفید که می‌توانند ویروس‌های گیاهی را منتقل کنند شامل گونه‌های مختلف جنس‌های *Bemisia*, *Aleurotrachelus* و *Trialeurodes* می‌باشند که گرچه اکثراً محدود به مناطق گرمسیری هستند اما به علت امکان جابجایی آن‌ها تا فواصل دور و نیز امکان انتقال ویروس‌های گیاهی به گونه‌ها و جنس‌های مختلف گیاهی، ناقلینی توانمند به‌حساب می‌آیند (Varma, 1963, Costa, 1969, Bird & Sánchez, 1971, Costa, 1976, Gámez, 1971).

Colesterovirus متعلق به خانواده *colesteroviridae* توسط گونه‌های مختلف *Bemisia* و *Trialeurodes* و به‌صورت نیمه پایا منتقل می‌گردند. اعضای جنس *Ipomovirus* ها که متعلق به خانواده *Potyviridae* است، به‌صورت نا پایا و نیمه پایا توسط گونه‌های مختلف مگس‌های سفید انتقال می‌یابند (Hull, 2014) (شکل ۱، جدول ۱).

۹۰ درصد ویروس‌هایی که به‌وسیله مگس‌های سفید منتقل می‌شوند متعلق به جنس *Begomovirus* هستند، ۶ درصد *Crinivirus* و ۴ درصد باقی‌مانده مربوط به ویروس‌های *Colesterovirus*, *Ipomovirus* و *Carlavirus* هستند. جنس بگوموویروس‌ها از خانواده *Geminiviridae*، به‌طور انحصاری توسط مگس سفید *B.tabasi* و به‌صورت پایا منتقل می‌شود درحالی‌که ویروس‌های *Crinivirus*,



شکل ۱- نمای شماتیک از روش‌های انتقال ناپایا (A): ویروس تنها در استایلیت و قطعات دهانی حشره حضور داشته و در زمان محدودی می‌تواند طی فرآیند تغذیه انتقال یابد، نیمه پایا (B): ویروس وارد قسمت میانی **Foregut** دستگاه گوارش شده و حشره برای مدت زمان بیشتری قدرت انتقال ویروس را داراست) و پایا (C): ویروس وارد دستگاه گوارش حشره شده، در آن تکثیر یافته و در برخی موارد وارد تخم حشره نیز می‌گردد.

مشخصه بیولوژیکی	(A) انتقال ناپایا	(B) انتقال نیمه پایا	(C) انتقال پایا (گردشی و تکثیری)
تغذیه گیرش	چند ثانیه	چند دقیقه	چند ساعت
تغذیه دهش	چند دقیقه	چند ساعت	چند ساعت تا چندین روز
دوره کمون	ندارد	ندارد	چند ساعت تا چندین روز
مدت زمان دوام در بدن ناقل	چند دقیقه	چند ساعت	چند روز تا چندین هفته
حضور در همولنف ناقل	خیر	خیر	بلی
تکثیر در ناقل	خیر	خیر	خیر (ناقل گردشی)/ بلی (ناقل تکثیری)
انتقال از طریق تخم ناقل	خیر	خیر	خیر (ناقل گردشی)/ بلی (ناقل تکثیری)

جدول ۱- مقایسه ویژگی‌های بیولوژیکی در انتقال به روش پایا/ نیمه پایا و ناپایا (Hull, 2014).

Bemisia tabasi متداول‌ترین گونه مگس سفیدی است که به عنوان ناقل ویروس‌های گیاهی باعث بروز اپیدمی‌های مختلفی می‌شود و حدود ۱۱۱ ویروس از ۱۱۴ ویروس گیاهی به وسیله این مگس سفید انتقال می‌یابند (Mound & Hasley, 1978, Jones, 2003). این ناقل تنوع ژنتیکی بالایی داشته و لذا در انتقال ویروس‌ها، میزان پراکنش جغرافیایی، توانایی انتقال به میزبان‌های متعدد و القای تغییرات فیزیولوژیکی به برخی از میزبان‌ها تنوع قابل توجهی از خود نشان داده است (Bird, 1962; Bedford, 1994a; Brown & Bird, 1995).

B. tabasi دارای سه بیوتیپ مجزا AN، B و Q می‌باشد که تشخیص این بیوتیپ‌ها از یکدیگر تنها به وسیله تکنیک‌های بیوشیمیایی و مولکولی امکان پذیر است. در این میان بیوتیپ B (که به آن *B. argentifolia* نیز می‌گویند (Costa & Brown, 1991))، به دلیل داشتن انتشار بالا و متنوع جغرافیایی و دامنه میزبانی وسیع از سایر بیوتیپ‌ها اهمیت بیشتری داشته و پتانسیل ایجاد اپیدمی‌های بزرگ در بیماری‌های گیاهی را داراست (Janssen et al, 1989; De Barro et al, 2011).

*مگس‌های سفید ناقل ویروس و مکانیسم انتقال آن‌ها

الف- بگوموویروس‌ها

در میان ویروس‌هایی که با مگس سفید منتقل می‌شوند، بگوموویروس‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند، چراکه باعث کاهش ۴۰ تا ۱۰۰ درصدی محصولات کشاورزی از جمله گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی، تنباکو، پنبه و کاساوا می‌شوند (Mansoor et al, 1993; Brown & Bird, 1995; Faria et al, 2000; Varma & Malathi, 2003). در جدول شماره ۲ مهم‌ترین ویروس‌های این جنس که توسط مگس‌های سفید منتقل می‌گردند، ذکر شده است (Jones, 2003; Simon et al, 2003).

بیوتیپ *B. tabasi* B. ویروس‌های بگوموویروس‌ها را در عرض ۳۰ دقیقه تغذیه از گیاه آلوده دریافت می‌کند و پس از دریافت با تغذیه دهش به مدت ۱۵ تا ۳۰ دقیقه آن را به گیاه سالم منتقل می‌کند. هر چه قدر مدت زمان تغذیه افزایش پیدا کند کارایی انتقال نیز بالا می‌رود. بگوموویروس‌ها در حدود ۱۰ تا ۱۲ روز در بدن ناقل زنده می‌مانند. در گیاه آلوده ویروس در آوند آبکش توسعه و تکثیر شده و تغییراتی سیتولوژیکی در سلول ایجاد می‌کند که باعث بروز علائم در عرض ۱۵ روز پس از تلقیح می‌شود. اگرچه پوره‌های مگس سفید نیز قادر به انتقال این ویروس می‌باشند، اما حشره کامل ناقل اصلی به حساب می‌آید (Ber et al. 1990).

بعد از کسب ویروس توسط حشره ناقل، بگوموویروس‌ها برای آلودگی فوری در دسترس نمی‌باشند و نیاز است که مدتی را در داخل بدن حشره ناقل بگذرانند که این مدت به دوره نهان (latent period) معروف است. تخمین مدت زمان دوره کمون بسته به شرایط محیطی، ویروس و ناقل متفاوت می‌باشد،

به‌طوری که دوره نهان برای جدایه اسرائیلی در اوایل ۱۹۶۰ میلادی ۲۱ ساعت و در سال ۱۹۹۵ به مدت ۸ ساعت گزارش شده است (Ghanim et al, 2001). ویروس پیچیدگی برگ زرد گوجه‌فرنگی (TYLCV) می‌تواند در بین مگس‌های سفید و در غیاب منبع آلودگی نیز انتقال یابد. TYLCV می‌تواند از طریق حشرات نر آلوده به حشرات ماده آلوده به ویروس و یا بالعکس انتقال یابد اما در میان حشرات با جنسیت یکسان انتقال نمی‌یابد (Czosnek & Ghanim, 2012).

سن و جنسیت حشره ناقل در میزان انتقال مؤثر می‌باشد. تقریباً تمام حشرات ماده با سن یک تا دو هفته قادر به ایجاد آلودگی در گوجه‌فرنگی هستند در حالی که ۲۰ درصد حشرات نر با همان سن یک تا دو هفته‌ای قادر به ایجاد آلودگی نیستند. توانایی مگس سفید برای انتقال هم‌زمان با افزایش سن کاهش می‌یابد.

درحالی‌که ۶۰ درصد حشرات ماده با سن سه هفته‌ای هنوز قادر به ایجاد آلودگی هستند ولی تقریباً حشرات نر در همان سن قادر به ایجاد آلودگی نیستند. در سن ۶ هفته‌ای تنها ۲۰ درصد حشرات ناقل ماده قادر به انتقال آلودگی هستند. وجود طولانی مدت ویروس در بدن حشره ماده در ارتباط مستقیم با کاهش میزان باروری حشره می‌باشد. ویروس TYLCV در میزان تخم گذاری حشره ماده نقش بسیار بسزایی داشته، اما در میزان خروج پوره‌ها از تخم نقشی ندارد (Czosnek, 2008).

از طرفی پوشش پروتئینی ویروس نقش بسیار مهمی در انتقال بگوموویروس‌ها به‌وسیله *B. tabasi* ایفا می‌کند به‌گونه‌ای که تعویض پوشش پروتئینی بین ویروس‌هایی که به‌وسیله مگس سفید و زنجره منتقل می‌شوند، منجر به تعویض ناقلین آن‌ها می‌شود (Brown & Bird, 1995; Simon et al, 2003).

عبورشان هستند: که شامل دیواره روده که صرفاً از نظر اندازه می‌تواند مانعی برای عبور ویروس باشد، دوم غدد بزاقی است که ویروس باید بتواند وارد کانال بزاقی شود و سوم خود همولنف حشره ناقل است که ویروس باید در آن دوام داشته باشد. داده‌های سرولوژیکی نشان می‌دهد از این جنس، ویروس *Lettuce Infectious Yellow Virus* (LIYV) برای مدت بیش از سه روز در بدن ناقل زنده می‌ماند، این در حالی است که ویروس *Cucurbit Yellow Stunting Disorder Virus* (CYSDV) می‌تواند برای مدت ۴ تا ۹ روز به ترتیب در بدن ناقل پایدار باشند. همانند کلستروویریده-هایی که به‌وسیله شته‌ها منتقل می‌شوند؛ LIYV نیز دارای دو عدد پوشش پروتئینی مائور و مینور هستند. ذرات خالص‌شده ویروس LIYV قابلیت انتقال به‌وسیله گونه *B. tabasi* را در شرایط آزمایشگاه دارند، این در حالی است که پذیرش ویروس توسط ناقل تنها در صورت حضور پوشش پروتئینی مینور اتفاق می‌افتاد و در نبود آن امکان‌پذیر نیست. لذا حضور این قسمت از پوشش پروتئینی ویروس مذکور در انتقال آن به‌وسیله ناقل ضروری است

(Tian et al, 1999; Ng & Chen, 2011)

پ-آپیوموویروس‌ها

ویروس‌های *Cucumber vein yellowing virus* (CVYV)؛ *Squash vein yellowing virus* (SqVYV) و *Cassava Brown Streak virus* (CBSV) از اعضای خانواده پوتیویریده

ویروس‌های *Squash Leaf Curl Virus* (SLCV)، *Watermelon chlorotic stunt virus* (WmCSV) و *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV) می‌توانند در طی ارتباط جنسی بیوتیپ‌های Q و B با هم نوع خودشان به تخمک و جنین نیز منتقل گردند (Al Musa et al, 2011). در طی جفت‌گیری ناقلین، ویروس می‌تواند در همولنف حشره دهنده حضور داشته باشد و بدین ترتیب در تبادل همولنفی اتفاق افتاده در طول فرآیند جفت‌گیری، ویروس به حشره سالم انتقال یابد (De Marchi, et al. 2017; Ghosh & Ghanim, 2021).

پیچیدگی رابطه بین *B. tabasi* و ویروس *Tomato yellow leaf curl China virus* (TYLCCNV) از خانواده بگوموویروس‌ها در سال ۲۰۱۱ موردبررسی قرارگرفته است. در پژوهش مذکور بیان حدود ۱۶۰۶ ژن و ۱۵۷ مسیر بیوشیمیایی مختلف در مگس سفید حاوی ویروس، به لحاظ متابولیسم سلولی موردسنجش قرار گرفت. نتیجه این آزمایش نشان داد که ویروس برخی از پاسخ‌های ایمنی را در ناقل فعال می‌کند به‌گونه‌ای که باعث افزایش عملکرد تخمدان و تجمع بافت چربی در بدن حشره ناقل شده و در مقابل مسیرهای سیگنالی Map Kinase را غیرفعال می‌کند. به نظر می‌رسد که این واکنش‌ها ناشی از تکامل پا به پای ناقل و بگوموویروس‌هاست (Luan et al, 2011; Rosen et al, 2015).

مانند رابطه پایا و تکثیری لوتنوویروس‌ها به‌وسیله شته-ها، بگوموویروس‌ها نیز دارای سه سد یا مانع برای

مدت زمان تغذیه گیرش بیشتر باشد، راندمان انتقال بیشتر خواهد بود. در روش انتقال ناپایا ویروس توانایی حضور در کانال بزاقی و همولنف حشره را نداشته و حتی توان عبور از سلول‌های روده را بعضاً ندارد (Pospieszny et al, 2010; Manzel et al, 2011).

ث- کلستروویروس‌ها

گرچه اغلب کلستروویروس‌ها به‌وسیله شته‌ها منتقل می‌شوند، با این‌وجود دو گونه از این جنس شناخته‌شده است که به‌وسیله مگس‌های سفید منتقل می‌شوند. این ویروس‌ها شامل *Beet Pseudo yellows virus* (BPYV) که توسط *Trialeurodes vaporariorum* منتقل‌شده و *Diodia vein chlorosis virus* (DVCV) که به‌وسیله گونه *Trialeurodes abutilonea* از گیاه آلوده به سالم به‌صورت پایا و یا نیمه پایا نشر می‌یابد (Mukhopadhyay, 2010).

و متعلق به جنس آپیوموویروس هستند که به‌وسیله مگس‌های سفید (بیوتیپ B گونه *B. tabasi*) به‌صورت ناپایا و یا نیمه پایا منتقل می‌شوند. مدت‌زمان لازم برای گیرش ویروس در طی عمل تغذیه توسط ناقل مدت ۴ ساعت می‌باشد. هر چه از زمان تغذیه سپری شود راندمان انتقال افزایش نمی‌یابد. این امر بدین معناست که انتقال ویروس وارد پروسه گوارش و روده ناقل نشده و نوع انتقال از نوع ناپایا می‌باشد (Mansour & Almusa, 1993; Rodrigo et al, 2004; Maruthi et al, 2017).

ت- کارلاویروس‌ها

ویروس *Cowpea mild mottle* (CpMMV) *virus* به‌وسیله مگس سفید *B. tabasi* به‌صورت ناپایا منتقل می‌شود. این ویروس بر روی استایلید حشره ناقل به‌وسیله آزمون مولکولی ردیابی شده و ثابت‌شده است که میزان گرسنگی قبل از تغذیه به‌شدت راندمان انتقال را افزایش می‌دهد. اختصاصیت در این روش از روش نیمه پایا و پایا به‌شدت کمتر است و هرچه

Genus	Virus	Vector	Persistent or non
<i>Begomovirus</i>	<i>Tomato Mottle Virus</i>	<i>Bemisia tabasi</i>	Persistent
	<i>Tobacco Leaf Curl Virus</i>	<i>B. tabasi</i>	Persistent
	<i>Sida Golden Mosaic Virus</i>	<i>B. tabasi</i>	Persistent
	<i>Squash Leaf Curl Virus</i>	<i>B. tabasi</i>	Persistent
	<i>Cotton Leaf Crumple Virus</i>	<i>B. tabasi</i>	Persistent
	<i>Bean Golden Mosaic Virus</i>	<i>B. tabasi</i>	Persistent
	<i>Tomato yellow leaf curl virus</i>	<i>B. tabasi</i>	Persistent

Genus	Virus	Vector	Persistent or non
Crinivirus	<i>Cotton Leaf Curl Virus</i>	<i>B.tabasi</i>	Persistent
	<i>Watermelon chlorotic stunt virus</i>	<i>B.tabasi</i>	Persistent
	<i>Tomato yellow leaf curl China virus</i>	<i>B.tabasi</i>	Persistent
	<i>Potato yellow vein virus</i>	<i>B.tabasi</i>	Semi persistent
	<i>Blackberry Yellow Vein Associated Virus</i>	<i>B.tabasi</i>	Semi persistent
	<i>Beet pseudo yellows virus</i>	<i>B.tabasi</i>	Semi persistent
	<i>Strawberry pallidosis-associated virus</i>	<i>B.tabasi</i>	Semi persistent
	<i>Sweet Potato Chlorotic Stunt Virus</i>	<i>B.tabasi</i>	Semi persistent
	<i>Cucurbit yellow stunting disorder virus</i>	<i>B.tabasi</i>	Semi persistent
	<i>Barley yellow dwarf virus</i>	<i>B.tabasi</i>	Semi persistent
	<i>Tomato chlorosis virus</i>	<i>B.tabasi</i>	Semi persistent
	<i>Lettuce Infectious Yellows Virus</i>	<i>B.tabasi</i>	Semi persistent
	<i>Tomato Infectious Chlorosis Virus</i>	<i>Trialeurodes vaporariorum</i>	Semi persistent
Ipomovirus	<i>Cucumber vein yellowing virus</i>	<i>B.tabasi</i>	Non-persistent or Semi persistent
	<i>Squash vein yellowing virus</i>	<i>B.tabasi</i>	Non-persistent or Semi persistent
	<i>Cassava Brown Streak Virus</i>	<i>B.tabasi(B)</i>	Non-persistent or Semi persistent
Carlavirus	<i>Cowpea mild mottle virus</i>	<i>B.tabasi</i>	Non-persistent
Colesterovirus	<i>Beet Pseudo yellows virus</i>	<i>T. vaporariorum</i>	Persistent or Semi persistent
	<i>Diodia vein chlorosis virus</i>	<i>T. abutilonea</i>	Persistent or Semi persistent

جدول ۲- مهمترین ویروس‌های گیاهی که به وسیله مگس‌های سفید منتقل می‌شوند (Simon et al. 2003).

*فاکتورهای تعیین کننده ناقل در انتقال:

عواملی که از طرف ناقل باعث محدود شدن یا تعیین شدن میزان انتقال ویروس می شود هنوز به خوبی شناخته نشده اند؛ اما گونه و بیوتیپ مگس سفید ناقل، جنسیت، سن، حضور سمبونت ها در همولف ناقل و نیز مقاومت ناقل به انواع سموم شیمیایی از جمله عوامل تعیین کننده راندمان انتقال ویروس به وسیله مگس های سفید است (Ohnesorge & Bejarano, 2009)

*فاکتورهای تعیین کننده ویروس در انتقال:

یکی از فاکتورهای اساسی در انتقال ویروس های گیاهی به وسیله مگس های سفید، گونه ویروس و شدت بیماری-زایی آن است. همچنین؛ پوشش پروتئینی ویروس برای جذب توسط ناقل، بسیار ضروری است. به طوری که محققان دریافته اند که در نبود پوشش پروتئینی ویروس، حشره ناقل قادر به جذب آن نیست (Noris et al, 1998; Höhnle et al, 2001).

*نتیجه گیری:

مگس های سفید، یکی از مهم ترین ناقلین ویروس های گیاهی هستند که تعداد قابل توجهی از ویروس ها را از گیاه آلوده به گیاه سالم منتقل می کنند. این حشرات علاوه بر آن که با تغذیه از شیر گیاهی به عنوان یک آفت عمومی، باعث ضعف و آسیب گیاهان می شوند،

با داشتن قدرت تکثیر بالا می توانند در بروز اپیدمی های ویروس های گیاهی نیز نقش مؤثری داشته باشند. بهر مندی مگس های سفید از مکانیسم های پایا و نیمه پایا در انتقال ویروس های گیاهی، بر قدرت انتقال این حشرات افزوده است.

*منابع:

1. Al-Musa, A., Anfoka, G. and Al-Abdulat, A. (2011). *Watermelon chlorotic stunt virus (WmCSV): a serious disease threatening watermelon production in Jordan. Virus Genes* 43, 79–89.
2. Bedford ID, Briddon RW, Brown JK, Rosell RC, Markham PG. (1994a). *Geminivirus transmission and biological characterisation of Bemisia tabaci (Gennadius) from different geographic regions. Annals of Applied Biology*, 125, 311-325. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1994.tb04972.x>.
3. Ber R, Navot N, Zamir D, Antignus Y, Cohen S, Czosnek H. (1990). Infection of tomato by the *Tomato yellow leaf curl virus*: susceptibility to infection, symptom development, and accumulation of viral DNA. *Archives of Virology*, 112, 169-180. DOI: 10.1007/BF01323162.
4. Bird, J. (1962). A whitefly-transmitted mosaic of *Rhynchosia minima* and its relation to tobacco leaf curl and other virus diseases of plants in Puerto Rico. *Phytopathology* 52: 286.

5. Bird, J. and J. Sánchez. (1971). Whitefly-transmitted viruses in Puerto Rico. *Journal of Agricultural University*. Puerto Rico 55: 461-466.
6. Brown JK, Bird J. (1995). Variability within the *Bemisia tabaci* species complex and its relation to new epidemics caused by *Geminiviruses*. CEIBA, 36, 73-80. Sustainable integrated management of whiteflies as pests and vectors of plant viruses in the tropics. Progress report. Cali, Columbia.
7. Caciagli, P., Piles, V.M., Marian, D., Vecchiati, M., Masenga, V. (2009). Virion stability is important for the circulative transmission of *Tomato yellow leaf curl Sardinia virus* by *Bemisia tabaci*, but virion access to salivary glands does not guarantee transmissibility. *Journal of Virology*. 83, 5784–5795. DOI: 10.1128/JVI.02267-08.
8. Costa, A.S. (1971). Whiteflies as virus vectors. pp. 95- 119. In, *Viruses, Vectors and Vegetation*. K. Maramorosch and H. Koprowski, eds. Interscience, New York.
9. Costa, A.S. (1976). Whitefly-transmitted plant diseases. *Annual of Review Phytopathology*. 14: 429-449. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.14.090176.002241>.
10. Costa, H.S. and Brown J.K. (1991). Variation in biological characteristics and esterase patterns among populations of *Bemisia tabaci*, and the association of one population with silver leaf symptom induction. *Entomologia experimentalis at application*, 61, 211-219.
11. Czosnek H. (2008). *Tomato yellow leaf curl virus*. Encyclopedia of Virology, Third edition, Oxford: Elsevier. (B.W.J. Mahy and M.H.V. Van Regenmortel, Editors), 5: 138-145.
12. Czosnek, H. and Ghanim, M. (2012). Back to basics: are *Begomoviruses* whitefly pathogens? *Journal of Integrated Agriculture*. 11, 225–234.
13. De Barro, P.J., Liu, S.S., Boykin, L.M. and Dinsdale, A.B. (2011). *Bemisia tabaci*: a statement of species status. *Annual Review of Entomology*. 56, 1–19. DOI: 10.1146/annurev-ento-112408-085504.
14. De Marchi, B.R., Marubayashi, J.M. and Favara, G.M. (2017). Comparative transmission of five viruses by *Bemisia tabaci* NW2 and MEAM1. *Trop. plant pathology*. 42, 495–499.
15. Faria, J.C, Bezerra I.C, Zerbini F.M, Ribeiro S.G. and Lima, M.F. (2000). Current status of *Geminiviruses* in Brazil. *Fitopatologia Brasileira* 25, 125-137. <https://doi.org/10.1071/AP05088>.
16. Gámez, R.J. (1971) .Los virus del fríjol en Centroamérica. I. Transmisión por moscas blancas (*Bemisia tabaci* Genn.) y plantas hospedantes del virus del mosaico dorado. *Turrialba* 21: 22-27.
17. Ghanim, M., Rosell, R.C., Campbell, L. R., Czosnek, H., Brown, J.K., and Ullman, D.E. (2001). Digestive, salivary and reproductive organs of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype B. *Journal of Morphology* 248: 22–40. DOI: 10.1002/jmor.1018.
18. Ghosh, S. and Ghanim, M. (2021). Factors Determining Transmission of Persistent Viruses by *Bemisia tabaci* and Emergence of New Virus–Vector Relationships. *Viruses* 13(9):1808.

19. Höhnle, M., Hofer, P., Bedford, I.D., Briddon, R.W. and Markham, P.G. (2001). Exchange of three amino acids in the coat protein results in efficient whitefly transmission of a nontransmissible *Abutilon mosaic virus* isolate. *Virology* 290, 164–171. DOI: 10.1006/viro.2001.1140.
20. Hull, R. (2014) Plant Virology. 5th Edition, Academic Press, London, 854 p.
21. Janssen, J.A.M., Tjallingii, W.F. and van Lenteren, J.C. (1989). Electrical recording and ultrastructure of stylet penetration by the greenhouse whitefly. *Entomology Expert Applied* 52, 69–81. 10.1111/j.1570-7458.1989.tb01250.x.
22. Jones, D.R. (2003) Plant viruses transmitted by whiteflies. *European Journal of Plant Pathology* 109, 195–219. <https://doi.org/10.1023/A:1022846630513>.
23. Luan, J.B., Li, J.M., Varela, N., Wang, Y.L. and Li, F.F. (2011). Global analysis of the transcriptional response of whitefly to *Tomato yellow leaf curl China virus* reveals the relationship of coevolved adaptations. *Journal of Virology*. 85, 3330–3340. doi: 10.1128/JVI.02507-10.
24. Luo, C., Wang, Z.Q., Liu, X., Zhao, L., Zhou, X. and Xie, Y. (2019). Identification and analysis of potential genes regulated by an Alphasatellite (TYLCCNA) that contribute to host resistance against *Tomato yellow leaf curl china virus* and Its Betasatellite (TYLCCNV/TYLCCNB) Infection in *Nicotiana benthamiana*. *Viruses* 11(5):442–455. <https://doi.org/10.3390/v11050442>.
25. Mansoor, S., Bedford, I., Pinner, M., Stanley, J. and Markham, P. (2003). A whitefly transmitted *Geminivirus* associated with cotton leaf curl disease in Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 25:105–107.
26. Mansour, A. and Almusa, A. (1993). *Cucumber yellowing virus*—host range and virus vector relationships. *Journal of Phytopathology*. 137, 73–78.
27. Maruthi, M. N., Jeremiah, S. C., Mohammed, I. U., and Legg, J. P. (2017). The role of the whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius), and farmer practices in the spread of cassava brown streak *Ipomoviruses*. *Journal of Phytopathology*. 165, 707–717. doi: 10.1111/jph.12609.
28. Menzel, W., Abang, M.M. and Winter, S. (2011). Characterization of *Cucumber vein-clearing virus*, a whitefly (*Bemisia tabaci* G.)-transmitted *carlavirus*. *Archive of Virology*. 156, 2309–2311.
29. Morin, S., Ghanim, M., Zeidan, M., Czosnek, H. and Verbeek, M. (1999). A GroEL homologue from endosymbiotic bacteria of the whitefly *Bemisia tabaci* is implicated in the circulative transmission of *Tomato yellow leaf curl virus*. *Virology* 256, 75–84. <https://doi.org/10.1006/viro.1999.9631>.
30. Mound, L.A and Hasley, S.H. (1978). Whitefly of the World, a systemic catalogue of the Aleyrodidae (Homoptera) with host plant and natural enemy data. British Museum (Natural History), London and John Wiley and Sons, Chichester UK.
31. Mukhopadhyay, S. (2010). Plant Virus, Vector Epidemiology and Management. 1th edition. Boca Raton, CRC Press, 526 p.

32. Ng, J.C.K. and Chen, A.Y.S. (2011). Acquisition of Lettuce infectious yellows virus by *Bemisia tabaci* perturbs the transmission of *Lettuce chlorosis virus*. *Virus Research*. 156, 64–71. doi: 10.1016/j.virusres.2010.12.019.
33. Noris, E., Vaira, A.M., Caciagli, P., Masenga, V. and Gronenborn, B. (1998). Amino acids in the capsid protein of *Tomato yellow leaf curl virus* that are crucial for systemic infection, particle formation, and insect transmission. *Journal of Virology*. 72, 10050–10057. doi: 10.1128/jvi.72.12.10050-10057.1998.
34. Ohnesorge, S. and Bejarano, E.R. (2009). *Begomovirus* coat protein interacts with a small heat-shock protein of its transmission vector (*Bemisia tabaci*). *Insect Molecular Biology*. 18, 693–703. DOI: 10.1111/j.1365-2583.2009.00906.x.
35. Pospieszny, H., Budziszewska, M., Hasiów-Jaroszewska, B., Obrepalska-Stepłowska, A. and Borodynko, N. (2010). Biological and molecular characterization of Polish isolates of Tomato torrado virus. *Journal of Phytopathology*. 158, 56–62. doi 10.1007/s00705-014-2266-1.
36. Rodrigo, A., Valverde, J., Sim, J. and Pongtharin, L. (2015). Whitefly transmission of sweet potato viruses, *Virus Research*, 100 (1), 123-128.
37. Rosen, R., Kanakala, S., Kliot, A., Cathrin Pakkianathan, B., Abu Farich, B., Santana-Magal, N., Elimelech, M., Kontsedalov, S., Lebedev, G., Cilia, M. and Ghanim, M. (2015) Persistent, circulative transmission of *begomoviruses* by whitefly vectors, *Current Opinion in Virology*, Volume 15, Pages 1-8.
38. Simon, B., Cenis, J.L., Demichelis, S., Rapisarda, C., Caciagli, P. and Bosco, D. (2003). Survey of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) biotypes in Italy with the description of a new biotype (T) from *Euphorbia characias*. *Bulletin of Entomological Research*, 93, 259-264. doi:10.1079/ber2003233
39. Tian, T., Rubio, L., Yeh, H.-H., Crawford, B., and Falk, B.W. (1999). Lettuce infectious yellows virus: *in vitro* acquisition analysis using partially purified virions and the whitefly *Bemisia tabaci*. *Journal of General Virology*. 80, 1111–1117. DOI: 10.1099/0022-1317-80-5-1111.
40. Varma A. and Malathi, V.G. (2003). Emerging *Geminivirus* problems: A serious threat to crop production. *Annual Applied Biology* 142, 145-164. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2003.tb00240.x>
41. Varma, P.M. (1963). Transmission of plant viruses by whiteflies. Bulletin of the Buffalo Society of Natural Sciences. (India) 24:11-33. doi: 10.3791/4332.
42. Wintermantel, W.M. (2009). Transmission Efficiency and Epidemiology of *Criniviruses*. In: Stansl, *Bemisia: Bionomics and Management of a Global Pest*. Springer, Dordrecht.

Phytoviral Transmission Mechanism by Whiteflies

Mohadese Gerami Nooghabi

Department of Agricultural and Natural Resources, University of Gonabad, Gonabad, Iran

mohadese.gerami@yahoo.com

https://giahpezhshksj.ut.ac.ir/article_104998.html

Abstract

Whiteflies are one of the important vectors of plant viruses that feeding of plant as a general pest, and also have a very high potential for transmitting plant viruses. Whiteflies transmit about 114 species of plant viruses belonging to 5 genera in three families. Among them, the *Begomovirus* genus has the highest percentage of transmission by whiteflies, which are transmitted exclusively by the *Bemisia tabaci* and in a persistent manner. The *Crinivirus* and *Colesterovirus* viruses belonging to the family *Colesteroviridae* are transmitted semi-persistent by various species of *Trialeuroides* and *Bemisia*, and members of the genus *Ipomoviruses* (*Potyviridae* family) are transmitted non-persistent and semi-persistent by various species of whiteflies. The virus species and pathogenicity, the species and biotype, sex and age of the vector, the presence of symbionts in the hemolymph and the resistance of the vector to various chemical toxins are the most important factors to determining the efficiency of plant virus transmission by whiteflies.

Keywords: Whitefly, Persistent/ Non-Persistent Transmission, *Bemisia tabaci*