Print ISSN: 2821-0875
e-ISSN: 2821-0883

گیاه‌پزشک ۶

انجمن علمی دانشجویی گیاه پزشکی دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

سال بیست و سوم، دوره جدید

شماره ششم، بهار ۱۴۰۲

در این شماره می‌خوانیم:

بسم الله الرحمن الرحیم

شناسنامه

فصلنامه علمی- دانشجویی گیاه پزشک
گروه گیاه پزشکی دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی
دانشگاه تهران
سال بیست و سوم، شماره ششم دوره جدید، بهار ۱۴۰۲
تاریخ صدور و شماره مجوز: ۲۶ /۹/ ۱۳۹۷ - ۲۹۲۲۹۹ / ۱۳۲
مدیر مسئول: سعید صداقتیان
سردبیر: عارف مرادپور، سعید صداقتیان

شاپای چاپی: ۰۸۷۵-۲۸۲۱

شاپای الکترونیکی: ۰۸۸۳-۲۸۲۱

مدیر تارنما: سعید صداقتیان

صفحه آرا: مهسا علی آقا

همکاران: افروز بوکان (دانشجوی دکتری حشره شناسی کشاورزی دانشگاه تهران)، ساره هاشمی (دانشجوی دکتری بیماری شناسی گیاهی دانشگاه تهران)، سارا آزادبه (دانشجوی دکتری حشره شناسی کشاورزی دانشگاه تهران)، سعید صداقتیان (دانشجوی کارشناسی ارشد بیماری شناسی گیاهی دانشگاه تهران)، عارف مرادپور (دانشجوی دکتری بیماری شناسی گیاهی دانشگاه تهران)، مانی جباری (کارشناسی گیاهپزشکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم شهر)، میترا جباری (کارشناسی ارشد باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان)، مهدی قربانی (دانشجوی دکتری بیوتکنولوژی کشاورزی دانشگاه تهران)

با تشکر از: خانم مهندس مریم رنجبران (دانش آموخته کارشناسی گیاهپزشکی دانشگاه تهران)

بنیاد حامیان دانشگاه تهران

انجمن علمی دانشجویی گیاهپزشکی دانشگاه تهران

انجمن های علمی دانشجویی دانشگاه تهران

دانشگاه تهران

plantprotection.utcan@ut.ac.ir

@phytopathology.association

http://giahpezeshksj.ut.ac.ir

مدیر مسئول 5874 920 935 98 +

این نشریه با حمایت بنیاد علمی آموزشی قلم چی منتشر شده است.

بنیاد علمی آموزشی قلم چی وقف عام

فهرست

سخن سردبیر

دفتر را به نام او می‌گشایم که هر امر مهمی بی‌یاد او بی‌حاصل است.

سخن سردبیر را در این شماره با بیان این نکته پی‌می‌گیریم که خود کفایی و تولید در تامین نهاده‌ها و فرآورده‌های کشاورزی، از ارکان مهم توسعه پایدار کشور است. بدیهی است که با استفاده از روش‌های مختلف بشر قادر به بهبود عملکرد محصولات کشاورزی شده است اما این نکته نیز قابل توجه می‌باشد که عوامل خسارت‌زا نیز با تحمل تغییراتی با شرایط جدید تطابق یافته‌اند. این قبیل موارد بشر را وادار به استفاده بیشتر از سموم با نتایج متنوع خود و یا یافتن راه‌های جایگزین می کند.

مطالعه مواد مختلف موثر در جهت مدیریت عوامل خسارت‌زا توسط افراد با جایگاه‌های مختلف در جهت بهبود عملکرد و کاهش اثرات منفی در حال انجام است. امروزه با نگاه دقیق به جایگاه زیست فناوری و شاخه‌های متفاوت آن می‌توان به روش‌های مدیریتی بهتر این عوامل خسارت‌زا دست یافت. به طور مثال می‌توان اشاره داشت به شناخت مکانیسم‌های ایجاد بیماری توسط عوامل میکروارگانیسم‌های بیمارگرگیاهی، که به واسطه آگاهی از آن‌ها می‌توان به راهکارهای مدیریتی نوین مانند مقاومت به آن‌ها و یا عاری‌سازی از این عوامل برسیم. جامعه کشاورزی ایران، به ویژه گیاه‌پزشکان همگام با سایر نقاط دنیا در قسمت‌های مختلف زیست فناوری مشغول بوده و امید است به موفقیت‌های لازم برسند. سپاس خدای بزرگ را که توفیقی عنایت فرمود تا با یاری دوستان شماره دیگری از نشریه گیاه‌پزشک را تقدیم علاقمندان به این حوزه نمائیم. در پایان وظیفه خود می‌دانم از داوران محترم که در ارتقای سطح علمی نشریه نقش اساسی داشته‌اند کمال تشکر را از ایشان داشته باشم. همچنین صمیمانه ترین درودها و سپاس را تقدیم اعضای محترم هیأت تحریریه و همکاران اجرایی سخت‌کوش نشریه می‌کنم که بی‌تردید بدون حضور با انگیزه آن‌ها، انجام هیچ کاری در این زمینه ممکن نبود.

سردبیر نشریه علمی ترویجی گیاه پزشک

گیاهپزشک
نشریه علمی-ترویجی (حرفه‌ای) انجمن علمی دانشجویی گروه گیاهپزشکی
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

مواد افزودنی و کمکی همراه سموم دفع آفات نباتی و کودهای شیمیایی

مانی جباری[1]، میترا جباری[2]

[1] کارشناسی گیاهپزشکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم شهر
[2] کارشناسی ارشد باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

10.22059/GIAHPZSHSJ.2023.91673

چکیده

امروزه استفاده از سموم و کودهای شیمیایی در تمام جهان به منظور حفظ و افزایش عملکرد محصولات کشاورزی افزایش یافته است. این ترکیبات برای افزایش تاثیر آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی و نظیم‌کننده‌های رشد گیاهی یا تسهیل در مخلوط کردن به آنها اضافه می‌گردند. فعالیت شیمیایی مواد افزودنی بر فرمول بندی محصول یا مخزن دستگاه سمپاش تاثیر می‌گذارد. تاثیر فعال شدن مواد همراه عبارتند از: کاهش کشش سطحی که موجب افزایش سطح تماس، افزایش میزان رطوبت و خیس‌کنندگی، افزایش حرکت سم و کودها در شاخ و برگ است. بنابراین، انتخاب یک مواد اصلی در فرمول‌بندی ترکیبات همراه، بسیار مهم است. مواد مکمل در کشورهای توسعه یافته به ویژه آمریکا و اروپا نقش بسیار مهمی را در مصرف ترکیبات مرتبط با بخش کشاورزی ایفا می‌نمایند. مواد افزودنی مثل فرمول‌بندی گلیفوزات، برای کاهش سمیت زیستی اصلاح شده‌اند که موجب کاهش هزینه و آلودگی محیطی می‌گردد، از آن جایی که کاربرد مواد مکمل و همراه در ایران هنوز جایگاه مناسبی ندارد، در این مقاله سعی گردیده است تا با معرفی هر چه بیشتر سورفکتانت‌ها، بتوان در آینده نزدیک از این مواد سودمند، در جهت بهبود وضعیت کنترل شیمیایی و افزایش عملکرد در کشاورزی ایران استفاده کرد.

کلید واژه : آفت‌کش‌ها، رشد گیاهی، مرطوب کننده مواد مکمل

Plant Pathologist
Scientific-Extensional (Proffesional) Journal of Plant Protection
Scientific Association of Plant Protection, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

Additives and auxiliaries along with pesticides and agricultural fertilizers

mani jabbari[1], mitra jabbari[2]

1 Bachelor of Plant Protection, Islamic Azad University, Ghaem Shahr Branch
2 Masters in Horticulture, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

10.22059/GIAHPZSHSJ.2023.91673

Abstract

Today, the use of pesticides and chemical fertilizers around the world to maintain and enhance crop yields has increased. These compounds are added to increase the effectiveness of pesticides and chemical fertilizers and plant growth regulators or to facilitate mixing. The chemical activity of the additives affects the product formulation or the tank of the sprayer. The effect of activating the accompanying materials are: reducing the surface tension which increases the contact surface, increasing the amount of moisture and wetting, increasing the movement of toxins and fertilizers in the foliage. Therefore, the choice of a complex in the formulation of associated compounds is very important. Additives in developed countries, especially the United States and Europe, play a very important role in the consumption of compounds related to the agricultural sector. Agricultural additives, especially such as glyphosate formulations, have been modified to reduce biotoxicity, which reduces costs and environmental pollution. By introducing as many surfactants in agriculture, in the near future, these useful substances can be used to improve chemical control and increase yield in Iranian agriculture.

Keywords: Pesticides, supplements, plant cells, moisturizers.

مقدمه

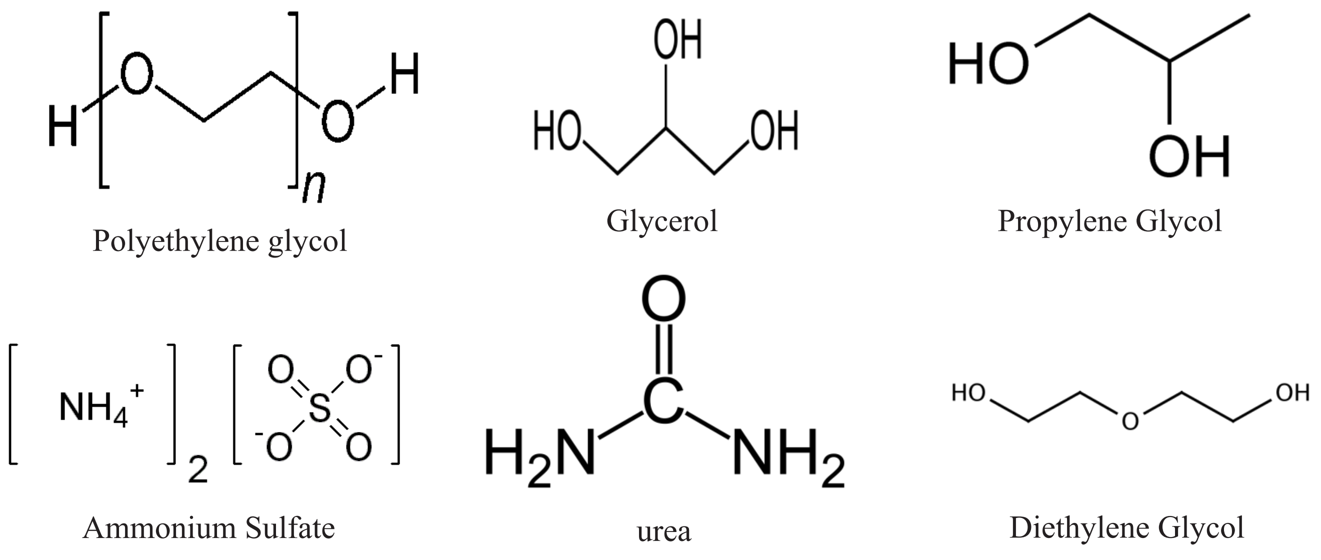
در بسیاری از موارد کشاورزان و حتی کارشناسان اطلاع دقیقی از معنای ترکیبات همراه و کمکی ، صابون ، تشدید کننده‌ها ، سورفوکتانت‌ها و ... ندارند و همه این موارد را باعنوان کلی صابون‌ها می‌شناسند. همانطور که می‌دانیم بسیاری از آفت‌کش‌ها در زمان فرموله‌شدن و بسته‌بندی در یک حامل یا حلال فرموله می‌شوند. این حلال در بسیاری از موارد از مشتقات نفتی است. در مورد سموم با تکنولوژی بالا، ماده حامل، آب است.

استفاده از مواد افزودنی برای افزایش فعالیت نهاده‌های کشاورزی موضوع جدیدی نیست بطوری که پیشینه استفاده از این مواد به قبل از قرن ۱۷ بر می‌گردد که کشاورزان از مواد جلب‌کننده (گلوکز و ملاس) برای بهبود خصوصیت چسبندگی گیاه‌کش‌های غیر آلی استفاده می‌کردند (Green and Beestman, 2007). قبل از دهه ۱۹۵۰ مایع ظرفشویی خانگی و روغن‌های مختلف به عنوان مواد افزودنی استفاده می‌شدند.

به طور متوسط هر مایع شوینده ۱۰ تا ۲۰ درصد مویان دارد (Sondhia and Varshney, 2010) (شکل ۱).

طی آزمایش‌های مزرعه‌ای و گلخانه‌ای نیزمشاهده شده است که کنترل علف‌های هرز یکساله لوبیا ، با استفاده از اضافه کردن مواد افزودنی، که منجر به افزایش اثر علف‌کش‌های بنتازون و فومسافن می شود، بهبو می یابد، (Bellinder et al., 2003). کارایی آفت‌کش‌ها اغلب به وسیله پارامترهای مختلفی فراتر از توان کنترل کاربر تحت تاثیر قرار می‌گیرد. این عوامل ناخواسته مثل خشک شدن قطره سم در اثر هوای گرم و تجزیه نوری می‌باشند، از این رو مواد افزودنی می‌توانند ابزاری موثر برای کشاورزان در کنترل عوامل ناخواسته باشند. بنابراین انتخاب ماده افزودنی و فرمول‌بندی ، حایز اهمیت ویژه می‌باشد (Kudsk and Mathiassen, 2007).

انجمن علوم علف‌های هرز آمریکا[1] ، اعلام کرده است که مویان به هر ماده‌ای گفته می‌شود که در فرمول‌بندی علف‌کش یا به مخزن سم‌پاش افزوده و باعث تغییر در فعالیت یا خصوصیات کاربرد آن می‌شود (WSSA, 1994). مواد افزودنی را می‌توان براساس کارکردبه دو گروه‌های فعال کننده‌ها[2] و بهبود دهنده‌ها[3] طبقه‌بندی نمود (جدول ۱).



شکل ۱- ساختار شیمیایی مواد همراه و جذب¬کننده های رطوبت

[1] Weed Science Society Of America
[2] Activator Adjutants
[3] Utility Adjutants

جدول ۱- مشخصات و ویژگی‌های مواد افزودنی

ماده افزودنی	ترکیبات
خیس کننده‌ها	
فریگیت	۸۱/۲ درصد مخلوطی از اسیدهای چرب شاخه بلند (آنیونی)
سیتوگیت	۱۰۰ درصد الکیل آریل پلی گلیکول اتر (غیر یونی)
دی اکتیل	۷۰ درصد سولفوساکسینات سدیم به همراه ۰/۰۵ درصد مولیبدن و ۰/۱ درصد مس (آنیونی)
نفوذ دهنده‌های روغنی	
روغن ولک	۸۰ درصد روغن (هیدروکربن آلیفاتیک)، ۱۸ درصد آب و ۲ درصد امولسیون کننده
آدیگور	۳۷ درصد مُنداب متیله شده
پروپیل	۴۳ درصد روغن نفتی
نفوذ دهنده‌های کودی	
سولفات آمونیوم	۲۱ درصد نیتروژن به صورت کاتیون آمونیوم و ۲۴ درصد سولفور به صورت آنیون سولفات
نیترات آمونیوم	۲۴/۵ درصد نیتروژن به صورت کاتیون آمونیوم و ۱۶/۵ درصد نیتروژن به صورت آنیون نیترات
اسیدی کننده‌ها	
لوور	۲۲/۵ درصد نیتروژن اوریک و ۶۰ درصد سولفیدریک آن‌هیدریک

مواد افزودنی فعال کننده در جهت افزایش فعالیت بیولوژیکی علف‌کش‌های پس رویشی، اغلب از طریق افزایش میزان جذب علف‌کش به درون بافت‌های گیاه هدف، عمل می‌کنند. نحوه عمل مواد افزودنی فعال کننده شامل کاهش کشش سطحی محلول پاشش به منظور افزایش تماس با سطح هدف (خیس کننده) و حل کردن کوتیکول برگ (نفوذ دهنده)، افزایش نگهداشت پاشش (چسبنده)، افزایش مقاومت در برابر باران‌شویی می‌باشد که موجب افزایش جذب از سطح هدف و افزایش کارایی می‌شوند. مواد افزودنی بهبود دهنده که اغلب تعدیل کننده‌های پاشش هم نامیده می‌شوند سبب بهینه‌سازی فرایند پاشش می‌شوند. این مواد بطور مستقیم، فعالیت زیستی آفت‌کش را افزایش نمی‌دهند، ولی باز هم به دلیل تسهیل کاربرد و به حداقل رسانی تعاملات و اثرات جانبی ناخواسته در حین کاربرد از ارزش بالایی برخوردارند مثلاً آنها قابلیت پایداری بر روی سطح گیاهان را نسبت به عوامل محیط افزایش می‌دهند (Hazen, 2000).

بطور مثال برای کاهش اثر خشک شدن سریع در اثر هوای گرم، جذب کننده‌های رطوبت بکار برده می‌شوند. این مواد به وسیله جذب رطوبت از اتمسفر در برابر خشک شدن حتی پس از خشک شدن محلول مایع، مقاومت می‌کنند. مواد روغنی، شبیه روغن‌های گیاهی غلیظ شده یا روغن بذری متیل[1] شده نیز در برابر خشک شدن مقاومت می‌کنند (Sondhia and Varshney, 2010). وقتی قطره علف‌کش بر روی سطح برگ قرار می‌گیرد، دو مسیر برای ورود ماده موثره علف‌کش به درون گیاه وجود دارد، مسیر اول، نفوذ کوتیکولی است، که در اکثر موارد، مسیر اصلی نفوذ علف‌کش می‌باشد و مسیر دوم، ورود مستقیم به محفظه روزنه می‌باشد (Jinxia, 1996). از این رو کوتیکول به عنوان اولین مانع، برای جذب علف‌کش‌هایی است که روی شاخ و برگ به کار برده می‌شوند؛ به همین دلیل از بین رفتن آن توسط مواد افزودنی از قبیل روغن‌های گیاهی[2] زمینه نفوذ و جذب علف‌کش بیشتری را فراهم می‌کند (Zand et al., 2008).

[1]Methylated Seed Oils (MSO)
[2]Vegetable Oils

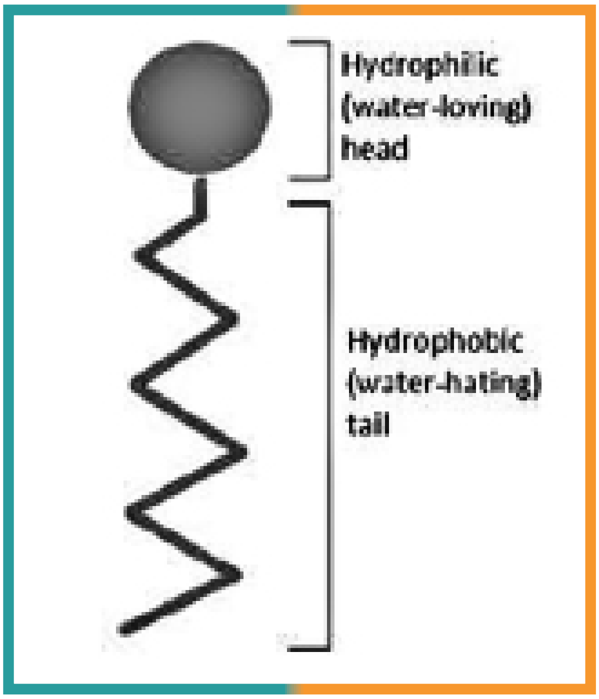
مطالعات قبلی نشان داده است که افزایش نفوذ ماده فعال بوسیله روغن های گیاهی با نازک‌تر شدن یا تخریب موم کوتیکولی عامل موثرتری نسبت به کاهش کشش سطحی قطرات محلولپاشی شده می‌باشد (Sharma and Singh, 2000). علاوه بر این، روغن های گیاهی موجب تاخیر در کریستالیزه شدن (Bunting et al., 2004)، کاهش تبخیر (Ramsey et al., 2005) و تجزیه نوری[1] (Si et al., 2004) ماده فعال علف کش بر روی سطح برگ می شوند. بطور کلی عقیده بر این است که افزایش نفوذ ناشی از این نوع مواد افزودنی می تواند به دلیل نرمی، قابلیت ارتجاع، یا حل شدن کوتیکول مومی باشد. بدین ترتیب امکان انتشار علف کش به سمت لایه زیرین که دارای خواص آب دوستی بیشتری است، فراهم می‌شود (Hall et al., 1993).

انواع سورفکتانت‌های مورد استفاده در کشاورزی

واژه سورفکتانت از واژگان "Surface active agent" گرفته شده که به معنای عامل فعال سطحی است. سورفکتانت‌ها کاهش دهنده کشش سطحی هستند که می توانند انرژی سطحی را بین سطوح به میزان زیادی تغییر دهند. خاصیت یک سورفکتانت ناشی از دوگانه بودن ساختمان مولکولی آن است به این معنی که همزمان دارای گروه های آبدوست و آبگریز می باشد (شکل ۲). بنابراین به تناسب ساختار مولکولی در حلال های آلی و آب، حل می شوند و باعث کاهش کشش سطحی در فصل مشترک روغن- آب و یا هوا-آب می شوند. افزودنی ها در مورد بسیاری از سموم آنقدر مهم هستند که ممکن است عدم کاربرد آنها به همراه سم موجب کاهش ۳۰ تا ۵۰ درصدی تاثیر سم (بصورت جداگانه) روی آفت شوند.

بسیاری از کارشناسان و کشاورزان به اشتباه این باور را دارند که هرچه غلظت افزودنی‌ها بیشتر باشد تاثیر سم بیشتر است در صورتی که به اثبات رسیده که افزودن غلظت افزودنی ها نه‌تنها موثر نیست بلکه به شدت برای گیاه مضر است و آسیب جدی به برگ ها و درختان خواهد زد.

سورفکتانت یا پخش کننده ها به گروه های زیر تقسیم می شوند. ۱-امولسیون کننده ها[2]: موادی هستند که باعث معلق شدن ذرات ریز روغن در آب می‌شوند. ساده ترین مواد این گروه صابون ها و شوینده‌ها[3] می‌باشند. ۲-تثبیت کننده ها[4]: که با کم کردن اتصال بین ذرات مشابه باعث ثبات بیشتر محلول می‌شوند. ۳-عوامل خیس کننده - پهن کننده‌ها[5]: به موادی گفته می‌شود که سطح تماس بین قطرات سم و سطح برگ را زیاد می کنند.



شکل ۲-ساختمان مولکولی سورفکتانت

[1]Photodegradation
[2]Emulsifiers
[3]Detergent
[4]Dipersing Agent
[5]Wetting Agents or Spreaders

هر سه گروه، دارای یک خاصیت فیزیکوشیمیایی مشترک هستند، یعنی دارای یک بخش قطبی آبدوست و یک بخش غیر محلول نسبتاً آب گریز هستند. بنابراین در آب و روغن محلول‌اند.
سورفکتانت ها براساس بار الکتریکی بخش آبدوست به چهار دسته تقسیم می‌شوند: آنیونی، کاتیونی، غیریونی و دوگانه دوست (Ferna´ndez Cirelli et al., 2008).

۱- ترکیبات آنیونی

این ترکیبات در آب تشکیل یون های منفی می دهند و از نوع ترکیبات سولفات، فسفات و کربوکسیلات با یک سدیم یا یک کلسیم به عنوان ضد آن هستند (شکل ۳). بطور عمده در مواد شوینده پودری و مایع خانگی استفاده می‌شود، صابون معمولی از جمله این مواد است. این گونه مواد اگرچه به آسانی قابل تهیه‌اند، ولی با یون‌های مثبت محلول در آب سخت، واکنش داده و تشکیل نمک نامحلول می‌دهند و در روغن به خوبی حل نمی‌شوند (Castro et al., 2014).

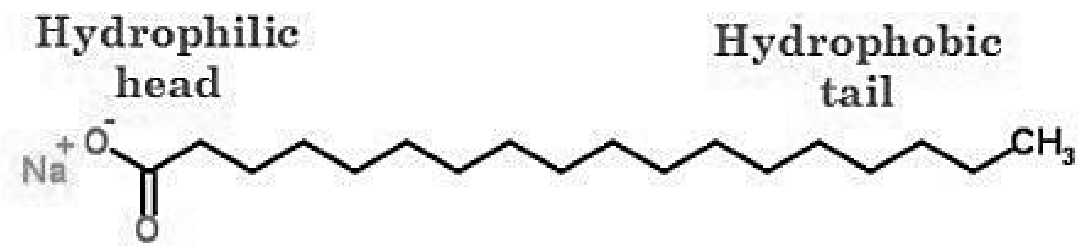
۲- ترکیبات کاتیونی

در آب تشکیل یون های مثبت می‌دهند. بخش کاتیونی این مواد از نیتروژن چهار ظرفیتی تشکیل شده است.

اگرچه این ترکیبات گران می‌باشند ولی این امتیاز را دارند که به علت دارا بودن بار مثبت در آب سخت، تولید نمک نامحلول نمی‌کنند. از جمله این ترکیبات مثل: ستیل تریمتیل آمونیوم بروماید[1] (Castro et al., 2014). بار این نوع از سورفکتانت ها وابسته به pH می باشد چرا که گروه کاتیونی آنها وابسته به تجزیه آمین ها می‌باشد. سورفکتانت‌هایی که یک تا سه گروه آمینی دارند، تا هنگامی که pH کمتر از ۱۰ باشد، دارای بار مثبت هستند در حالی که سورفکتانت هایی که دارای یک گروه چهارم آمونیومی باشند همواره دارای بار مثبت می‌باشند و pH در بار مثبت آنها تاثیری ندارد.

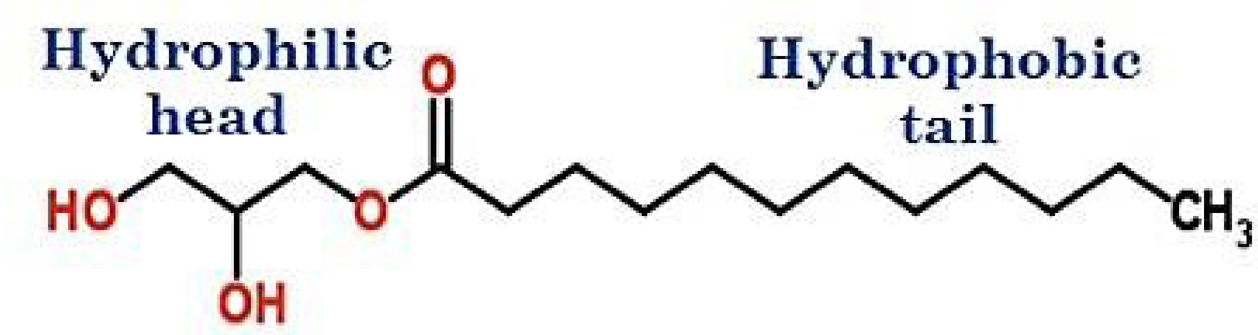
۳- ترکیبات غیریونی

این ترکیبات فاقد بار الکتریکی بوده و برخلاف ترکیبات یونی در روغن به خوبی محلولند. (شکل ۴).رفتار هیدرولیکی سورفاکتانت های غیریونی، ناشی از پلیمراز گلیکول اتر یا واحد گلوکز است (Ferna´ndez Cirelli et al., 2008). این نوع از سورفکتانت ها به علت سازگاری با همه آفت کش ها به طور گسترده در کشاورزی به کار برده می‌شوند. اینها معمولا دارای یک زنجیره الکلی بلند با یک سر الکلی آب‌دوست و یک دم هیدروکربنی آب‌گریز (چربی دوست) می‌باشند.



شکل ۳-ساختار شیمیایی سورفکتانت آنیونی

[1] Cetyltrimethylammonium Bromide



شکل ۴- ساختار شیمیایی سورفاکتانت غیریونی

پلی‌اکسی‌اتیلن‌سوربیتول‌مونرپالیمات از جمله ترکیبات غیریونی است که به نام توئین موسوم است. از سورفکتانت های غیریونی در مواد شوینده، امولسیفایر ها، عوامل رطوبت و عوامل پراکنده استفاده می شود. در بسیاری از بخش ها، از جمله، صنعتی و سازمانی برای تمیز کردن محصولات، نساجی، خمیر و کاغذ، رنگ و ... مقدار زیادی از آنها استفاده می شود (Castro et al., 2014).

۴- ترکیبات دوگانه دوست

هر دو حالت کاتیونی و گروه آنیونی در ساختار آنها می باشد (شکل ۵). محلول در آب بوده و سازگاری عالی با دیگر سورفکتانت‌ها را نشان می دهد. این سورفکتانت‌ها با عنوان سورفکتانت‌های دوگانه یا زویترآیونیک ، که در زبان آلمانی دوگانه یا هیبرید معنی می‌دهد، در گذشته به سورفکتانت‌های دو قطبی معروف بودند؛ چرا که هر دو مرکز آنیونی و کاتیونی آنها به یک مولکول متصل می‌باشد و دارای هر دو بار منفی و مثبت می‌باشند. معمولاً دارای گروه آمین همراه با کربوکسیلیک یا سولفونیک اسید هستند (Castro et al., 2014).

مویان‌های سیلیکونی

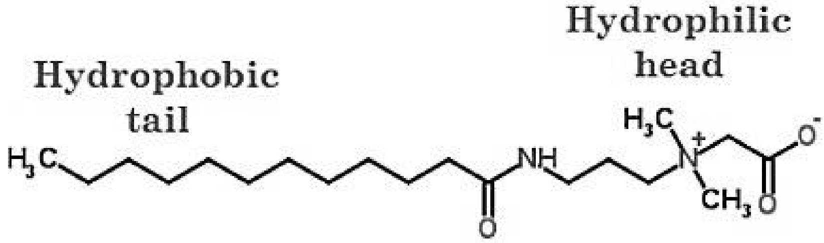
این ترکیبات به صورت مخلوط یا تنها با مویان های غیریونی تولید و کشش سطحی را به شدت کاهش می دهند و لایه نازکی را در سطح پهنک برگ ایجاد می کنند، نسبت به مویان های عادی دوز کمتری استفاده می شود و فقط در pH بین ۶-۸ می توان آنها را بکار برد مانند: (Action 99- -Break-thru- Century- Freeway Galactic-Kinetic -Motion -Perless Silkin- Silwet Energy -Sylgard (309- Silwet L-77

سورفکتانت‌های نیتروژن‌دار

این نوع از سورفکتانت‌ها تنها برای علف کش‌ها به کار می‌روند.

روغن‌های استری

این سورفکتانت‌ها از واکنش اسیدهای چرب گرفته شده از روغن‌های گیاهی مانند روغن سویا، کلزا یا ذرت با یک الکل ساخته می‌شوند.



شکل ۵- ساختار شیمیایی سورفکتانت دو گانه دوست

نحوه عمل افزودنی ها

هـر مولکـول آب ماننـد یـک آهـن ربـا دارای یـک قطـب مثبـت (مولکـول H^+ و یـک قطـب منفـی مولکـول O_2^-) اسـت. هنگامـی کـه مقـدار زیـادی از مولکول‌هـای آب روی هـم و یـا در کنـار هـم و در یـک جـای محـدود جمـع شـوند (مثـلاً سـطح بـرگ یـا سـطح بدن حشـرات) قطب‌هـای مثبـت و منفـی همدیگـر را جـذب می‌کننـد. ایـن جـذب موجـب بـروز پدیـده‌ای بنـام کشـش سـطحی آب[1] خواهـد شـد و بنابرایـن افزایـش کشـش سـطحی موجـب کاهـش جـذب و نفـوذ سـم در داخـل بافـت و همچنیـن غلطیـدن قطـرات سـم از روی برگ‌هـا و افزایـش هـدر رفـت، خواهـد شـد. اضافـه کـردن افزودنی‌هـا موجـب کاهـش کشـش سـطحی و افزایـش نفـوذ سـم بـه داخـل حشـره یـا بافـت گیـاه خواهـد شـد و همچنیـن موجـب افزایـش قـدرت چسـبندگی، پخـش شـوندگی قطـرات سـم خواهـد شـد. کاهـش کشـش سـطحی محلـول سـم موجـب خواهـد شـد پوشـش مناسـب‌تری از سـم روی آفـت مـورد نظـر یـا گیـاه مـورد نظـر داشـته باشـیم و رانـدمـان سم‌پاشـی بـالا خواهـد رفـت. کیفیـت مـوادی کـه بـه عنـوان افزودنـی مـورد اسـتفاده قـرار می‌گیرنـد، بسـیار مهـم اسـت. اسـتفاده از مـواد شـوینده شـیمیایی ماننـد صابون‌هـا و مایعـات ظرفشـویی نه‌تنهـا مشـکلی را حـل نمی‌کننـد بلکـه بـه شـدت مضـر اسـت چـون عـلاوه بـر افزایـش درجـه قلیایـی محلـول سـم موجـب آسـیب جـدی بـه برگ‌هـا می‌شـود. در مـورد یـک افزودنـی مناسـب بایـد بـه ایـن نکتـه توجـه شـود کـه قـدرت کف‌کنندگـی[2] صابون‌هـا هـر چـه کمتـر باشـد ضـرر و صدمـه آن بـه گیـاه کمتـر خواهـد بـود. در مـورد یـک افزودنـی سـعی بـر ایـن اسـت کـه ایـن مـاده ضدکـف[3] باشـد و هرچـه قـدرت کف‌کنندگـی یـک افزودنـی کمتـر باشـد بهتـر اسـت.

ارزیابی خصوصیات فیزیکی مویان ها

۱-میـزان مـاده مؤثـر[4]: عبـارت اسـت از مقـدار مـاده سـورفکتانتی کـه در محصـول وجـود دارد و براسـاس درصـد بیـان می‌شـود و در هـر محصولـی کـه مقـدار مـاده موثـر کمتـر از ۵۰ درصـد باشـد ممکـن اسـت، اثـر کافـی نداشـته باشـد.

۲- HLB : مویان‌هـا را براسـاس نسـبت بیـن دو جـزء مولکـول درجه‌بنـدی می‌کننـد، کـه بـه نسـبت آبدوسـتی و چربی‌دوسـتی (تـوازن هیدروفیلیکـی لیپوفیلیکـی[5]) یـا همـانHLB نشـان می‌دهنـد. سـورفکتانت‌ها را براسـاس شـدت آبدوسـتی بیـن ۰-۲۰ درجـه بنـدی می‌کننـد. مویان‌هـای کـه درجـه HLB آنهـا بیـن ۱-۳ باشـد حالـت چربـی داشـته و در آب پخـش نمی‌شـوند، بیـن ۳-۶ بـه سـختی در آب پخـش می‌شـوند و ۶-۸ بصـورت موقتـی در آب پخـش می‌شـوند، ۸-۱۰ حالـت شـیری ثابـت، ۱۰-۱۳ مایـع کـدر و از ۱۳ بـه بـالا کامـلاً شـفاف و صافنـد. بنابرایـن هرچـه میـزان HLB بالاتـر باشـد، نشـان دهنـده حلالیـت بیشـتر مویـان در آب خواهـد بـود. معمـولاً مویان‌هایـی کـه بـه عنـوان خیـس کننـده بـکار می‌رونـد HLB آنهـا بیـن ۱۰-۱۳ اسـت (Green, 2001; Gaskin and Holloway. 1992).

۳-زاویـه تمـاس[6]: منظـور زاویـه بیـن یـک قطـره بـا سـطح، کـه بـا افـزودن مویـان بـه دلیـل پخـش شـوندگی بیشـتر قطـره روی سـطح زاویـه، کوچکتـر می‌شـود.

۴-زمـان لازم بـرای خیسـندگی[7]: مـدت زمانـی اسـت کـه محلـول بتوانـد یـک بافـت پنبـه‌ای را خیـس کنـد، کـه مویـان خـوب بایـد در کمتـر از ۲۰ ثانیـه ایـن عمـل را انجـام دهـد ، و هرچـه از ۲۰ ثانیـه کمتـر باشـد مویـان بهتـری خواهـد بـود.

[1]Surface Tention
[2]Foaming
[3]Antifoaming
[4]Surfactant Load
[5]Hydrophilhc Lipophilc Balances (HLB)
[6]Contact Angle
[7]Draves Wetting

۵-کشش سطحی[1]: ویژگی‌ای در مایع‌ها است که باعث می‌شود لایه بیرونی آن‌ها به صورت ورقه‌ای کشسان عمل کند. این همان ویژگی است که موجب ربایش دو سطح مایع به یکدیگر می‌شود، مانند دو قطره آب که همدیگر را می‌ربایند و قطره بزرگ‌تری می‌سازند. و معیار آن Dynes/Cm است کشش سطحی آب خالص ۷۴ و مویان‌های معمولی ۳۰-۵۰ و خیلی خوب ۱۰-۳۰ می‌باشد. کاهش کشش سطحی محلول پاشش به معنای آن است که قطره‌ها بیشتر از حالت اولیه‌شان پخش می‌شوند که این امر باعث افزایش پوشش شده و سطح جذب را افزایش می‌دهد (Sondhia and Varshney, 2010). بطور کلی، کمتر بودن کشش سطحی و گرانروی سبب تولید ذرات ریزتری می‌شوند (DeRuiter et al., 2003).

صابون‌های حشره کش[2]

صابون‌ها و شوینده‌ها می‌توانند به عنوان یک حشره‌کش تماسی عمل کنند. این موارد در صورتی موثر خواهند بود که سم‌پاشی، بدن آفت را کاملاً پوشانده و خیس کند.

صابون‌ها نمک اسیدهای چرب هستند. انواع مختلفی از اسیدهای چرب وجود دارند ولی صابون‌های ساخته شده از اسیدهای چرب معینی می‌توانند خاصیت حشره‌کشی و یا کنه‌کشی داشته باشند و این مربوط به طول زنجیره اسید چرب است. بیشتر صابون‌هایی که خاصیت حشره‌کشی و کنه‌کشی دارند دارای اسیدهای چرب c ۱۰-۱۸ می‌باشند. زنجیره‌های کوتاه‌تر، خاصیت علف‌کشی دارند، برای مثال از اولئیک‌اسید[3] که در روغن زیتون موجود است، صابون پتاسیم تهیه می‌شود که روی حشره و کنه بسیار موثر است. از مهم‌ترین صابون‌ها، صابون سدیم (جامد) و پتاسیم (مایع) است. هر دو صابون سدیم و پتاسیم در آب حل می‌شوند ولی صابون پتاسیم حشره‌کش موثرتری است.

صابون‌ها از جمله آفت‌کش‌های انتخابی هستند و تاثیر آن‌ها رو شکارگرها به جز کنه‌های شکارگر کم است. صابون‌ها در غشای سلول‌های حشرات گسستگی ایجاد کرده و لایه مومی حشرات را از بین می‌برد و حشره با از دست دادن آب بدن می‌میرد. از طرف دیگر به علت کاهش کشش سطحی، آب در مجاری تنفسی حشره نفوذ کرده و دسترسی به اکسیژن را در حشره کاهش می‌دهد. شته‌ها، شپشک‌ها، سفید بالک‌ها، پسیل‌ها و کنه‌های تارتن به صابون حساسند.

سایر مواد کمکی

عوامل‌چسبناننده: باعث چسبیدن ذرات آفت‌کش به سطح سمپاشی شده می‌شوند. مصرف عمده این ترکیبات در مواردی است که ذرات آفت‌کش در سطح گیاه باقیمانده و به داخل برگ نفوذ نمی‌کنند. اضافه کردن این مواد باعث می‌شود که آفت‌کش به وسیله باران یا جریان باد از سطح برگ شسته و رانده نشود. کازیین[4]، آرد، ژلاتین[5]، رزین[6] و لاتکس[7] از این گونه موادند.

مواد ضدکف: ترکیب دیگری است که در مخزن سمپاش‌های بزرگ از تشکیل کف جلوگیری می‌کند. ترکیبات پلی‌دی‌متیل‌سیلوکسان[8] از جمله مواد ضدکفاند.

مواد اسیدی کننده: برای پایین آوردن pH محلول رقیق شده آفت‌کش به کار گرفته می‌شود. مصرف اصلی این مواد در مورد آب‌های با pH قلیایی است که باعث تجزیه ماده موثر فرمولاسیون می‌شود. ترکیبات آلی فسفاتیک اسید[9] از این گروه ترکیبات‌اند.

---

[1]Surface Tension
[2]Insecticide soaps
[3]Oleic acid
[4]Casein
[5]Gelatin
[6]Resin
[7]Latex
[8]Polydimethylsiloxane
[9]Phosphatic acid

مواد جلب کننده: شامل مواد غذایی مانند شکر و ملاس و همچنین فرمون جلب کننده حشرات است. این مواد آفت به‌خصوصی را به محل سمپاشی شده یا طعمه گذاری شده جلب می‌کنند.

مواد غلیظ کننده: وقتی این مواد به محلول اضافه می‌شود، تعداد قطرات ریز تشکیل شده کاهش می‌یابد، اضافه کردن این مواد به منظور پرهیز از بادبردگی قطرات آفت‌کش است. پلی آکریل آمید[1]، نمونه‌ای از این مواد می‌باشد.

مرطوب کننده‌ها :این مواد باعث افزایش زمان بین سمپاشی و تبخیر آب قطرات سم از سطح برگ می‌شود و در مواردی که نفوذ آفت‌کش در برگ به زمان بیشتری احتیاج دارد به کار گرفته می‌شود.

رقیق کننده‌ها: موادی هستند که با حشره‌کش‌ها یا فرمولاسیون‌های غلیظ مخلوط می‌مایند. رقیق کننده‌های مایع که معمولا" استفاده می‌شوند شامل آب و بعضی از روغن‌های تصفیه شده‌اند. در محلول‌هایی که آب به عنوان رقیق کننده اضافه می‌شود، وجود یک عامل خیس کننده یا امولسیون کننده الزامی است. رقیق کننده‌های جامد ذرات بسیار ریزی هستند که در فرمولاسیون گرد و گرانول به کار می‌روند. رقیق کننده‌های معمولی شامل آرد سویا، خاک رس، بنتونیت و پودر تالک هستند (طالبی جهرمی، ۱۳۹۰).

نتیجه گیری

در دهه‌های اخیر تمایل به استفاده بیش از اندازه سموم و کودهای شیمیایی در تمام جهان به ویژه در ایران، به منظورحفاظت از محصولات کشاورزی افزایش یافته است. بنابراین نیاز به استفاده از مواد مکمل کاملاً احساس می‌گردد. این مواد جهت بهبود کارآیی آفت‌کش‌های شیمیایی یا تسهیل در مخلوط کردن آنها به آفت‌کش‌ها اضافه می‌گردند. بیشترین مصرف تجاری مواد مکمل در علف‌کش‌ها می‌باشد اما در حشره‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها و تنظیم کننده‌های رشد گیاهی نیز در حال گسترش است. مواد مکمل در کشورهای توسعه یافته به ویژه آمریکا و اروپا نقش بسیار مهمی را در مصرف آفت‌کش‌ها ایفا می‌نمایند.

استفاده از مواد افزودنی، ضمن افزایش کارایی، می‌تواند سبب کاهش اثرات سوء زیست محیطی شده و گامی در جهت نیل به کشاورزی پایدار باشد (Ramsdale and Messersmith, 2002). با وجود مزایای گفته شده برای مواد افزودنی، برخی از مواد افزودنی مصنوعی، همانند برخی از مواد شیمیایی دیگر، عوارض جانبی را بر حیات وحش تحمیل می‌کنند (Rashed-Mohassel et al., 2009).

[1]Polyacrylamide

مواد مکمل بدلیل افزایش کارایی، سازگاری بالا با محیط زیست و مقرون به صرفه بودن به لحاظ اقتصادی به رهیافتی نوین در عرصه کاربرد در انواع آفت‌کش‌ها تبدیل شده‌اند. مواد مکمل می‌بایستی متناسب با شرایط خاص کاربرد هر آفت‌کش مورد استفاده قرار گیرند و این موضوع تنها با انجام آزمایشات خاص در جهت کاهش میزان مصرف آفت‌کش‌ها امکان پذیر می‌باشد. در اروپا تقریباً ۴۵۰ نوع ماده مکمل مورد استفاده قرار می‌گیرد که این آمار در انگلستان در حدود ۲۵۰ نوع می‌باشد.

در آمریکا طبق استاندارد برچسب نویسی آفت‌کش‌ها باید بر روی برچسب، نوع ماده همراه مورد استفاده ذکر گردد و بدون وجود ماده مکمل، هیچ آفت‌کشی در آژانس بین المللی حفاظت از محیط زیست[1] ثبت نمی‌شود. این امر به این دلیل است که مصرف مواد مکمل باعث کاهش مصرف انواع سموم می‌گردد.

با وجود تمام این مزایا، مویان‌ها خود نیز مواد شیمیایی هستند، امروزه به آلودگی‌های زیست محیطی آفت‌کش‌ها و خطرات کاربرد آنها در رابطه با سلامت انسان توجه زیادی شده، ولی به خطرات زیست محیطی مویان‌ها توجه کمتری معطوف شده است. این ترکیبات دارای اثرات مشخصی روی گیاهان و حیوانات هستند و برخی از آنها توانایی بالقوه‌ای در آلوده نمودن منابع آب‌های سطحی و زیر سطحی دارند، از این رو در استفاده از مواد افزودنی در مجاورت منابع آبی می‌بایست توجه کافی داشت، زیرا ممکن است پیامدهای ناگواری برای گونه‌های آبزی در پی داشته باشد.

[1] Environmental Protection Agency

منابع

طالبی جهرمی، خ. سم شناسی آفت کش‌ها (حشره‌کش‌ها - کنه‌کش‌ها - موش‌کش‌ها). ۱۳۹۰، انتشارات دانشگاه تهران.

Bellinder, R.R., Arsenovic, M., Shah, D.A., & Rauch, B.J.(2003). Effect of weed growth stageand adjuvant on the efficacy of fomesafen and bentazon. Weed Science. 51, 1016-1021.

Bunting, J.A., Sprague, C.L., & Riechers, D.E. (2004). Proper adjuvant selection for foramsulfuron activity. Crop Protection. 23, 361-366.

Castro, M.J.L, Ojeda, C. & Fernández Cirelli, A. (2014). Advances in surfactants for agrochemicals. Environmental Chemistry Letters, 12, 85–95.

DeRuiter, H., Holterman, H. J., Kempenaar, C., Mol, H.G. J., DeVliger, J. J., & DeZade, J.C.V. (2003). Influence of adjuvants and formulations on the emission of pesticides to the atmosphere. Wageningen, Plant Research International B.V.

Ferna´ndez Cirelli, A, Ojeda, C, Castro, M.J.L., & Salgot, M. (2008). Surfactants in sludge- amended agricultural soils. A review. Environmental Chemistry Letters, 6, 135–148.

Gaskin, R.E. and Holloway, P. (1992). Some physicochemical factors influencing foliar uptake enhancement of glyphosate-mono (isopropylaminonium) by polyoxyethylene surfactants. Pesticide Science, 34, 195-206.

Green, J.M. (2001). Herbicide adjuvants. In: UC Davis WRIC Weed Science School, September 26-28, 2001, Woodland, CA.

Green, J.M., and Beestman, G.B. (2007). Recently patented and commercialized formulation and adjuvant technology. Crop Protection,. 26, 320-327.

Hall, F.R., Chapple, A.C., Downer, R.A., Kirchner, L.M. &Thacker, J.R.M. (1993). Pesticide application as affected by spray modifiers. Pesticide Science, 38, 123-133.

Hazen, J. L. (2000). Adjuvants terminology, classification and chemistry. Weed Technology. 14, 773-784.

Jinxia, S. (1996). Characterization of organosilicone surfactants and their on sulfonylurea herbicide activity. Approved: Foy CLC, Grayson RL, Hatzios KK, Hess JL and Orectt DM. Blacksburg.Virginia.

Kapusta, G. (1996). A Compendium of Herbicide Adjuvants. 3rd ed. Carbondale: Southern Illinois University. 48 p.

Kudsk, P. and Mathiassen, S.K. (2007). Analysis of adjuvant effects and their interactions with variable application parameters. Crop Protecion. 26, 328-334.

Ramsdel, B.K. and Messersmith, C.G. (2002). Low-Rate Split-Applied Herbicide Treatments for Wild Oat (Avena fatua L.) Control in Wheat (Triticum aestivum). Weed Technology, 16(1), 149-155.

Ramsey, R.J.L., Stephenson, G.R., & Hall, J.C. (2005). A review of the effects of humidity, humectants, and surfactant composition on the absorption and efficacy of highly water-soluble herbicides. Pesticide Biochemistry and Physiology, 82, 162–175.

Rashed-Mohassel, M.H., Aliverdi, A. & Ghorbani, R. (2009). Effect of magnetic field and adjuvant in efficacy of cycloxydim and clodinafop-propargyl on control of wild oat (Avena fatua L.). Weed Biology and Management, 9, 300-306.

Sharma, S.D., and Singh, M. (2000). Optimizing foliar activity of glyphosate on Bidens frondosa and Panicum maximum with different adjuvant types. Weed Research, 40, 523-533.

Si, Y., Zhou, J., Chen, H., Zhou, D., & Yue, Y. (2004). Effects of humic substances on photodegradation of bensulfuron-methyl on dry soil surfaces. Chemosphere, 56, 967–972.

Sondhia, S. and Varshney, J.G. (2010). Herbicides. SSPH. New Dehli

WSSA Herbicide Handbook, 7th ed. (1994). Champaign, IL: Weed Science Society of America. 313 p.

Zand, E., Mousavi, S.K. & Heidari, A. (2008). Herbicides and their application methods with optimization approach and reduce consumption. Jihad, Mashhad University Press. (In Persian).

نشریه علمی-ترویجی (حرفه‌ای) انجمن علمی دانشجویی گروه گیاهپزشکی
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

بررسی برخی فاکتورهای رونویسی در ارتباط با بیماری‌زایی *Fusarium oxysporum*

عارف مرادپور

دانشجوی دکتری بیماری شناسی گیاهی دانشگاه تهران

10.22059/GIAHPZSHSJ.2023.357094.1021

چکیده

Fusarium oxysporum یک بیمارگر شناخته شده گیاهی خاکزاد است، که باعث پژمردگی آوندی در محصولات کشاورزی در سراسر جهان می شود. در طی فرایند ایجاد آلودگی، فاکتورهای پرآزاری مختلف، مانند آنزیم های تجزیه کننده دیواره سلولی، همچنین افکتورها و قارچ زهرها توسط *F. oxysporum* ترشح می شود که در بیماری زایی نقش مهمی ایفا می کنند. همچنین این فاکتورها مسئول پاسخ به تنش های غیر زنده محیطی و میزبان نیز می باشند. در این میان تعدادی از این فاکتورهای رونویسی که از طریق مکانیسم ها و مسیرهای مختلف برای بیماری زایی ضروری هستند، مطالعه شدند. این فاکتورهای رونویسی در چند خانواده مرتب شده اند و خانواده فاکتورهای رونویسی انگشت رویین بزرگترین خانواده در بین این چند خانواده است. مطالعه تحقیقاتی حاضر نقش عملکردی تعدادی از این فاکتورهای رونویسی در *F. oxysporum* را تعیین کرده است، که براساس نقش بیماری زایی خود در *F. oxysporum* در چهار گروه مرتب می شوند. علاوه بر این، سایر موارد مانند عملکردهای زیستی، مسیرها، دامنه اهداف، همولوگ‌های این فاکتورهای رونویسی و تجزیه و تحلیل ارتباط بین آن ها با یکدیگر مقایسه شدند. این بررسی یک تجزیه و تحلیل طبقه‌بندی شده مربوط به ژن های تنظیم کننده در ارتباط با پرآزاری *F. oxysporum* ارائه می‌دهد.

واژه های کلیدی: *Fusarium oxysporum*، فاکتورهای رونویسی، بیماری زایی.

Plant Pathologist
Scientific-Extensional (Proffesional) Journal of Plant Protection
Scientific Association of Plant Protection, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

Studies of some transcription factors related to the pathogenicity of the pathogen *Fusarium oxysporum*

Aref Moradpour

Ph.D. student of plant pathology, University of Tehran

10.22059/GIAHPZSHSJ.2023.357094.1021

Abstract

Fusarium oxysporum is a well-known soil-borne plant pathogen, which causes vascular wilt in agricultural crops worldwide. During the infection process, various virulence factors, such as cell wall-degrading enzymes, as well as effectors and mycotoxins, are secreted by F. oxysporum, which play an important role in fungal pathogenesis. Also, these factors are responsible for the response to abiotic environmental and host stresses. Meanwhile, a number of these transcription factors have been studied, which are necessary for pathogenesis through different mechanisms and pathways. These transcription factors were classified in several families, and the family of zinc finger is the largest family among these families. The current research study has determined the functional role of some of these transcription factors in *F. oxysporum*, which are were classified in four groups based on their pathogenic role in *F. oxysporum*. In addition, biological functions, pathways, target domains, homologues of these transcription factors and analysis of the relationship between them were compared. This review presents a classification analysis of genes regulatory to *F. oxysporum* virulence related.

Keywords: *Fusarium oxysporum*, transcription factors, pathogenicity.

مقدمه

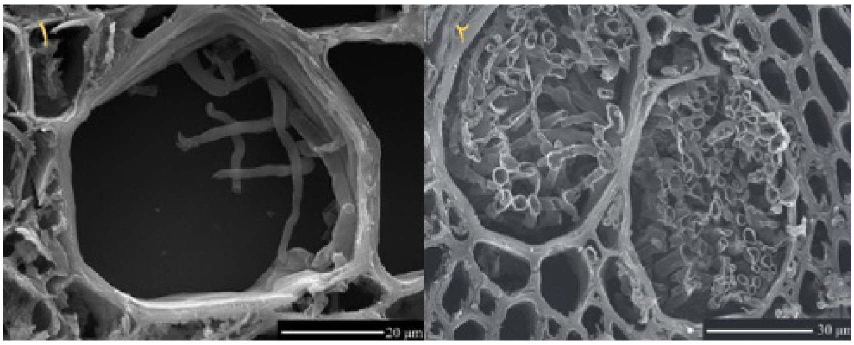
Fusarium oxysporum یک قارچ رشته ای بیمارگر گیاهی است که باعث پوسیدگی ریشه، پژمردگی و نکروز در تعداد زیادی از گیاهان میزبان می‌شود و در رده پنجم از ۱۰ پاتوژن گیاهی برتر با اهمیت علمی و اقتصادی قرار گرفته است (Geiser, et al., 2013). این قارچ خاکزاد به صورت فرم غیر جنسی، شامل استرین‌هایی از دو گروه بیماری زا (گیاه، حیوانات و انسان) و غیر بیماری زا می‌باشد. استرین های بیمارگر گیاهی بر اساس میزبان به فرم های اختصاصی[1] تقسیم شده‌اند، همچنین برخی از آن ها را می‌توان براساس توانایی آلوده کردن ارقام مختلف به نژادها یا پاتوتیپ ها تقسیم کرد. گونه قارچی *F. oxysporum* به بیش از ۱۰۰ فرم اختصاصی بر اساس گونه های میزبان مخصوص طبقه بندی می شود، مانند بیمارگر گوجه فرنگی *F. oxysporum f. sp. lycopersici* (Fol)، بیمارگر موز *F. oxysporum f. sp. cubense* (Foc)، بیمارگر لوبیا (Fop) *F. oxysporum f. sp. phaseoli* و بیمارگر خربزه *F. oxysporum f. sp. melonis* (Fom)،(Takken & Rep, 2010).

پس از نفوذ *F. oxysporum* از طریق ریشه‌های گیاه، با کلنیزه کردن سیستم آوندی (شکل ۱) موجب اختلال در سیستم انتقال آب شده که منجر به ایجاد علائم پژمردگی و مرگ گیاه می‌شود. در طی فرآیند آلودگی، *F. oxysporum* از تعدادی سیستم‌های ترشحی استفاده کرده و انواع مختلفی از فاکتورهای پرآزاری مانند قارچ زهرها[2]، افکتورهای پروتئینی و آنزیم‌های تخریب کننده دیواری سلولی ، برای تخریب سلول های هدف میزبان ترشح می‌کنند (Ma, et al., 2013). آنزیم‌های تخریب کننده دیواری سلولی[3]، مانند پلی گالاکتورونازها، پکتات لیازها، زایلانازها و کوتینازها ممکن است با تخریب موم، کوتیکول‌ها و دیواره‌های سلولی، در القا تهاجم و گسترش بیمارگر در بافت میزبان، به بیماری‌زایی کمک کنند.

علاوه بر این، *F. oxysporum* توانایی تولید قارچ‌زهرها، از جمله بیووریسین[4] ، فوزاریک اسید[5] (López-Díaz, et al., 2018) و فومونیسین[6] (Rheeder, et al., 2002) را دارد، که به بیماری‌زایی در میزبان کمک می‌کنند. بیووریسین و فوزاریک اسید با Foc همراه بوده و موجب پژمردگی، پوسیدگی و مرگ گیاهی موز در شرایط آزمایشگاهی می‌شوند. در نژاد ۴ Foc مناطق گرمسیری[7] (TR۴)، فوزاریک اسید نقش اساسی را به عنوان یک فاکتور مثبت پرآزاری، به ویژه در مرحله اولیه شروع بیماری ایفا می‌کند (Liu, et al., 2020).

بیووریسین قارچ زهری است که توسط بسیاری از گونه‌های فوزاریوم و توسط *Beauveria bassiana* تولید می‌شود که موجب تکه تکه شدن DNA و مختل کردن مسیرهای بیوشیمیایی میتوکندریایی آپوپتوز می‌شود (Mallebrera, et al., 2018). بیووریسین درFol ، سطح اسید اسکوربیک را در سلول‌های گوجه‌فرنگی کاهش می‌دهد و منجر به فروپاشی سیستم آسکوربات و مرگ پروتوپلاست می‌شود. علاوه بر آنزیم های تخریب کننده دیواری سلولی و قارچ زهر ها، *F. oxysporum* افکتورهای پروتئینی شناخته شده با نام Six (ترشح شده در آوند چوبی[8]) تولید می‌کند، که اولین بار یک گروه از این افکتورهای غنی از سیستئین از شیره آوند چوبی گوجه فرنگی پس از تلقیح با عوامل بیماری‌زا شناسایی شد. در Fol، تعدادی از ژن‌های SIX نقش مهمی در تعیین ویژگی میزبان اختصاصی بازی می‌کنند. به عنوان مثال، SIX۴ (AVR۱)، (AVR۲) SIX۳ و SIX۱ (AVR۳) به عنوان ژن‌های ناپرآزاری عمل می‌کنند که به صورت گسترده با ژن‌های مقاومت گوجه فرنگی I-۲، (I-Immunity) ۱-I و ۳-I برهمکنش دارند (Takken & Rep, 2010).

[1] Formae speciales
[2] Mycotoxins
[3] Cell wall-degrading enzymes
[4] Beauvericin
[5] Fusaric acid
[6] Fumonisins
[7] Foc tropical race 4
[8] Secreted in xylem



شکل ۱: هیف های *F. oxysporum f. sp. lycopersici* درون آوند چوبی.) عکس از : (Caldwell & Iyer-Pascuzzi, 2019)

ژن های SIX در دامنه ای از فرم های اختصاصی *F. oxysporum* شناسایی شده اند، اما هر یک از این فرم‌های اختصاصی ترکیبی خاص از این ژن های SIX دارا می باشد که می‌توانند در تعیین ویژگی میزبان اختصاصی *F. oxysporum* استفاده شوند (vanDam, et al., 2016). در Fol ، ژن های SIX روی کروموزوم‌های اجدادی ویژه و شناخته شده قرار دارند و به عنوان کروموزوم‌های جانبی دارای تعداد زیادی از عناصر ژنتیکی متحرک[1] بوده که درتعیین میزبان اختصاصی نقش دارند. علاوه بر این، کروموزوم های جانبی می توانند به صورت افقی به استرین دیگر منتقل شوند، که با بیماری‌زایی در میزبان اختصاصی *F. oxysporum* مرتبط است (vanDam, et al., 2017). فاکتورهای رونویسی نقش اصلی در تنظیم رونویسی عوامل دخیل در مسیرهای مربوط به بیماری‌زایی *F. oxysporum* را دارند. در طی آلودگی، *F. oxysporum* با اتصال و درک نشانه‌های میزبان به وسیله فعال شدن تعدادی از فاکتورهای رونویسی، برنامه ریزی رونویسی به گونه ای تنظیم می‌شود تا قارچ از نظر فیزیولوژی، بیماری زایی و رشد در محیط میزبان تطابق پیدا کند.

ژن‌های مربوط به رمزگذاری فاکتورهای رونویسی بزرگترین خانواده پروتئینی را در *F. oxysporum* می‌سازند.

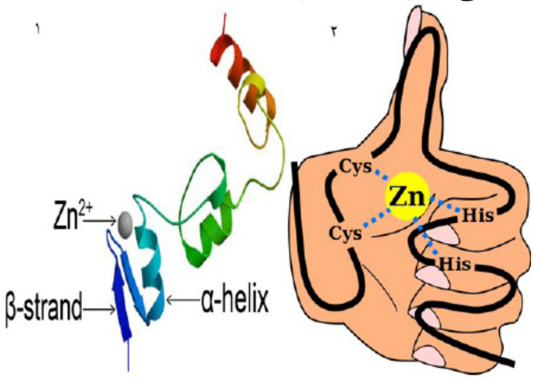
خانواده‌های عمده فاکتورهای رونویسی در F. oxysporum

فاکتورهای رونویسی بر اساس دامنه‌های متصل شونده به DNA (DBD[2])s به خانواده‌های ساختاری کاملاً تعریف شده گروه بندی می‌شوند. بزرگترین این‌ها در یوکاریوت‌ها، از جمله قارچ‌های رشته‌ای، شامل خانواده‌های انگشت روی (ZF[3])، همودومین (HD[4])، زیپ پایه لوسینی (bZIP[5]) و پایه مارپیچ-حلقه مارپیچ (bHLH[6]) هستند. فراوان ترین نوع فاکتور رونویسی انگشت رویین (ZF) است، که در همه موجودات زنده یافت می‌شود و یکی از بزرگترین خانواده‌های فاکتورهای رونویسی را در یوکاریوت‌ها تشکیل می‌دهد (Seetharam & Stuart, 2013).

این پروتئین‌ها شامل صفحات بتا[7] دو رشته‌ای ناموازی و یک مارپیچ آلفا[8] و بر پایه سیستئین(Cys) و هیستیدین(His) محافظت شده‌اند، که در یک ساختار انگشت مانند محاصره شده قرار دارند (شکل۲). آن ها به ۹ زیر خانواده‌Cys۲/His۲-type (C۲H۲) ، C۲HC، C۴HC۳ ، C۲HC۵ ، C۳HC۴، C۳H، C۶ ، C۴ و C۸ طبقه‌بندی می‌شوند (Cassandri, et al., 2017).

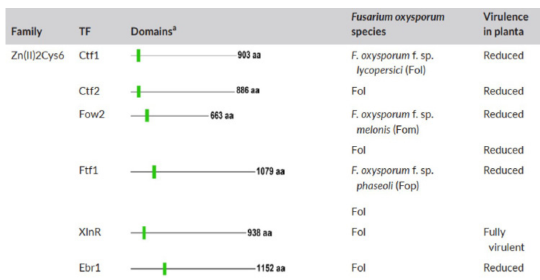
[1]Transposable elements
[2]DNA-binding domains
[3]Zinc finger
[4]Homeodomain
[5]Basic leucine zipper
[6]Basic helix-loop-helix
[7]Sheets
[8]Helix

در بین این زیر خانواده ها، نوع C۶ از پروتئین کلاستر رویین منحصراً در مخمر و در قارچهای رشته‌ای یافت می‌شود، که به این نوع از فاکتورهای رونویسی، انگشت رویین دو هسته‌ای ۲Cys۶ (Zn (II گفته می‌شود (شکل۳).



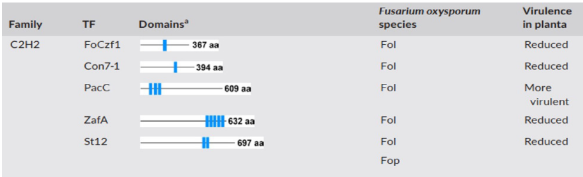
شکل۲: ۱- حالت فضایی پروتئین ۲- حالت انگشت مانند
عکس از: (Han, et al., 2020).

در دومین انگشت رویین C۲H۲، حضور یک اتم روی با دو سیستئین حفاظت شده در یک انتهای صفحات بتا و دو هیستیدین محافظت شده در انتهای کربوکسیلی مارپیچ آلفا موجب اطمینان از پایداری ساختار انگشت روی می‌شود. در *F. oxysporum*، در مجموع پنج عدد از فاکتورهای رونویسی انگشت رویین C2H2 شامل FolCzf1، Ste12، ZafA ، PacC و Con7-۱ شناسایی و عملکردشان مشخص شده است (شکل۴). پروتئین‌های GATA، شامل خانواده‌ای متصل به GATA در فاکتورهای رونویسی انگشت رویین هستند، که عملکردهای متنوعی در قارچ ها دارند و از یک یا دو ماژول پیوند شده با روی به همراه چهار سیستئین تعبیه شده در توالی -Cys X2-Cys-X17/18-Cys-X2-Cys تشکیل می‌شوند (شکل۵) (Teakle & Gilmartin, 1998).



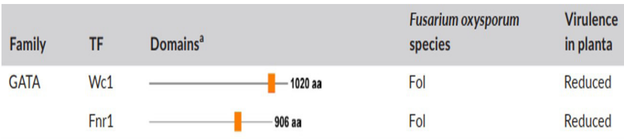
Family	TF	Domains[a]	*Fusarium oxysporum* species	Virulence in planta
Zn(II)2Cys6	Ctf1	903 aa	*F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Fol)	Reduced
	Ctf2	886 aa	Fol	Reduced
	Fow2	663 aa	*F. oxysporum* f. sp. *melonis* (Fom)	Reduced
			Fol	Reduced
	Ftf1	1079 aa	*F. oxysporum* f. sp. *phaseoli* (Fop)	Reduced
			Fol	
	XlnR	938 aa	Fol	Fully virulent
	Ebr1	1152 aa	Fol	Reduced

شکل۳: عکس از : (Zuriegat, et al., 2021).



Family	TF	Domains[a]	*Fusarium oxysporum* species	Virulence in planta
C2H2	FoCzf1	367 aa	Fol	Reduced
	Con7-1	394 aa	Fol	Reduced
	PacC	609 aa	Fol	More virulent
	ZafA	632 aa	Fol	Reduced
	St12	697 aa	Fol	Reduced
			Fop	

شکل۴: عکس از : (Zuriegat, et al., 2021).



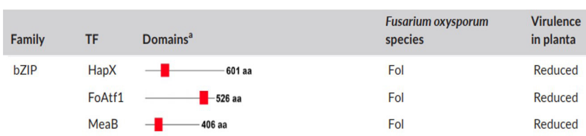
Family	TF	Domains[a]	*Fusarium oxysporum* species	Virulence in planta
GATA	Wc1	1020 aa	Fol	Reduced
	Fnr1	906 aa	Fol	Reduced

شکل۵: عکس از : (Zuriegat, et al., 2021)

زیپ پایه لوسینی یک موتیف ساختاری سه بعدی و رایج در پروتئین‌هاست که نخستین بار در سال ۱۹۸۸ میلادی توصیف شد.

زیپ لوسین یک دومین دایمریزه (جفت کننده دو مونومر[۱]) کننده bZIP در فاکتور رونویسی یوکاریوت‌هاست. پروتئین های bZIP در تنظیم رونویسی نقش دارند. پروتئین‌های خانواده bZIP به واسطه ناحیه متصل شونده به DNA و ناحیه زیپ لوسینی متشکل از بیش از ۹ تکرار هفتایی با یک لوسین در هر هفت آمینو اسید برای دایمریزه کردن پروتئین شناخته می‌شوند، لذا هنگام دایمر شدن پروتئین به دو مونومر اجازه اتصال به یکدیگر را می‌دهد (Qi, et al., 2013). در *F. oxysporum* ، عملکرد سه فاکتور رونویسی bZIP شامل HapX، FoAtf1 و MeaB مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است (شکل۶) (López-Berges, et al., 2012).

کمپلکس پروتئینی Velvet (گروهی از پروتین‌هایی که به ویژه در قارچهای رشته‌ای وجود داشته و در تکثیر و تولید متابولیت‌های ثانویه نقش دارند) در قارچهای رشته ای بسیار محافظت شده‌اند و شامل پروتئین‌های(VelC ، VelB، VeA) VelA و LaeA هستند.



Family	TF	Domains[a]	*Fusarium oxysporum* species	Virulence in planta
bZIP	HapX	601 aa	Fol	Reduced
	FoAtf1	526 aa	Fol	Reduced
	MeaB	406 aa	Fol	Reduced

شکل۶: عکس از : (Zuriegat, et al., 2021)

[1]Dimerizing

تصور می‌شود که این پروتئین‌ها تنظیم کننده اصلی فرآیندهای سلولی مختلف، مانند متابولیسم ثانویه و اسپورسازی جنسی یا غیرجنسی باشند. در *F. oxysporum*، نقش دو فاکتور رونویسی VeA و VelB تعیین شده است (شکل ۷) (López-Berges, et al., 2013).

Family	TF	Domains[a]	*Fusarium oxysporum* species	Virulence in planta
Velvet	VeA	532 aa	Fol	Reduced
	VelB	481 aa	Fol	Reduced

شکل ۷: عکس از : (Zuriegat, et al., 2021).

خانواده پروتئینی APSES متعلق به رده فاکتور رونویسی پایه مارپیچ-حلقه- مارپیچ (bHLH) بوده و در قارچ ها بسیار محافظت شده‌اند. این پروتئین‌ها در فرآیندهای مختلف بیولوژیکی مانند اسپورسازی، تمایز سلولی، رشد میسیلیومی، متابولیسم ثانویه و پرآزاری در قارچ ها موثراند (Ding, et al., 2018). در *F. oxysporum*، عملکرد دو فاکتور رونویسی StuA و Swi۶ مطالعه شده است.

فقط یک فاکتور رونویسی از هر کدام از خانواده‌های MADS-box، Pac2/Gti1 و فاکتور شوک حرارتی[1] (HSF) در *F. oxysporum* مورد بررسی قرار گرفته است. MADS مخففی تشکیل شده به ترتیب از فاکتورهای تعمیرگر مینی کروموزوم ۱ (MCM[2]) در *S. cerevisiae*، AGAMOUS (AG) در *Arabidopsis*، DEF (DEFICIENS) در *Antirrhinum majus* و فاکتور S سرم خون (SRF[3]) در *Homo sapiens* می‌باشد. در *F. oxysporum*، تنها عملکرد فاکتور رونویسی Rlm۱ از مجموع MADS بررسی شده است (Ding, et al., 2018). Pac2/Gti1 یک خانواده پروتئینی محافظت شده است که تنظیم تغییرات ظاهری[4] و تولید قارچزهر و بیماری‌زایی را در قارچها کنترل می‌کند (Qi, et al., 2019). در *F. oxysporum* تنها عملکرد FoSkn۷ در این خانواده بررسی شده است.

[1]Heat shock factor
[2]MINI CHROMOSOME MAINTENANCE 1
[3]Serum response factor
[4]Morphogenic

تنظیم کننده های رونویسی فاکتورهای مستقیم در پرآزاری در قارچ F. oxysporum

فکتورها، آنزیم های تخریب کننده دیواره سلولی و قارچزهر ها به عنوان فاکتورهای مهمی که مستقیما با بیماری‌زایی در ارتباط هستند در نظر گرفته می‌شوند، که در طول کلنیزاسیون بافت‌های میزبان توسط *F. oxysporum*، شرایط رونویسی را تنظیم می‌کنند (Liu, et al., 2020). در میان تجزیه و تحلیل عملکرد ۲۶ فاکتور رونویسی در *F. oxysporum*، Sge۱ و Ftf۱ بیان ژن‌های تنظیمی فعالیت آنزیم‌های تخریب کننده دیواره سلولی شامل Xln۱ ، Ctf۱ و Ctf۲ را تنظیم می‌کنند، در حالی که FolCzf۱ و کمپلکس Velvet به عنوان تنظیم کننده تولید قارچزهر عمل می‌کنند.

Sge1 و Ftf1 ژن های رمزگذاری کننده افکتورها را در F. oxysporum تنظیم می‌کنند

Sge۱، ارتولوگ Wor۱ می باشد، که برای اولین بار در Fol شناسایی شد. در Fol، موتانت فاقد SGE۱ (ΔSGE۱) تقریبا در برابر گیاه گوجه فرنگی بیماری‌زایی خود را از دست داده است، و حذف SGE۱ بر رشد پارازیتی در بافت آوند چوبی تأثیر می‌گذارد اما در کلنیزاسیون سطح ریشه و نفوذ به ریشه اثری ندارد. تصور می شود که Sge۱ در تنظیم بیان ژن‌های افکتورSIX۳، SIX۲، SIX۱ و SIX۵ در Fol نقش داشته باشد. همولوگ SGE۱ در Foc نژاد گرمسیری ۴ (TR۴) و نژاد۱، تنظیم کننده بیماری‌زایی در ریشه موز می‌باشد. خاموشی RNAi (siRNA) یک رویکرد میزبان است که توسط آن با خاموشی ژن SGE۱ به طور مستقیم در بیماری‌زایی Foc اختلال ایجاد می‌کند (Fer-nandes, et al., 2016).

همولوگ Sge1 در سایر بیمارگرهای قارچی گیاهان، از جمله Reg1 در VdSge1 ، *Botrytis cinerea* در *Verticillium dahliae* ، Ros1 در *Ustilago maydis* و Gti1 در *Magnaporthe oryzae* برای بیماری‌زایی مورد نیاز است (Tollot, et al., 2016).

فاکتور رونویسی *Fusarium* (FTF[1]) از یکی خانواده‌های ژنی مستقر در کروموزوم های جانبی *F. oxysporum* است. خانواده ژنی FTF، متعلق به خانواده فاکتورهای رونویسی Zn۲Cys۶ است، که شامل ژن تک کپی FTF۲ است که در همه آسکومیست های رشته ای وجود دارد. چندین نسخه از FTF۱ به طور انحصاری در *F. oxysporum* وجود دارد (Niño-Sánchez, et al., 2016). فاکتورهای رونویسی FTF۱ و FTF۲ در تنظیم بیان SIX۱ نقش دارند و یکی از این دو تنظیم کننده SGE۱ می باشد. در Fol، پارالوگ های FTF۱ بر روی کروموزوم های جانبی[2] قرار داشته و FTF۲ (همولوگ FTF۱) بر روی یک کروموزوم هسته ای[3] قرار دارد. حذف کروموزوم جانبی پارالوگ های FTF۱ باعث کاهش شدت بیماری زایی Fol بر روی میزبان شد. در حالی که حذف FTF۲ بر رشد یا اسپورزایی Fol تأثیر نمی گذارد اما شدت بیماری زایی را اندکی کاهش می دهد. مشابه SGE1، حذف FTF1 در Fop بر روند نفوذ به میزبان تأثیر نمی گذارد اما در کلنیزاسیون آوند چوبی گیاه توسط Fop تأثیر می گذارد، و Ftf1 افکتور تنظیمی مثبت ژن های SIX1 و SIX6 است، که هر دو در ژنوم سویه های پرآزار Fop وجود دارند اما در ژنوم سویه های با شدت بیماری زایی کمتر وجود ندارند (Niño-Sánchez, et al., 2016). این نتایج بر پایه تجزیه و تحلیل سطح بیان در Fol براساس افزایش سطح رونویسی دو فاکتور SGE1 و FTF1 در فرآیندهای ایجاد بیماری و بیان ذاتی FTF1 و SGE1 ثابت شده است، که بیان یک مجموعه بزرگ همپوشان از ژن های SIX را القا می کنند، که برهمکنش این فاکتورهای رونویسی را پیشنهاد می کند (van der Does, et al., 2016).

ژن های رمزگذاری کننده XlnR، Ctf1 و Ctf۲ آنزیم های تخریب کننده دیواره سلولی را در F. oxysporum تنظیم می کنند

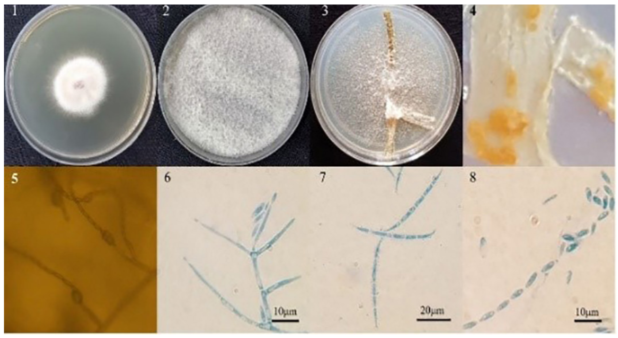
در Fol، حذف ژن XLNR منجر به حذف فعال کننده رونویسی ژن های زایلاناز هم در کشت و هم در هنگام آلودگی گیاهان گوجه فرنگی می شود. با این حال، موتانت XLNR هنوز هم کاملاً در گیاه گوجه فرنگی بیماری زا می باشد. این نتایج نشان داد که XlnR، فعال کننده کلیدی رونویسی ژن های زایلاناز است، اما یک تعیین کننده در میزان شدت بیماری در *F. oxysporum* نیست. نقش XlnR در *M. oryzae*، در تنظیم بیان ژن‌های درگیر در مسیر کاتابولیسم پنتوز تعیین شده ولی نقشی روی ژن های آنزیم‌های همی سلولولیتیک ندارد. در *F. graminearum*، Xyr1 همولوگ XlnR است که زایلاناز را تنظیم می‌کند اما در ترشح سلولاز نقش ندارد.

Ctf1و Ctf2 دو همولوگ در Fol هستند که در تنظیم سیستم لیپولیتیک (فرآیند تجزیه به واسطه هیدرولیز) نقش دارند (Bravo-Ruiz, et al., 2013). جهش یافته‌ای با حذف تک ژن CTF1 یا CTF2 یا جهش یافته‌ای با حذف دو ژن CTF1 و CTF2 در Fol، منجر به کاهش فعالیت عمده لیپاز می‌شود. Ctf1 و Ctf2 نقش تنظیمی مثبت روی هفت ژن لیپاز LIP15، LIP13، LIP10 ، LIP3، LIP2 ، LIP1 و LIP22 دارد. همچنین Ctf1 نقش تنظیمی منفی بر ژن‌های LIP20 ، LIP 1.2 و LIP21 دارد، در حالی که Ctf2 نقش منفی بر بیان LIP1.2 دارد. این جهش‌ها همگی باعث کاهش شدت بیماری‌زایی در گوجه‌فرنگی می‌شوند، یافته های فوق بیانگر این است که سیستم لیپولیتیک در Fol برای بیماری‌زایی مهم است (Bravo-Ruiz, et al., 2013).

[1] Fusarium transcription factor
[2] Accessory chromosomes
[3] Core chromosome

FolCzf1 و کمپلکس Velvet تنظیم کننده تولید قارچ زهر در F. oxysporum هستند

فاکتور رونویسی FolCzf1 از C2H2 نقش مهمی در آلودگی اولیه *F. oxysporum* دارد (Yun, et al., 2019). حذف FolCzf1 منجر به کاهش شدت بیماری‌زایی و کاهش تولید اسید فوزاریک می‌شود. مطالعه پروفایل رونویسی نشان داد که FolCzf1 در تنظیم ژن‌های موثر در بیوسنتز اسید فوزاریک نقش دارد (Yun, et al., 2019). همولوگ‌های FolCzf1، در *F. graminearum* شامل GzC2H003 و در *M. oryzae* نیز GCF3 هستند که در مرحله اولیه آلودگی بسیار بیان شده و برای بیماری‌زایی ضروری هستند.



شکل۸: گونه *Fusarium verticillioides* ۱) سطح رویی پرگنه پس از سه روز رشد در محیط غذایی PDA، ۲) حالت پرگنه قارچ پس از هفت روز رشد روی محیط غذایی PDA، ۳و۴) اسپورودوکیوم روی برگ گیاه میخک، ۵) سردروغین و زنجیر کنیدیومی، ۶) سلول کنیدیوم زا (منوفیالید)، ۷) ماکروکنیدیوم، ۸) زنجیر میکروکنیدیومی(عکس از : مرادپور و صارمی ۱۳۹۹).

حذف GzC2H003 اثری بر بیوسنتز قارچ‌زهر دئوکسی نیوالنول[1] ندارد اما منجر به افزایش تولید زیرالنون[2] می‌شود. یک کمپلکس هتروتریمری Velvet محافظت شده، تنظیم کننده در توسعه و گسترش قارچ و متابولیسم ثانویه است که قبلاً در سایر قارچ های بیمارگر فوزاریوم، مانند *F. graminearum*، *F. verticillioides* و *F. fujikuroi* بررسی شده است.

[1]Deoxynivalenol
[2]Zearalenone

در Fol، از دست دادن اجزایی از Velvet شامل VEA، VELB یا VELC باعث افزایش تولید کنیدی و همچنین تغییر در شکل و اندازه میکروکنیدی‌ها می‌شود. VeA و LaeA برای بیماری‌زایی کامل Fol بر روی گیاهان گوجه‌فرنگی ضروری هستند (López-Berges, et al., 2013). علاوه بر این، کمپلکس پروتئینی Velvet در بیان کلاستر ژنی بیوریسین نیز نقش دارد (López-Berges, et al., 2013). اختلال در ژن FgVEA در میزان تشکیل هیف های هوایی، خاصیت آبگریزی، پرآزاری و تولید دئوکسی نیوالنول اثر کاهشی دارد (López-Berges, et al., 2013).

تنظیم کننده های فاکتور رونویسی کنیدی زایی در تولید مثل غیرجنسی F. oxysporum

F. oxysporum در تولید مثل غیرجنسی خود بی‌نظیر است و مقادیر زیادی از سه نوع کنیدی (میکروکنیدی، ماکروکنیدی و کلامیدوسپور) را تولید می‌کند (شکل۸) (Ma, et al., 2013). مشاهده کلنیزه کردن میزبان نشان می‌دهد که این فرآیند با تجمع کنیدی‌ها و با تشکیل یک صفحه موجب انسداد آوندها می‌شود. سپس، میکروکنیدی‌ها جابجا شده و با تولید لوله تندش و رشد قادر به تولید کنیدی های بیشتری هستند.

StuA و Ren۱ تنظیم‌کننده در کنیدی‌زایی به هنگام تولید غیرجنسی در *F. oxysporum* هستند. در *F. oxysporum f. sp. melonis* (Fom) موتانت‌هایی با حذف REN۱، تولید میکروکنیدی و ماکروکنیدی تحت تأثیر قرار می‌گیرد، اما رشد رویشی و تشکیل کلامیدوسپور به صورت طبیعی مشاهده می‌شود (Ma, et al., 2013).

در Fol با حذف STUA، در شرایط کشت شکل گیری میکروکنیدی به صورت طبیعی است و تشکیل ماکروکنیدی کاهش دارد اما افزایش شکل گیری کلامیدوسپور دیده می‌شود، منتها جهش یافته‌ها در گیاهان آلوده کمتر از تیپ وحشی ماکروروکنیدی و میکروکنیدی تولید می‌کنند. با این حال، از دست دادن Ren۱ یا StuA تأثیری بر روی بیماری‌زایی نمی‌گذارد، که نشان می‌دهد میکروکنیدی و ماکروکنیدی ممکن است برای بیماری‌زایی *F. oxysporum* لازم نباشند (Ma, et al., 2013).

تنظیم کننده فاکتورهای رونویسی متابولیسم عمومی و پرآزاری در F. oxysporum

سه فاکتور رونویسی Con۷-۱، Ebr۱ و Snt۲ متابولیسم عمومی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. ویژگی‌های مهمی از جمله پرآزاری، پس از حذف این سه عامل تحت تأثیر قرار گرفتند. با این حال، اینکه آیا این سه فاکتور رونویسی نیز نقش تنظیمی مستقیم در پرآزاری دارند یا خیر هنوز ناشناخته است. برخلاف این سه فاکتور رونویسی، Fow۲ و Cti۶ تنظیم کننده‌های ویژه در بیماری‌زایی *F. oxysporum* هستند و از دست دادن آن‌ها بر پرآزاری تأثیر می‌گذارد، اما مکانیسم آن ناشناخته است.

Ebr۱ به عنوان یک فاکتوردر ایجاد اختلال در رشد، کاهش بیماری‌زایی و اندکی کاهش ظرفیت‌های کنترل زیستی در *F. graminearum* معرفی شده است. در تعداد ۴۲۸۷ استرین از Fol، ۹ عدد پارالوگ EBR۱ تعیین شد.

حذف EBR۱ در سویه‌های مختلف Fol دارای تعداد مختلفی از ژن‌های EBR، منجر به اختلال یکسان در رشد و کاهش بیماری‌زایی شد، که بیانگر این است که ویژگی‌های رشد و بیماری‌زایی در سویه‌های Fol مستقل از نسخه‌های دیگر EBR می‌باشند (Thatcher, et al., 2012).

Con۷ به عنوان یک تنظیم کننده اصلی ویژگی های ظاهری مربوط به آلودگی در قارچ عامل بلاست برنج *M. oryzae* توصیف شده است. با این حال، وجود سه نسخه از همولوگ Con۷ در Fol مشخص شده است، و Con۷-۱ (FOXG_11503) نزدیکترین سطح شباهت (۶۹٪) را به Con۷ در *M. oryzae* نشان می دهد (Ruiz-Roldán, et al., 2015). حذف ژن و تجزیه و تحلیل بیان ژن مبتنی بر ریزآرایه مقایسه ای[1] نشان داد که Con۷-۱ به عنوان یک تنظیم کننده کلی در تقارن رشد، انشعاب هیفی، کنیدی زایی و بیماری زایی عمل می کند (Ruiz-Roldán, et al., 2015). در مقابل، غیرفعال سازی همزمان هر دو نسخه Con7-2 موجب قابل تشخیص نبودن عیب ها در جهش یافته ها می شود، که پیشنهاد می‌کند دو نسخه دیگر Con7-2 برای رشد، توسعه و بیماری‌زایی *F. oxysporum* اهمیت ندارند. Snt2 در تنظیم رشد هیف، تشکیل دیواره عرضی هیف، کنیدی زایی و تنفس قارچی در *F. oxysporum f. sp. melonis* (Fom) نقش دارد. جهش یافته‌هایی با حذف SNT2 به طور مشخص کاهش پرآزاری در گیاهان خربزه از خودشان نشان دادند و به طور قابل توجهی میزان کمتری از کلنیزاسیون بالای ساقه در آن ها مشاهده شد که نشان می‌دهد Snt2 در مراحل اولیه و کلنیزاسیون میزبان توسط بیمارگر Fom ضروری است. علاوه بر این، نقش Snt2 در بیان چهار ژن MSF1، PDC ، IDI4 و EEF1G در مسیر TOR[2] مشخص شده است،

[1] Comparative microarray-based

[2] Target of Rapamycin

اما مشخص شده که Snt2 در متابولیسم نیتروژن دخیل نیست، که بیانگر این است که مسیرهای Snt2 و TOR اجزای مشترکی را بین خود برای حمایت یک مکانیسم تنظیمی در انجام مراحل بیولوژیکی سلول در *F. oxysporum* به اشتراک می‌گذارند (Denisov, et al., 2011).

Fow۲، یک فاکتور رونویسی (II) Zn از نوع 2Cys6، که برای رشد هیفی و کنیدی زایی در Fom لازم نیست اما برای پرآزاری کامل لازم است. fow۲ همچنین در Fom نقش کنترلی در حمله به ریشه‌ها و کلنیزاسیون بافت گیاه را ایفا می‌کند. FOW۲ در فرم‌های اختصاصی *F. oxysporum*بسیار محافظت می‌شوند (Denisov, et al., 2011).

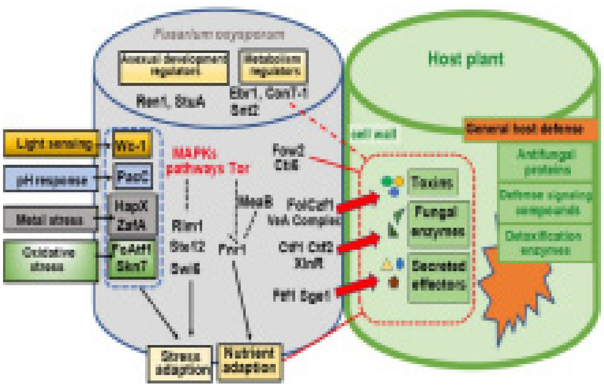
همولوگ های Fow2 در شش مورد دیگر از فرم‌های اختصاصی *F. oxysporum* شناسایی شدند، و حذف FOW2 در Fol نیز منجر به نزدیك شدن به غیر پرآزار بودن در گیاهان گوجه فرنگی شد. در cti6 ، *S. cerevisiae* در تأمین سریع فعال کننده رونویسی GAL1، به واسطه داشتن نقش هماهنگی با هیستون استیل ترانسفراز حاوی کمپلکس SAGA نقش دارد، تا میزان مهار Cyc8-Tup1 را کاهش دهد.

نتیجه گیری

نبود روش های کنترلی مؤثر بر بیماری پژمردگی فوزاریومی، تولید بسیاری از محصولات اقتصادی به ویژه کشت در شرایط گلخانه را تهدید می‌کند. بنابراین، درک بهتر مکانیسم‌های مولکولی موثر در بیماری‌زایی *F. oxysporum* درون میزبان در توسعه روش‌های کنترل پایدار ضروری است (شکل۹). *F. oxysporum* مستقیماً توسط هیف عفونت زا از طریق ریشه‌ها وارد گیاهان می‌شود و سپس با کلنیزاسیون در آوندهای چوبی در آنجا تکثیر می‌شود. مشخص شده است که فاکتورهای موثر بر پرآزاری، از جمله آنزیم‌های تخریب کننده دیواری سلولی، قارچ زهر ها و افکتورها در فرآیند آلودگی *F. oxysporum* اهمیت دارند.

بیان ژن‌های رمزگذاری کننده فاکتورهای مهم پرآزاری، توسط بیش از یک فاکتور رونویسی تنظیم می‌شوند، مثلا دو فاکتور رونویسی Ftf1 و Sge1 در تنظیم خانواده ژنی Six نقش دارند (van der Does, et al., 2016).

ژن‌های افکتورهای Six به طور ویژه در فرآیند آلودگی بیان می‌شوند، اما چگونگی همکاری و پیشبرد FTF۱ و SGE۱ در بیان ژن‌های SIX طی فرآیند آلودگی هنوز ناشناخته است. بنابراین، بررسی اپی ژنتیکی ژنوم و بررسی دقیق عملکرد مکانیسم این فاکتورهای رونویسی مهم مرتبط با پرآزاری مورد نیاز است. در مرحله جوانه زنی کنیدی و نفوذ، *F. oxysporum* دچار کمبود مواد غذایی بوده و برای به دست آوردن مواد غذایی لازم به میزبان حمله می‌کند (López-Berges, et al., 2020). برای بقا و تکثیر در آوندهای چوبی، *F. oxysporum* به طور موثری از مواد غذایی موجود در آوند چوبی استفاده کرده و به تنش‌های محیطی مانند نور، واکنش به اسیدیته، گرسنگی آهن، پایداری روی و تنش اکسیداتیو پاسخ می‌دهد که این موارد نقش مهمی در روند آلودگی دارند. برای درک بیشتر شبکه ژن‌های تنظیم کننده پاسخگو به تنش در *F. oxysporum*، اجزای سیستم‌های تنظیمی باید شناسایی شوند، از جمله ژن‌های رمزگذاری کننده فاکتورهای رونویسی و ژن‌هایی که محصولات پایین دست را رمزگذاری می‌کنند.



شکل۹: تصویر عوامل موثر در بیماری‌زایی *F. oxysporum*
عکس از : (Zuriegat, et al., 2021.)

در دسترس بودن ژنوم کامل برخی از فرم‌های اختصاصی *F. oxysporum* می‌تواند در بهبود درک نقش فاکتورهای رونویسی دخیل در بیماری‌زایی کمک کند و قبلاً شواهدی از چندین مکانیسم بیماری‌زایی ارائه شده است. پیش بینی شده است که برخی از این فاکتورهای رونویسی در هماهنگی بیان ژن نقش اساسی داشته و ممکن است بین کروموزوم‌های اصلی و کروموزوم‌های جانبی تبادل داشته باشند. در میان بررسی عملکردی ۲۶ فاکتور رونویسی در *F. oxysporum*، چهار فاکتور رونویسی FTF۱، EBR۱ ، PACC و FOW۲ در ژنوم توسعه یافته و به بیماری‌زایی کمک می‌کنند. در یک مطالعه طی بررسی ژنوم بیمارگر قارچی فرصت طلب *F. oxysporum* NRRL32931، چهار پارالوگ PACC (PACC_B ، PACC_A ، PACC_0 ، و PACC_C) شناسایی شد (Zhang, et al., 2020).

این چهار فاکتور رونویسی شامل یک نسخه ژنی که بر روی کروموزوم‌های هسته ای و چندین نسخه که بر روی کروموزوم‌های جانبی توزیع می‌شوند، هستند. نشان داده شده است که فاکتورهای رونویسی رمزگذاری شده در ژنوم هسته دارای توانایی تنظیم بیان سایر پارالوگ‌های مستقر در کروموزوم جانبی هستند، مانند پارالوگ های EBR1 شکل (EBR3 ، EBR2 و EBR4)، که توسط EBR1 بر روی کروموزوم هسته ای، تنظیم می‌شوند.

مشابه EBR، PACC بر روی کروموزوم هسته ای عملکرد اصلی در تنظیم pH قلیایی را دارد (Zhang, et al., 2020). در مقابل، حذف نسخه FTF1 از روی کروموزوم جانبی نقش آن در پرآزاری را نشان می‌دهد، در حالی که FTF1 موجود روی کروموزوم هسته‌ای که در طول آلودگی تنظیم می‌شود که بیانگر تأثیر کمتر آن بر پرآزاری است (Ruiz-Roldán, et al., 2015). همچنین مطالعه‌ای بیان داشت که FTF1 در هر دو کروموزوم هسته‌ای یا جانبی دارای توانایی القا بسیاری از افکتورها در Fol می‌باشد، این بیانگر عملکردهای مختلف فاکتورهای رونویسی روی کروموزوم هسته‌ای و کروموزوم جانبی می‌باشد (van der Does, et al., 2016). اگرچه موتیف‌هایی برای اتصال به DNA یکسانی بین فاکتورهای رونویسی پارالوگ مشترک است، اما عملکرد تنظیمی متمایزی را انجام می‌دهند. تجزیه و تحلیل ژنومی بیشتر و مطالعه عملکرد فاکتور رونویسی می‌تواند منجر به مشخص شدن خانواده‌های فاکتور رونویسی جدید و عملکرد آن ها در منشأ اصلی و تکاملی، در بیماری‌زایی شود.

Refrences

مرادپور، ع.، صارمی، ح.(۱۳۹۹). شناسایی گونه‌های Fusarium و مایکوتوکسین دئوکسی‌نی‌والنول در جیره غذایی مرغ. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۸۳ص.

Bravo-Ruiz, G., Ruiz-Roldán, C., & Roncero, M. I. G. (2013). Lipolytic system of the tomato pathogen Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici. Molecular plant-microbe interactions, 26(9), 1054-1067.

Caldwell, D., & Iyer-Pascuzzi, A. S. (2019). A scanning electron microscopy technique for viewing plant− microbe interactions at tissue and cell-type resolution. Phytopathology, 109(7), 1302-1311.

Cassandri, M., Smirnov, A., Novelli, F., Pitolli, C., Agostini, M., Malewicz, M., ... & Raschellà, G. (2017). Zinc-finger proteins in health and disease. Cell Death Discov. 2017; 3: 17071. Přejít k původnímu zdroji.

Ding, Z., Xu, T., Zhu, W., Li, L., & Fu, Q. (2020). A MADS-box transcription factor FoRlm1 regulates aerial hyphal growth, oxidative stress, cell wall biosynthesis and virulence in Fusarium oxysporum f. sp. cubense. Fungal biology, 124(3-4), 183-193.

Ding, Z., Qi, Y., Zeng, F., Peng, J., Xie, Y., & Zhang, X. (2018). A transcription factor FoSwi6 regulates physiology traits and virulence in Fusarium oxysporum f. sp. cubense. Acta Phytopathologica Sinica, 48(5), 601-610.

Denisov, Y., Freeman, S., & Yarden, O. (2011). Inactivation of Snt2, a BAH/PHD-containing transcription factor, impairs pathogenicity and increases autophagosome abundance in Fusarium oxysporum. Molecular plant pathology, 12(5), 449-461.

Fernandes, J. S., Angelo, P. C. S., Cruz, J. C., Santos, J. M. M., Sousa, N. R., & Silva, G. F. (2016). Post-transcriptional silencing of the SGE1 gene induced by a dsRNA hairpin in Fusarium oxysporum f. sp cubense, the causal agent of Panama disease.

Han, G., Lu, C., Guo, J., Qiao, Z., Sui, N., Qiu, N., & Wang, B. (2020). C2H2 zinc finger proteins: master regulators of abiotic stress responses in plants. Frontiers in plant science, 11, 115.

Li, C., Zuo, C., Deng, G., Kuang, R., Yang, Q., Hu, C., ... & Yi, G. (2013). Contamination of bananas with beauvericin and fusaric acid produced by Fusarium oxysporum f. sp. cubense. PloS one, 8(7), e70226.

Liu, S., Li, J., Zhang, Y., Liu, N., Viljoen, A., Mostert, D., ... & Li, C. (2020). Fusaric acid instigates the invasion of banana by Fusarium oxysporum f. sp. cubense TR 4. New Phytologist, 225(2), 913-929.

López-Berges, M. S. (2020). ZafA-mediated regulation of zinc homeostasis is required for virulence in the plant pathogen Fusarium oxysporum. Molecular plant pathology, 21(2), 244-249.

López-Berges, M. S., Hera, C., Sulyok, M., Schäfer, K., Capilla, J., Guarro, J., & Di Pietro, A. (2013). The velvet complex governs mycotoxin production and virulence of F usarium oxysporum on plant and mammalian hosts. Molecular Microbiology, 87(1), 49-65.

López-Berges, M. S., Capilla, J., Turrà, D., Schafferer, L., Matthijs, S., Jöchl, C., ... & Di Pietro, A. (2012). HapX-mediated iron homeostasis is essential for rhizosphere competence and virulence of the soilborne pathogen Fusarium oxysporum. The Plant Cell, 24(9), 3805-3822.

López-Díaz, C., Rahjoo, V., Sulyok, M., Ghionna, V., Martín-Vicente, A., Capilla, J., ... & López-Berges, M. S. (2018). Fusaric acid contributes to virulence of Fusarium oxysporum on plant and mammalian hosts. Molecular Plant Pathology, 19(2), 440-453.

Ma, L. J., Geiser, D. M., Proctor, R. H., Rooney, A. P., O›Donnell, Qi, X., Liu, L., & Wang, J. (2019). Stress response regulator FoSkn7 participates in the pathogenicity of Fusarium oxysporum f. sp. cubense race 4 by conferring resistance to exogenous oxidative stress. Journal of general plant pathology, 85(5), 382-394.

Qi, X., Guo, L., Yang, L., & Huang, J. (2013). Foatf1, a bZIP transcription factor of Fusarium oxysporum f. sp. cubense, is involved in pathogenesis by regulating the oxidative stress responses of Cavendish banana (Musa spp.). Physiological and Molecular Plant Pathology, 84, 76-85.

K., Trail, F., ... & Kazan, K. (2013). Fusarium pathogenomics. Annual review of microbiology, 67, 399-416.

Mallebrera, B., Prosperini, A., Font, G., & Ruiz, M. J. (2018). In vitro mechanisms of Beauvericin toxicity: A review. Food and Chemical Toxicology, 111, 537-545.

Niño-Sánchez, J., Casado-Del Castillo, V., Tello, V., De Vega-Bartol, J. J., Ramos, B., Sukno, S. A., & Díaz Mínguez, J. M. (2016). The FTF gene family regulates virulence and expression of SIX effectors in Fusarium oxysporum. Molecular plant pathology, 17(7), 1124-1139.

Rheeder, J. P., Marasas, W. F., & Vismer, H. F. (2002). Production of fumonisin analogs by Fusarium species. Applied and environmental microbiology, 68(5), 2101-2105.

Ruiz-Roldán, C., Pareja-Jaime, Y., González-Reyes, J. A., & G. Roncero, M. I. (2015). The transcription factor Con7-1 is a master regulator of morphogenesis and virulence in Fusarium oxysporum. Molecular Plant-Microbe Interactions, 28(1), 55-68.

Seetharam, A., & Stuart, G. W. (2013). A study on the distribution of 37 well conserved families of C2H2 zinc finger genes in eukaryotes. Bmc Genomics, 14(1), 1-7.

Takken, F., & Rep, M. (2010). The arms race between tomato and Fusarium oxysporum. Molecular plant pathology, 11(2), 309-314.

Teakle, G. R., & Gilmartin, P. M. (1998). Two forms of type IV zinc-finger motif and their kingdom-specific distribution between the flora, fauna and fungi. Trends in biochemical sciences, 23(3), 100-102.

Thatcher, L. F., Gardiner, D. M., Kazan, K., & Manners, J. M. (2012). A highly conserved effector in Fusarium oxysporum is required for full virulence on Arabidopsis. Molecular Plant-Microbe Interactions, 25(2), 180-190.

Tollot, M., Assmann, D., Becker, C., Altmüller, J., Dutheil, J. Y., Wegner, C. E., & Kahmann, R. (2016). The WOPR protein Ros1 is a master regulator of sporogenesis and late effector gene expression in the maize pathogen Ustilago maydis. PLoS pathogens, 12(6), e1005697.

van der Does, H. C., Fokkens, L., Yang, A., Schmidt, S. M., Langereis, L., Lukasiewicz, J. M., ... & Rep, M. (2016). Transcription factors encoded on core and accessory chromosomes of Fusarium oxysporum induce expression of effector genes. PLoS genetics, 12(11), e1006401.

van Dam, P., Fokkens, L., Ayukawa, Y., van der Gragt, M., Ter Horst, A., Brankovics, B., ... & Rep, M. (2017). A mobile pathogenicity chromosome in Fusarium oxysporum for infection of multiple cucurbit species. Scientific reports, 7(1), 1-15.

van der Does, H. C., Fokkens, L., Yang, A., Schmidt, S. M., Langereis, L., Lukasiewicz, J. M., ... & Rep, M. (2016). Transcription factors encoded on core and accessory chromosomes of Fusarium oxysporum induce expression of effector genes. PLoS genetics, 12(11), e1006401.

Yun, Y., Zhou, X., Yang, S., Wen, Y., You, H., Zheng, Y., ... & Wang, Z. (2019). Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici C2H2 transcription factor FolCzf1 is required for conidiation, fusaric acid production, and early host infection. Current genetics, 65(3), 773-783.

Zhang, Y., Yang, H., Turra, D., Zhou, S., Ayhan, D. H., DeIulio, G. A., ... & Ma, L. J. (2020). The genome of opportunistic fungal pathogen Fusarium oxysporum carries a unique set of lineage-specific chromosomes. Communications biology, 3(1), 1-12.

Zuriegat, Q., Zheng, Y., Liu, H., Wang, Z., & Yun, Y. (2021). Current progress on pathogenicity-related transcription factors in Fusarium oxysporum. Molecular Plant Pathology, 22(7), 882-895.

گیاه‌پزشک
نشریه علمی-ترویجی (حرفه‌ای) انجمن علمی دانشجویی گروه گیاهپزشکی
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

انتقال بین‌سلولی و دوربرد RNA در گیاهان

مهدی قربانی

دانشجوی دکتری بیوتکنولوژی کشاورزی دانشگاه تهران

10.22059/GIAHPZSHSJ.2023.91674

چکیده

گیاهان هر روز در معرض عوامل متعدد محیطی قرار می‌گیرند، بنابراین برنامه ریزی دقیق برای برقراری تعادل بین پاسخ به تنش و فرآیندهای رشد و نمو گیاه ضروری است. در گیاهان عالی، اسیدهای ریبونوکلئیک (RNAها) می‌توانند بین سلول‌ها، بافت‌ها و همچنین در مسافت‌های طولانی از طریق آوند آبکش حرکت کنند. تمام کلاس‌های RNA در نمونه‌های آوند آبکش یافت شده است، اما تاکنون سازوکار چگونگی انتقال RNA به خوبی درک نشده است. نکته قابل توجه این است که RNAهای کوچک و برخی mRNAها می‌توانند به صورت سلول به سلول یا به صورت یکپارچه در گیاه حرکت کنند و به این ترتیب به‌عنوان عامل خاموش کننده متحرک در داخل گیاه عمل می‌کنند. در این مقاله به طور خلاصه به دسته بندی RNAهای متحرک، کارکردهای زیستی انتقال RNA از جمله نقش آنها در ایمنی و ریخت‌زایی گیاه، سازوکارهای انتقال از جمله: توالی هایی که انتقال RNA را تسهیل می‌کنند، پروتئین‌های متصل شونده به RNA، انتقال RNA با تنظیم نفوذپذیری پلاسمودسماتا، مسیرهای جایگزین بالقوه در انتقال RNA مثل شبه اگزوزوم‌های گیاهی خواهیم پرداخت. درک عمیق تر این اطلاعات زیستی برای گشودن مسیرهای جدید و جالب برای برنامه‌های کاربردی اصلاحی از جمله شناسایی و توسعه محصولات مقاوم به تنش‌های زیستی و غیرزیستی بسیار مهم است.

کلید واژگان: آوند آبکش، پلاسمودسماتا، RNA متحرک

Plant Pathologist
Scientific-Extensional (Proffesional) Journal of Plant Protection
Scientific Association of Plant Protection, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

Intercellular and long-range RNA trafficking in plants

Mehdi Ghorbani

[1]PhD Student in Agricultural Biotechnology, Agronomy and Plant Breeding Department, University College of Agriculture & Natural Resources, .University of Tehran, Iran

10.22059/GIAHPZSHSJ.2023.91674

Abstract

Plants are uncovered to manifold environmental factors every day, so vigilant reprogramming is compulsory to establish an equilibrium between stress responses and plant growth and development processes. In higher plants, Ribonucleic acids (RNAs) can move between cells, tissues, and also over long distances via phloem. All classes of RNAs have been found in phloem samples, but so far, the mechanism of how to transfer RNA is not well understood. The noteworthy point is that small RNAs and some mRNAs can move from cell to cell or integrally in the plant and in this way act as a mobile silencing agent inside the plant. In this article, we will discuss the classification of mobile RNAs, the biological functions of RNA transfer, including their role in plant immunity and morphogenesis, transfer mechanisms, including: sequences that facilitate RNA to transfer, RNA binding proteins, RNA transfer by regulation of plasmodesmata permeability, potential alternative pathways in RNA trafficking like plant pseudo-exosomes. A deeper understanding of this biological information is crucial to open new and interesting avenues for breeding applications, including the identifications and development of resistant crops to biotic and abiotic stresses.

Keywords: mobile RNA, phloem, plasmodesmata

مقدمه

درک و انتقال پیام تنش های زنده و غیرزنده برای روشن کردن ژن های درگیر در پاسخ‌های درخور گیاهان به آفات، بیماری‌ها و محیط های نامطلوب برای بقا و تولیدمثل بسیار مهم است. گیاهان مسیرهای پاسخ چندگانه به تنش را تکامل داده‌اند که برخی از آنها اختصاصی هستند، اما برخی دیگر ممکن است برای تنش‌های مختلف مشترک باشند. تنظیم رونویسی بیان ژن بطور نسبی درک شده است. اما تنها پیشرفت محدودی در آشکارسازی اطلاعات اومیکس از جمله تنظیمات پس از رونویسی بیان ژن تحت تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی صورت گرفته است (Mosa et al., 2017). نقل و انتقالات هسته سیتوپلاسمی[1] - ورود پیام های نموی/ محیطی[2] برای بیان ژن و صدور[3] محصولات ژنی بیان شده از هسته از طریق کمپلکس منافذ هسته‌ای[4] - نقش اساسی در فرآیندهای پس از رونویسی در موجودات یوکاریوتی دارد (Hochberg-Laufer et al., 2019).

گیاهان برای اینکه رشد و نمو خود را با تغییرات محیطی متنوع هماهنگ کنند، شبکه پیچیده ای از ارتباط سلول به سلول را توسعه داده‌اند. علاوه بر مولکول‌های کوچک مثل متابولیت‌ها و هورمون‌های گیاهی، ماکرومولکول‌های مثل RNAها و پروتئین‌ها به عنوان عوامل پیام‌رسانی در گیاهان عمل می‌کنند.

RNAها می‌توانند از طریق پلاسمودسماتا به صورت سلول به سلول و همچنین در آوندهای آبکش در فاصله‌های طولانی به صورت مولکول حاوی اطلاعات حرکت کنند.

انواع نقش‌هایی را که می‌توان برای مولکول‌های RNA پیام‌رسان درنظرگرفت شامل: تنظیم نمو گیاه، انتقال پیام گرسنگی جهت تنظیم نقل و انتقال مواد غذایی، خاموشی ژن، مقاومت به ویروس‌ها، پاسخ به تنش‌ها و ... می‌باشد. بطور کلی گیاهان از طریق پلاسمودسماتاها و آوندهای آبکش مولکول‌های پیام‌رسان خود را در فواصل طولانی انتقال می‌دهند (Liu and Chen, 2018). در گیاهان عالی RNA های کدکننده و غیرکدکننده کوتاه می‌توانند در مسافت طولانی از طریق سلول به سلول و همچنین در سطح بافت، از طریق آوند آبکش جابجا شوند. این مولکول‌ها خود را از طریق پلاسمودسماتاها به آوندها می‌رساند. در آوندهای آبکش، نه تنها فعالیت آنزیمی RNase مشاهده نشده است، بلکه پروتئین‌های متصل به RNA موجود در شیره آوند آبکش این مولکول‌ها را از تخریب محافظت می‌کنند. حال با توجه به اینکه اکثر ویروس‌های گیاهی دارای RNA تک رشته، ظرفیت کدگذاری پروتئین‌های ویروسی را در گیاه دارند که می‌توانند در گیاه بین سلول‌ها و قسمت‌های مختلف آن حرکت کنند و جابجا شوند (Kehr and Kragler, 2018) یک سؤال قابل توجه ایجاد می‌شود: چرا گیاهان به جای فعال کردن یک سیستم محافظتی مبتنی بر RNase که می‌تواند از انتشار RNAهای مضر ویروسی جلوگیری کند، پروتئین‌های محافظ RNA را در خود تکامل می دهند؟ ممکن است، این به نقش کارکردی RNAهای منتقل شده از طریق آوند آبکش اشاره کند زیرا تخریب اجازه تحویل مولکول‌های RNA به بافت های دوردست را نمی‌دهد. گفته می‌شود که این مولکول‌ها در گیاهان نقش پیام‌رسانی دارند.

[1]Nucleo-cytoplasmic
[2]Developmental / Environmental Signals
[3]Export
[4]Nuclear Pore Complex

طبقه بندی RNA متحرک در آوند آبکش و کارکرد آن‌ها

کلیه کلاس‌های اصلی مولکول‌های RNA درون‌زاد[1] مانند RNAهای غیر کد کننده کوچک و بزرگ[2] از جمله RNAهای مداخله‌گر کوچک (siRNAها)، میکروRNAها (miRNAها)، tRNAها، RNAهای ریبوزومی (rRNAها) و RNAهای کد کننده پروتئین در شیره آوند آبکش[3] شناسایی شده‌اند (جدول ۱). تمامی این نوع RNAها، قابلیت انجام کارکردی خاص در جریان آوند آبکش و بافت‌های دوردست را دارند. این موضوع برای siRNAها، miRNAها و تعداد محدودی از mRNAهای متحرک[4] نشان داده شده است (Guan et al., 2016; Kehr and Kragler, 2018; Liu and Chen, 2018).

siRNAها و miRNAها در آوند آبکش

بر اساس مطالعه (Vaucheret, 2006) نشان داده شد که si/miRNA گیاهی در دفاع ضد ویروسی، پیام‌رسانی سلولی و تنظیم بیان ژن فعالیت می‌کنند؛ همچنین ممکن است واسطه وراثت اپی ژنتیکی بین نسل و خاموشی ژن باشند. خاموشی ژن در دو سطح وجود دارد: خاموشی ژن پس از رونویسی[5] (PTGS) که درسطح RNA و خاموشی ژن در سطح رونویسی (TGS) که در سطح ژنوم عمل می‌کند. تا به امروز هر دو سازوکار خاموشی مبتنی بر siRNA در میتوکندری، کلروپلاست و سلول‌های پروکاریوتی مشاهده نشده است (Kehr and Kragler, 2018). بنابراین siRNAهای تولید شده توسط آنزیم‌های Dicer و اتصال به آرگونوت‌ها (AGOs) می‌توانند به صورت موضعی بین سلول‌ها و در مسافت‌های طولانی از طریق آوند آبکش حرکت کنند.

در این زمینه، ارتولوگ AGO1 در *A. thaliana* در پروتئوم شیره آوند آبکش کدو تنبل تشخیص داده شده، اما در مطالعه محتوای پروتئوم آوند آبکش گیاه دیگری مشاهده نشده است (Lin et al., 2009). اولین شواهد برای خاموشی گسترده از آزمایش‌های ریزپیوندی[6] گیاه تنباکو بدست آمد که در آن مهاجرت یک فنوتیپ سبز کم رنگ قابل تشخیص ناشی از خاموشی ژن نیترات ردوکتاز (*NIA*) در امتداد آوندهای برگ های با فاصله دورتر مشاهده شد. این مشاهده با حضور مولکول‌های siRNA درون زاد مکمل توالی mRNA ژن *NIA* همراه بود. بعدها، همین پدیده با القای خاموشی پروتئین فلورسنت سبز (GFP) با بیان موقت یک سازه القاکننده خاموشی در برگ‌های گیاه تراریخته که mRNA ژن erGFP را بیان می‌کنند، مشاهده شد (Mlot-shwa et al., 2002).

تقریباً همه siRNAهای کوچک و زیرمجموعه‌های خاص miRNAها در شیره آوندهای آبکش وجود دارند که به احتمال زیاد در سلول‌های همراه یا سلول‌های همسایه آوند آبکش تولید می‌شوند (Ham and Lucas, 2017). از این نقطه، مولکول‌های RNA به دنبال جریان همرفت آوند آبکش که قندهای موجود از برگ‌های منبع را به بافت‌های مقصد[7] تخصیص می‌دهند، حرکت می‌کنند. توزیع siRNA در امتداد آوند آبکش را می‌توان به راحتی با استفاده از کاوشگرهای نشان دار با مقایسه نحوه انتشار آنها در محتوای آوند آبکش ، دنبال کرد. اولین علائم انتشار یکپارچه siRNA در برگ‌ها و گل‌های جوان و در بافت نوک ریشه (سینک) مشاهده شد. علاوه بر این، حرکت miRNAهای خاص در مسافت طولانی پس از پیوندزنی نشان داده شده است. مثلا، حرکت miRNA از برگ به ریشه می‌تواند با پیام‌رسانی از راه دور در حین پاسخ به پیام گرسنگی مواد مغذی در *A. thaliana* (Buhtz et al., 2010) یا تنظیم رویدادهای خاص نموی در سیب مینی (Kehr and Kragler, 2018) مرتبط باشد.

[1]Endogenous
[2]Small and long non-coding RNAs
[3]Phloem
[4]Mobile
[5]Post-transcriptional gene silencing
[6]Micro-grafting
[7]Sink

tRNAها و rRNA در آوند آبکش

اکثر انواع RNA غیر کد کننده که در ترجمه دخیل هستند، در آوند آبکش کشف شده اند (جدول ۱). در میان این ها مقادیر زیادی از tRNAها و rRNAها نیز وجود دارد (Buhtz et al., 2010). این یافته‌ها، همراه با شناسایی پروتئین‌های ریبوزومی، فاکتورهای طویل سازی و ترجمه و حتی وجود کمپلکس‌های ریبونوکلئوپروتئین ریبوزومی طبیعی در آوند آبکش (Ostendorp et al., 2017) این سؤال را ایجاد کرده‌اند که آیا فرآیند ترجمه می‌تواند در جریان آوند آبکش اتفاق بیفتد یا خیر؟ (Ham and Lucas, 2017).

البته آزمایش‌های اولیه با استفاده از روش‌های تغذیه با اسیدهای آمینه نشان دار پیشنهاد می‌کند هیچ نوع سنتز پروتئین به روش *de novo* در عناصر غربالی قابل تشخیص نیست (Kehr and Kragler, 2018).

mRNAهای متحرک در آوند آبکش

تجزیه و تحلیل شیره آوند آبکش اولین نشانه‌ای را که mRNAها ممکن است در امتداد جریان آوند آبکش به سمت بافت‌های دور حرکت کنند نشان داد (جدول ۱).

جدول ۱- مروری بر کلاس‌های RNA متحرکی که در گیاهان شناسایی شده‌اند (Liu and Chen, 2018).

RNA	کارکرد	گونه گیاهی
mRNA		
SUC1	انتقال ساکاروز	سیب زمینی
FT1	القای گلدهی	آرابیدوپسیس
Aux/IAA	نمو ریشه	آرابیدوپسیس
PP16	انتقال RNA	کدو تنبل
NACP	نگهداری حالت مریستم	کدو تنبل
BEL5	تشکیل غده	سیب زمینی
POTH1	نمو ریشه	سیب زمینی
SLR/IAA14	تشکیل ریشه جانبی	سیب درختی
PFP-T6	نمو برگ	گوجه فرنگی
PS	مقاومت به بیمارگر	گوجه فرنگی
GAI	نمو برگ	گوجه فرنگی
PFP	نمو برگ	گوجه فرنگی
miRNA		
miR165/166	نمو ریشه	آرابیدوپسیس
miR390	قطبیت برگ	آرابیدوپسیس
miR394	تشکیل مریستم ریشه	آرابیدوپسیس
miR395	ایستایی (هموستازی) سولفات	آرابیدوپسیس
miR399	ایستایی فسفات	آرابیدوپسیس
siRNA		
ta-siRNA	قطبیت برگ	آرابیدوپسیس
hc-siRNA	متیلاسیون DNA	آرابیدوپسیس / توتون
rRNA	ترجمه	کلم (*B. napus*)، کدو تنبل
5S rRNA	ترجمه	کلم (*B. napus*)، کدو تنبل
5.8S rRNA	ترجمه	کلم (*B. napus*)، کدو تنبل
18S rRNA	ترجمه	کلم (*B. napus*)، کدو تنبل
25S rRNA	ترجمه	کلم (*B. napus*)، کدو تنبل
tRNA[a]	ترجمه	کدو تنبل

[a] همه tRNAها در شیره آوند آبکش یافت نشده‌اند و برخی از آنها به حالت ناقص (truncated) دیده شده است.

به عنوان مثال، مقدار RNA موجود در آوند آبکش گیاه کدو تنبل، مقادیر زیادی siRNA و miRNA، همچنین mRNAها را نشان داد. این یافته‌ها منجر به آزمایش پیوندزنی با استفاده از تراریخته‌ها و جهش یافته‌ها برای ارزیابی توانمندی mRNAها که به عنوان مولکول پیام رسان عمل می‌کنند شده است. این آزمایش‌ها نشان داد که mRNAهای متمایز مانند *StBEL5*, *CmGAIP* و *CmNACP* در شیره آوند آبکش می‌توانند واقعاً به بخش‌های دوردست منتقل شوند (Haywood et al., 2005; Kehr and Kragler, 2018; Liu and Chen, 2018).

کارکردهای زیستی انتقال RNA

در برابر مجموعه بزرگی از RNAهای متحرک، نشان داده شده است که فقط تعداد نسبتاً کمی از آنها به صورت مستقل عمل می‌کند. در این موارد، RNAهای متحرک در طیف گسترده ای از فرآیندهای فیزیولوژیکی در گیاهان نقش دارند. به عنوان مثال، انتقال *PFP-T6* در مسیر مسافت طولانی در گوجه‌فرنگی (Kim et al., 2001) و *GAI* در کدو تنبل (Haywood et al., 2005) بر روی مورفولوژی برگ تأثیر گذاشته است. از طریق آزمایشات پیوندزنی، *FT* متحرک برای تعیین زمان گلدهی در *Arabidopsis* در پیام‌رسانی گلدهی نقش دارد.

روش‌های تشخیص RNA و آزمایش‌های پیوندزنی نامتجانس[1] نشان داد که عامل رونویسی سیب زمینی BEL5 می‌تواند به نوک استولون منتقل و باعث ایجاد غده شود. در *Arabidopsis*، رونوشت‌های متحرک *AUX/IAA* و *miR165/166* رشد ریشه را تنظیم می‌کنند.

در شرایط تنش، *miR395* و *miR399* به عنوان مولکول پیام رسان در مسافت طولانی برای تنظیم ایستایی (هموستازی) سولفات و فسفات عمل می‌کنند. علاوه براین، siRNAهای متحرک به صورت سیستمی به سمت متیلاسیون DNA در بافت‌های هدف، از جمله سلول‌های مریستمی و میوزی فعال که ممکن است به حافظه اپی ژنتیکی کمک کند، حرکت می‌کنند.

در مورد بیماری ویروسی، siRNAها ممکن است به عنوان پیام‌رسان‌های متحرک عمل نموده و پیش از گسترش آلودگی به سمت سلول‌های سالم حرکت کنند تا انتشار ویروس را محدود نمایند. انواع خاصی از RNAهای کوچک حتی می‌توانند از گیاهان به عوامل بیماری زا منتقل شوند تا القاء کننده خاموشی ژن بین سلسله‌ای[2] برای مهار بیان ژن بیمارگر باشند. این شواهد نشان می‌دهد که انتقال RNA نقشی در ارتباطات اطلاعات بین سلولی و یکپارچه دارد که فرآیندهای اساسی بیولوژیکی گیاهان را تنظیم می‌کند.

به طور معمول پیوند در کشت محصولات باغی استفاده می‌شود. تبادلات فراوان RNA در مقیاس ژنومی بین پایه و پیوندک این احتمال را ایجاد می‌کند که انتقال RNA عملکرد پیوند را بهبود بخشد. ترکیب دو پایه و پیوندک با ارتباط ژنتیکی متفاوت باعث افزایش تنوع ذخایر RNA در دسترس برای هر دو می‌شود و ذخایر RNA تلفیق شده ممکن است گیاه را به سمت استفاده از منابع ژنتیکی بیشتر برای دستیابی به صفات بهتر از جمله افزایش کیفیت یا عملکرد سوق دهد. با این وجود، این امکان وجود دارد که RNAهای متحرک زیر بنای ناسازگاری ژنتیکی در گیاه شده و منجر به شکست در پیوندزنی شوند. نشان داده شده است که siRNAها می‌توانند به بافت‌های زاینده منتقل شوند و محل مورد نظر را متیله کنند، بنابراین الگوهای متیلاسیون DNA ممکن است با پیوندزنی تغییر کرده و تغییرات به نسل‌های آینده منتقل شود.

[1]Heterologous
[2]Cross-kingdom

تجزیه و تحلیل رونویسی گیاهان انگل و میزبان آنها نشان داد که جمعیت زیادی از mRNAها به صورت دو طرفه در بین دو گونه حرکت می‌کند. تعامل میزبان و گیاه انگل با پیوند نامتجانس کامل مقایسه شده است، زیرا هر دو گیاهان جداگانه‌ای را تشکیل می‌دهند که شیمر[1] است. تحرک RNA بین میزبان و انگل ممکن است به عنوان وسیله ارتباطی برای هماهنگی توسعه متقابل آنها عمل کند. توانایی جابجایی mRNAها از میزبان به انگل، امکان استفاده از خاموشی RNA را به عنوان راهکاری برای کنترل علف‌های هرز انگلی افزایش می‌دهد (Liu and Chen, 2018).

کارکرد RNA کوچک به عنوان عامل موثر در ایمنی گیاه

میکروRNAها (miRNAها) گروهی از عوامل کوچک اما قدرتمند هستند که نمو و پاسخ به تنش‌های زنده و غیرزنده را در طی سازگاری گیاهان با یک محیط دائماً چالش برانگیز تنظیم می‌کنند. یافته‌های قبلی نقش های مهم RNAهای کوچک در فرآیندهای سلولی متنوع را نشان داده است.

اکتشافات اخیر در زمینه انتقال دوطرفه بین سلسله ای RNAهای کوچک[2] مختلف، سوالات جالب بسیاری را به وجود آورده است. پژوهش‌های جدید در مورد انتقال RNA کوچک تحت تنظیم عوامل بیرونی یک ابزار ممکن برای بررسی بیشتر نحوه استفاده گیاهان از RNAهای کوچک به عنوان سلاحی در مبارزه بین گیاهان میزبان و عامل بیمای زا فراهم آورده است. RNAهای کوچک مختلف نقش مهمی در ایمنی گیاه در درک حمله توسط پاتوژن‌های مختلف بیوتروف[3] یا نکروتروف[4] دارند (Guan et al., 2016; Kehr and Kragler, 2018; Liu and Chen, 2018).

در هر حال، هنوز سؤالات علمی بسیاری در مورد این سازوکار وجود دارد: هنگامی که یک گیاه با بیماریزا روبرو می‌شود، ساخت زیستی[5] RNAهای کوچک چگونه آغاز می شود؟ چگونه گیاه این RNAهای کوچک را به بافت های بیمار منتقل می‌کند؟ RNAهای کوچک گیاه در سلول‌های پاتوژن چگونه عمل می‌کنند؟ این سؤالات در ادامه بررسی خواهد شد.

mRNAها به عنوان پیام رسان ریخت‌زایی

ما در مورد عملکرد پیام‌رسانی mRNAهای متحرک به بافت‌های دوردست اطلاعات بسیار کمی داریم زیرا فقط برخی از mRNAهای متحرک بطور جزئی مورد مطالعه قرار گرفته اند (جدول ۱).

همانطور که در قبل گفته شد، از طرفی، جمعیت mRNAهای متحرک در پیوندزنی به نظر نمی رسد عملکرد خاصی داشته باشند. از سوی دیگر، چندین مطالعه نشان داده است که تعداد کمی از mRNAها و پروتئین های عوامل رونویسی هومئودومین[6] در بین سلول‌ها و مسافت‌های طولانی از طریق اتصالات پیوند حرکت می‌کنند. یکی از بهترین نمونه‌های مورد مطالعه در سیب زمینی یافت می‌شود. به نظر می‌رسد سیب زمینی از طریق تعادل mRNAهای *BEL-LIKE HOMEODOMAIN* که به عنوان فعال کننده[7] و بازدارنده[8] عمل می‌کنند، نمو اندام را تنظیم می‌کند. mRNAهای *StBEL11*، *StBEL5* و *StBEL29* با طول کامل از نقطه پیوند عبور می‌کنند (Ghate et al., 2017).

---

[1]Chimera
[2]Cross-Kingdoms miRNAs
[3]Biotrophic
[4]Necrotrophic
[5]Biogenesis
[6]Homeodomain
[7]Activator
[8]Repressor

سازوکارهای نقل و انتقال RNA

تحرک آنها به طول روز بستگی دارد، زیرا انتقال از برگ‌ها به بافت های دوردست ریشه در شرایط روز کوتاه افزایش می‌یابد. نشان داده شد که انتقال و انباشت **StBEL5** منجر به تشکیل غده‌های زودهنگام و افزایش تعداد غده‌ها می‌شود در حالی که *StBEL11* و *StBEL29* تنظیم منفی غده را تنظیم می‌کنند. اولین فاکتور رونویسی هومئودومین متحرک، KNOTTED 1، در ذرت کشف شد و نشان داده شد که بین لایه‌های سلولی حرکت می‌کند. هر دو پروتئین KN1 و پروتئین KNOTTED 1 در حال انتقال سلول به سلول هستند و جالب اینکه تحرک بین سلولی mRNA ژن *KN1* به حضور پروتئین آن KN1 وابسته است (Lucas et al., 1995).

یکی از بهترین پروتئین‌های شناخته شده برای انتقال در مسافت‌های طولانی پروتئین پیام‌رسانی گلدهی FLOWERING LOCUS T FT است. انتقال پروتئین FT از برگ‌های مبدأ به نوک شاخساره باعث شروع گلدهی در Arabidopsis، برنج و کدو تنبل می‌شود. اگرچه معنی داری و تکرارپذیری آزمایش مورد بحث قرار گرفته است، به نظر می‌رسد mRNA ژن *FT* متحرک نیز زمان گلدهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در مقادیر بسیار کم در شیره آوند آبکش کدو تنبل تشخیص داده شده است (Liu and Chen, 2018).

اگرچه تعداد زیادی از RNAها در چند دهه گذشته مشخص شده است که متحرک هستند، سازوکارهایی که حرکت آنها را تنظیم می‌کنند، اخیراً در حال شناسایی است. بر اساس دانش موجود، در اینجا سازوکارهای احتمالی انتقال RNA در گیاهان را مورد بحث قرار می‌دهیم.

توالی، طول، فراوانی و ثبات RNA عوامل احتمالی موثر بر تحرک RNA هستند. شناسایی تعداد زیادی از RNAهای متحرک باعث ایجاد سوال در مورد سازوکارهایی می‌شود که تحرک آنها را تعیین می‌کنند. تجزیه و تحلیل آماری نشان داده است که پایداری mRNA و طول آن ممکن است بر نیمه عمر طولانی تر پیش بینی شده mRNAهای متحرک موثر باشد و به نظر می‌رسد RNA با اندازه کوچکتر متحرک‌تر باشند (Kehr and Kragler, 2018; Liu and Chen, 2018). تعداد زیادی از پروتئین‌های غشاگذر[1] و پروتئین‌های مرتبط با غشا به طور خاص با پلاسمودسماتا همراه هستند و دارای پتانسیل تغییر اندازه روزنه پلاسمودسماتا در تنش های زنده و غیرزنده هستند (Ham and Lucas, 2017; Kehr and Kragler, 2018; Liu and Chen, 2018). اگرچه چنین سازوکار تنظیمی می‌تواند بطور غیر اختصاصی انتقال بین سلولی و دسترسی رونوشت‌ها را به آوند آبکش تنظیم کند، اما برخی از mRNAهای متحرک دارای توالی‌هایی هستند که انتقال آنها را در مسافت طولانی تسهیل می‌کند (Guan et al., 2016).

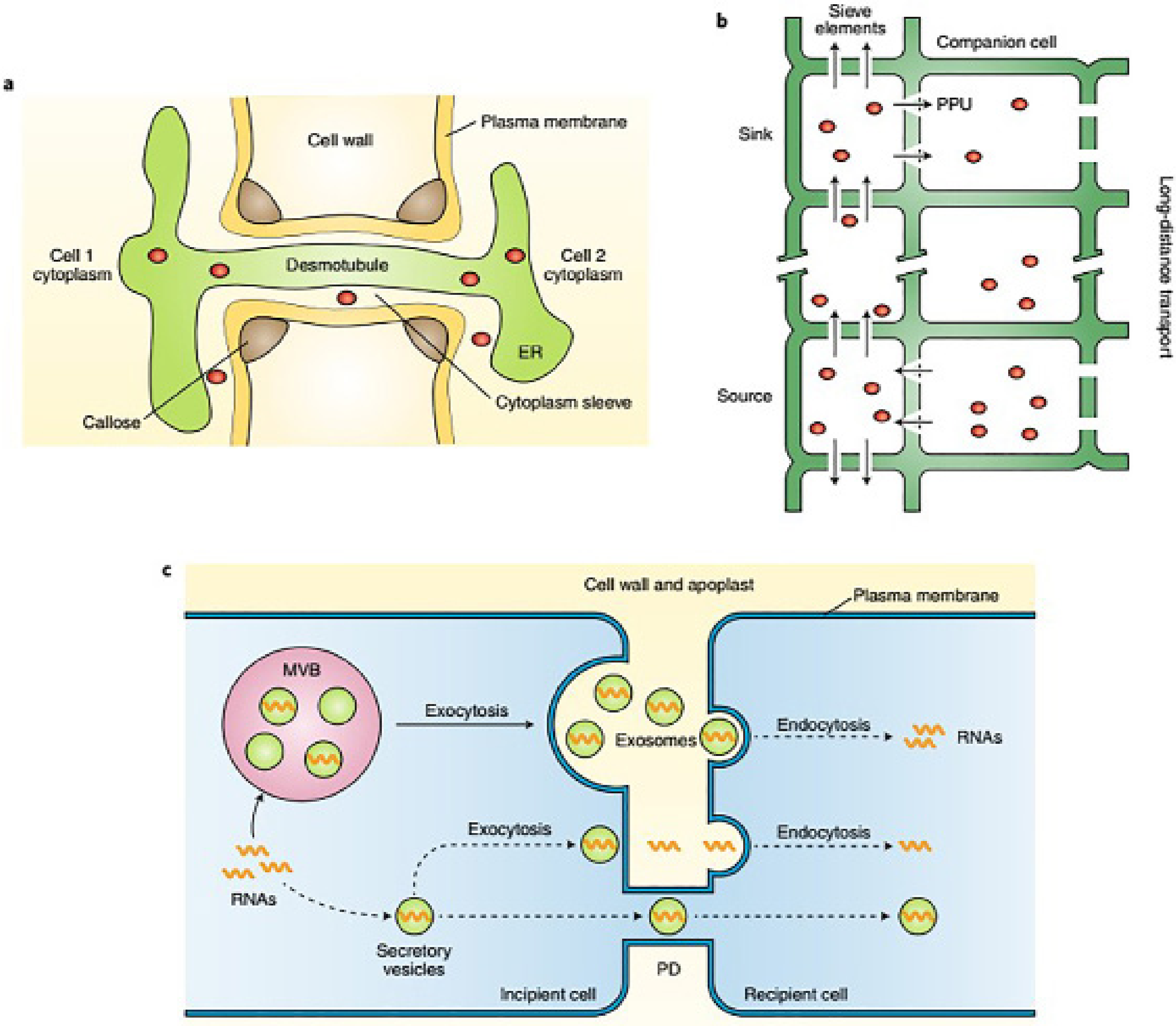
[1]Transmembrane

توالی‌هایی که انتقال RNA را تسهیل می کنند

وجود موتیف خاص مرتبط با RNAهای متحرک حاکی از آن است که پروتئین‌های متصل شونده به RNA ممکن است با این RNAها در تعامل بوده و انتقال آنها را تعدیل کند. تجزیه و تحلیل‌های شیره آوند آبکش وجود بسیاری از پروتئین‌های متصل شونده به RNA را نشان داده است (Kehr and Kragler, 2018; Liu and Chen, 2018). به نظر نمی‌رسد انتقال mRNAها در مسافت طولانی تصادفی باشد، زیرا تعداد زیادی از نسخه‌ها فقط در شرایط رشد تغییر یافته به بخش‌های خاص گیاهان مانند گل‌ها، برگ‌های جوان یا پیر و ریشه منتقل می‌شوند. همچنین، جهت‌یابی اختصاصی توسط *462-polyA-RNA* که از شاخه به ریشه حرکت می‌کنند و *462-polyA-RNA* از ریشه به ساقه یا در هر دو جهت نشان داده شده است (Guan et al., 2016; Kehr and Kragler, 2018; Liu and Chen, 2018). این جهت یابی اختصاصی mRNA مربوط به بافت در سازوکار تنظیم شده شامل عوامل سلولی است که باعث تسهیل انتقال می‌شوند. علاوه بر این، این موضوع با رونوشت *FT* و *CHOLINE KI-NASE 1 (CK1)* (Zhang et al., 2016) نشان داد که انجام حذف در توالی mRNA مربوطه منجر به عدم تحرک آن می‌شود. تجزیه و تحلیل بیوانفورماتیکی بر روی polyA-RNA 2006 در گیاهان پیوند شده Arabidopsis انجام شد.

این تجزیه و تحلیل ساختاری بر اساس زیرکلاس‌های خاصی از tRNAهای موجود در شیره آوندی کدو تنبل است: چندین tRNA مانند *tRNAIle* از دست رفته و سایر موارد مانند *tRNAAsp*، *tRNAMet* یا *tRNAGly* در مقادیر زیادی یافت شدند (Zhang et al., 2016). با توجه به این بینش ها در مورد حضور مغرضانه tRNA، تعداد قابل توجهی از از رونوشت های متحرک در *Arabidopsis* پیوند زده شده که دارای موتیف شبیه به دنباله TLS tRNA[1] هستند شناسایی شدند (Guan et al., 2016; Zhang et al., 2016). این موتیف TLS در ابتدا در ssRNAهای ویروس موزائیک توتون (TMV) و ویروس موزائیک بروم[2] (BMV) در ۳۰ نوکلئوتید انتهایی کشف شد و نشان داده شده است که از همانندسازی و تکثیر ویروس پشتیبانی می‌کند. بنابراین، به نظر می‌رسد حضور موتیف TLS برای انتقال در مسافت‌های طولانی تعدادی از mRNAها ضروری و کافی باشد. یکی دیگر از موتیف RNA که به طور بالقوه باعث تحرک یکپارچه رونوشت‌ها می‌شود، در توالی پلی پریمیدین[3] شناسایی شده در UTR ۳' بسیاری از رونوشت‌های حاضر در آوند آبکش یافت شده است. این موتیف خود را با یک توالی توافقی حفاظت شده ضعیف ارائه می‌دهد که به طور قابل توجهی در جمعیت mRNA متحرک مربوط به پیوند *Arabidopsis* و خیار غنی نمی‌باشد. با این حال، چنین موتیفی همچنین در پیوند *StBEL5* متصل شونده به پروتئین PTB سیب زمینی یافت می‌شود که این سؤال را باقی می‌گذارد که آیا کارکرد آن تثبیت mRNAهای آوند آبکش است یا اینکه آیا به طور فعال در روند تحویل RNA نقش دارد؟ (Guan et al., 2016; Ham and Lucas, 2017; Kehr and Kragler, 2018; Liu and Chen, 2018; Zhang et al., 2016)

[1]tRNA-like sequence
[2]brome
[3]poly-pyrimidine



شکل ۱- مسیرهای انتقال RNA بین سلول های گیاهی. a، پلاسمودسماتا به عنوان یک ریزکانال برای حرکت سلول به سلول مولکول های متحرک هستند. پلاسمودسماتاها کانال هایی با روکش غشایی هستند که از عرض دیواره سلولی عبور و سلول‌های همسایه را به هم وصل می‌کنند. دیواره سلولی، غشای پلاسمایی، شبکه آندوپلاسمی (ER)، دسموتوبول و کالوز مشخص شده است. دایره قرمز نمایانگر مولکول های محلول هستند که قادر به حرکت در داخل دسموتوبول یا سیتوپلاسم پلاسمودسماتا هستند. b، آوند آبکش به عنوان مجرایی برای حرکت در مسیر طولانی مولکول ها. آوند آبکش از عناصر غربالی و سلول های همراه تشکیل شده است. عناصر غربالی بالغ توسط واحدهای منافذ پلاسمودماتا بسیار تغییر یافته و قیف مانند به سلول های همراه مجاور متصل می‌شوند. مولکول های متحرک (دایره‌های قرمز) در درجه اول از طریق منفذ از منبع به بافت مبدأ منتقل می‌شوند. فلش نشان دهنده جهت حرکت است. شکاف‌های موجود در خط حاکی از عناصر غربالی چندگانه (یک سلول در نمودار) واسطه انتقال در مسافت طولانی است. c، انتقال RNA ناشی از وزیکول در گیاهان. وزیکول های حاوی RNAها به MVBها منتقل می‌شوند که متعاقباً با غشای پلاسمایی ترکیب می‌شوند و وزیکول نهایی آنها به صورت اگزوزوم در فضای خارج سلولی آزاد می‌شوند. این اگزوزوم ها با غشای پلاسمایی سلول گیرنده از طریق اندوسیتوز تلفیق می‌شوند و محتوای RNAها را تخلیه می‌کنند. از طرف دیگر، ممکن است وزیکول ها RNAها را از طریق اگزوسیتوز / اندوسیتوز یا از طریق کانال های پلاسمودماتا بین سلول ها به سلول های مجاور انتقال دهند. توجه داشته باشید که، همانطور که توسط خطوط شکسته در نمودار نشان داده شده است این حوادث کاملاً فرضی هستند (Liu and Chen, 2018).

پروتئین های متصل شونده به RNA

به خوبی مشخص شده است که هیچ مولکول RNAی برهنه ای در سلول‌ها وجود ندارد. آنها برای طول عمر کامل با پروتئین‌های متصل شونده به RNA[1] RBP تشکیل کمپلکس می‌دهند. RBPها سرنوشت و عملکرد RNA را تنظیم و موقعیت و ثبات آنها را تعیین می‌کنند. RBPها حاوی دمین‌ها و ترکیبات دمینی مختلف هستند که کارکردهای اختصاصی و کارآمد آنها را تعیین می‌کنند. RBPهای مختلف می‌توانند به RNA تک یا دو رشته ای وصل شوند و کمپلکس‌های RNP پویا را تشکیل دهند. برخلاف موجودات زنده سایر سلسله‌ها، دانش در مورد RBP گیاهان محدود و ویژگی‌ها و عملکردهای خاص آنها روشن نشده است. برخی از RBPها می‌توانند انتقال را به مناطق خاص سلولی هدایت کنند و همانطور که اخیراً در سلول‌های حیوانات نشان داده شده است صدور RNA از سلول‌ها و در مسیرهای طولانی را تسهیل می‌کنند. با توجه به انتقال RNAهای در مسیر طولانی در گیاهان، وجود RNAهای مختلف و چندین RBP در نمونه‌های آوند آبکش نشان دهنده مشارکت آنها در ثبات و تحرک RNA است. در بین صدها پروتئین مختلف که در نمونه‌های آوند آبکش از گونه‌های مختلف یافت شده است، مطالعات پروتئومیکس اخیر تقریباً 100 RBP را در آوند آبکش گیاهان مختلف از جمله کرچک، خیار، برنج و شلغم روغنی شناسایی کرده است. (Guan et al., 2016; Ham and Lucas, 2017; Kehr and Kragler, 2018; Liu and Chen, 2018; Zhang et al., 2016). می‌توان ثابت کرد که برخی از پروتئین‌های خاص آوند آبکش با RNAها در تعامل هستند و کمپلکس های RNP در شرایط آزمایشگاهی شکل می گیرند.

با این حال، اگرچه کمپلکس‌های RNP بومی آوند آبکش اخیراً شناسایی، جداسازی و اجزای آن با وضوح بالا مشخص شده‌اند، مطالعات نشان می‌دهد فعالیت چاپرونی RNA که انتقال RNA بین سلول‌ها را تسهیل می‌کند یا کارکردهای دیگری مانند تثبیت کمپلکس‌های انتقال RNA-RBP هنوز مشخص نیست (Kehr and Kragler, 2018; Liu and Chen, 2018).

انتقال RNA ویروس‌های گیاهی

همانگونه که قبل تر اشاره شد، گیاهان می‌توانند مولکول‌های RNA را در فاصله نزدیک بین سلول‌ها از طریق پلاسمودسماتا و به بافت‌های دوردست با آوند آبکش مبادله کنند. این مکانیسم‌ها توسط ویروس‌های RNAدار ربوده[2] شده تا همانندسازی و ژنوم خود را در سراسر موجود زنده گیاهی با کمک پروتئین‌های حرکتی[3] (MP) کد شده توسط ویروس منتشر کنند. تصویربرداری زنده از مولکول‌های RNA یک رویکرد بنیادی برای درک تنظیم و اساس مولکولی این فرآیندها است. پرکاربردترین سامانه‌های آزمایشی برای تجسم حالت *in vivo* مولکول‌های RNA، مبتنی بر پروتئین‌های نشان‌دار فلورسنت متصل شونده به RNA است که به موتیف‌های خاصی که در RNA قرار داده شده‌اند متصل می‌شوند، بنابراین امکان ردیابی مولکول RNA خاص توسط میکروسکوپ فلورسنت را فراهم می‌کنند. اخیراً، پنا و هینلین (۲۰۲۲) با استفاده از پروتئین متصل شونده به RNA به نام BglG، تصویربرداری از RNA های نشان دار با مکان اختصاصی جهت اتصال به پروتئین BglG را در گیاه بصورت پروتکل ارائه داده‌اند (Peña and Heinlein, 2022).

[1]RNA-binding protein
[2]hijacked
[3]movement proteins

انتقال RNA با تنظیم نفوذپذیری پلاسمودسماتا

همانگونه که ذکر شد، RNAها می‌توانند از سلول به سلول از طریق پلاسمودسماتا و در مسافت طولانی از طریق آوند آبکش انتقال دهند. منافذ پلاسمودسماتا توسط تغییر میزان کالوز باز و بسته می‌شود که با افزایش یا کاهش مقدار آن این کنترل صورت می‌گیرد. آنچه که باعث حرکت شیره در آوند آبکش می‌شود جریان فشار اسمزی است. حرکت RNA در شیره آوند آبکش متاثر از این فشار است. یکسری پروتئین‌های متصل شونده به RNA وجود دارد که با آنالیز شیره آوند آبکش گیاه کدو به آن پی برده شده است. فرآیند صدور عمده mRNAها از هسته به سیتوپلاسم در یوکاریوت‌ها بسیار حفاظت شده می‌باشد. مونتاژ ریبونوکلئوپروتئین mRNA (mRNP[1]) مربوط به صدور با پردازش رونویسی و پردازش mRNA همراه هستند. پلاسمودسماتا و آوند آبکش با هم یک مسیر سیم پلاستی را تشکیل می‌دهند که تقریباً اکثر سلول های گیاهی را پیوند می‌دهد (Kehr and Kragler, 2018).

نفوذپذیری می تواند برای تسهیل یا مسدود کردن انتقال RNA و سایر مولکول‌ها در طول رشد گیاه و پاسخ به تنش تنظیم شود و منفذ پلاسمودسماتا ممکن است به طور موقت توسط پروتئین‌های متحرک مانند KN1 و PP16 متسع شود.

رسوب معکوس کالوز سازوکاری دیگر است که توسط گیاهان برای تنظیم نفوذپذیری پلاسمودسماتا در پاسخ به تنش‌های مختلف محیطی، از جمله تهاجم عوامل بیماری زا، زخمی شدن و کمبود مواد مغذی مورد استفاده قرار می‌گیرد. جهش کارکردزا در ژنی به نام CALLOSE SYNTHASE (CALS۳) ۳ در گیاه آرابیدوپسیس حرکت بین سلولی RNA کوچک معروف به *miR165/166* را مختل می‌کند که نشان می‌دهد تنظیم نفوذپذیری پلاسمودسماتا راهی مؤثر برای کنترل انتقال RNA کوچک است. با این حال، تحقیقات در مورد پلاسمودسماتا چالش برانگیز است زیرا جهش در پلاسمودسماتا کشنده و جداسازی بیوشیمیایی آن دشوار است (Liu and Chen, 2018).

مسیرهای جایگزین بالقوه در انتقال RNA بین سلول ها و در آوند آبکش

یکی از مسیرهای بالقوه برای ورود رونوشت به آوند آبکش از طریق وزیکول‌ها[2] است (شکل ۱). به طور کلی، مولکول‌های RNA توسط پروتئین‌های متصل شونده به RNA تحویل داده می‌شوند. مولکول‌های RNA می‌توانند از یک سلول یا بافت از مسیر پلاسمودسماتا و در مسافت‌های طولانی با استفاده از جریان آوندی وارد و صادر شوند. اگرچه این موضوع از نظر مکانیکی به خوبی درک نشده است، مولکول‌های RNA می‌توانند به ارگانل‌هایی مانند پراکسیزوم، میتوکندری و پلاستیدها وارد شوند.

در حیوانات، مولکول‌های RNA همراه با غشاها و در ساختارهای کوچک وزیکولی مانند اگزوزوم هایی با قطر حدود ۵۰-۱۵۰ نانومتر وجود دارند.

[1] mRNA ribonucleoprotein
[2] Vesicles

به نظر می‌رسد وزیکول خارج سلولی در گیاهان نیز وجود دارند، اگرچه هنوز مشخص نشده است که حاوی مولکول‌های RNA هستند یا خیر (Kehr and Kragler, 2018; Liu and Chen, 2018; Rutter and Innes, 2017). قابل ذکر است، پروتئوم آنها به طور قابل توجهی با پروتئوم پلاسمودسماتا همپوشانی دارد که نشان می‌دهد که پلاسمودسماتا ممکن است کانونی برای انتقال وزیکول/ اگزوزوم خارج سلولی باشد. اغلب، نه همه، ویروس‌های RNAدار تک رشته پستانداران و گیاهان از غشاهای میزبان به عنوان سکو برای تکثیر و به عنوان حامل برای انتقال ویروس به سلول‌های دیگر استفاده می کنند. این ویروس ها از غشاها به عنوان پوشش و یا از وزیکول‌ها به عنوان حامل برای انتقال استفاده می کنند. به نظر می‌رسد بسیاری از ویروس‌های گیاهی، حیوانی و انسانی که از غشاهای فسفاتیدیل اینوزیتول ۴-فسفات / غنی از کلسترول برای تکثیر[1] و غشاهای غنی از فسفاتیدیل سرین برای انتشار[2] بطور گسترده استفاده می کنند (Kehr and Kragler, 2018; Liu and Chen, 2018; Rutter and Innes, 2017).

شبه اگزوزوم های گیاهی

از آنجا که عوامل بیماری زای قارچی دستگاه های تغذیه ای خود را درون سلول های میزبان فرو می‌برند، گیاهان می توانند با شلیک وزیکول‌های بسته بندی شده با مولکول‌های دفاعی، به مبارزه با آنها بپردازند (Xiao et al., 2018).

اگزوزوم‌ها از وزیکول‌های حاصل از به هم پیوستن اجسام چند وزیکولی[3] (MVB) بوجود می‌آیند که منبع آن در گیاهان در حال حاضر ناشناخته است، اما ممکن است شبکه ترانس گلژی[4] (TGN) باشد که پروتئین‌ها را برای ارسال به مکان‌های مختلف سلولی مرتب می‌کند. MVBها با غشای پلاسمایی گیاهی ترکیب می‌شوند تا اگزوزوم ها را به آپوپلاست که شامل دیواره سلولی و فضای بین سلول ها آزاد کنند (Rutter and Innes, 2017). شواهد نشان می‌دهد که اگزوزوم‌ها نقش‌های بسیاری در دفاع گیاهان دارند. به عنوان مثال، هنگامی که هوستوریوم ها[5] (اندام های مکنده) یا ساختارهای تغذیه کننده قارچ‌های بیماری زا در دیواره سلولی گیاه نفوذ می‌کنند، ممکن است اگزوزوم‌ها مولکول هایی را برای تقویت دیواره سلولی تحویل دهند. اگزوزوم ها همچنین می‌توانند از طریق سازوکار ناشناخته از دیواره سلولی عبور و وارد سلول‌های قارچی مجاور شوند تا پروتئین های دفاعی ضد قارچ و RNAهای مداخله گر کوتاه را که باعث مختل شدن ترجمه پروتئین های قارچی می‌شود، تحویل دهند.

[1]Replication
[2]Transmission
[3]Multivesicular bodies
[4]trans-golgi network
[5]Haustoria

اگزوزوم‌ها وزیکول خارج سلولی[1] (EVs) هستند که با حمل پروتئین‌ها و RNAهای کوچک نقش مهمی در پیام‌رسانی بین سلولی در پستانداران دارند. تجزیه و تحلیل پروتئینی از این EVs نشان داد که آنها به شدت غنی از پروتئین‌های درگیر در پاسخ به تنش زیستی و غیرزیستی هستند. مقدار کمی از داده‌ها در مورد اگزوزوم‌های گیاهی عمدتا از پژوهش هایی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی گذاره (TEM) حاصل می‌شود. این مطالعات نشان می‌دهد که MVBs در سلولهای گیاهی در طی حمله عوامل بیماری زا تکثیر می‌یابد و اغلب در حالت های مختلف تلفیقی با غشای پلاسمایی مشاهده می‌شود (Cai et al., 2018).

وزیکول های خارج سلولی گیاه حاوی RNAهای کوچک هستند

RNAهای گیاهی می توانند از سلول های گیاهی به عوامل بیماری زا منتقل شوند. از طریق پدیده ای که به عنوان خاموش ژن ناشی از میزبان[2] (HIGS) شناخته می‌شود، RNAهای کوچک تولید شده در یک سلول گیاهی می‌توانند بیان ژن‌ها در یک عامل بیماری زا یا انگل مهاجم را تنظیم کنند. در سال‌های اخیر، HIGS به ابزاری قدرتمند برای مهندسین ژنتیک جهت ایجاد مقاومت در گیاهان زراعی نسبت به نماتود، حشرات، قارچ ها، اوومایست ها و گیاهان انگل تبدیل شده است. اگرچه مطالعات متعدد سیستم‌های HIGS مصنوعی را توسعه داده اند، اما این پدیده می‌تواند به طور طبیعی اتفاق بیفتد، از جمله در انتقال میکرو RNAها *miR۱۶۶* و *miR۱۵۹* از پنبه به قارچ همی بیوتروفیک (نیمه انگل)، *Verticillium dahliae* و انتقال siRNA از *Arabidopsis thaliana* به *Botrytis cinerea*.

نتیجه گیری

در گیاهان عالی، RNAها می‌توانند بین سلول ها، بافت ها و همچنین در مسافت های طولانی از طریق سیستم انتقال آوند آبکش حرکت کنند. تمام کلاس‌های RNA در نمونه‌های آوند آبکش یافت شده است، اما تاکنون به خوبی درک نشده است که انتقال RNA به صورت مکانیکی چگونه حاصل می‌شود. علاوه براین، کارکرد پیام‌رسانی فقط برای اقلیت RNAهای متحرک قابل نمایش است. به نظر می‌رسد دسترسی RNA به آوند آبکش حداقل تا حدی انتخابی است، اما این سؤال که چگونه این امر محقق شده است باید پاسخ داده شود. اگرچه برخی مطالعات نشان داده است موتیف‌هایی در RNA باعث انتقال آنها می‌شود، اما به نظر نمی‌رسد که همه RNAها دارای چنین موتیف‌هایی باشند (Guan et al., 2016; Kehr and Kragler, 2018; Liu and Chen, 2018). مطالعات اخیر به طور قابل توجهی در درک ترکیبات پلاسمودسماتا و سازوکار بسته شدن آنها نقش داشته است، اما پژوهش‌های مرتبط با شناسایی موتیف‌های بالقوه در تحرک RNA، پروتئین‌های اتصال دهنده RNA و کمپلکس‌های ریبونوکلئوپروتئین در مراحل ابتدایی کار قرار دارد. همچنین، اخیراً وزیکول‌های خارج سلولی به عنوان یک مسیر اضافی بالقوه برای انتقال ماکرومولکول‌ها در گیاهان ظاهر شده اند، اما همچنان نامشخص است که چنین وزیکول‌هایی تا چه میزان در انتقال مولکول‌های RNA به بافت‌های دوردست نقش دارند. آشکارسازی حرکت RNA در مسافت‌های طولانی در گیاهان عالی، نیاز به ترکیب دانش تخصصی مکمل و ابزارهای پیشرفته برآمده از بیوانفورماتیک، زیست شناسی سلولی، بیوشیمی، زیست شناسی ساختاری و مدل‌سازی دارد (Guan et al., 2016).

[1]Extracellular Vesicles
[2]Host-Induced Gene Silencing

منابع

Buhtz, A., Pieritz, J., Springer, F., and Kehr, J. (2010). Phloem small RNAs, nutrient stress responses, and systemic mobility. BMC plant biology 10, 64.

Cai, Q., Qiao, L., Wang, M., He, B., Lin, F.-M., Palmquist, J., Huang, S.-D., and Jin, H. (2018). Plants send small RNAs in extracellular vesicles to fungal pathogen to silence virulence genes. Science 360, 1126-1129.

Ghate, T. H., Sharma, P., Kondhare, K. R., Hannapel, D. J., and Banerjee, A. K. (2017). The mobile RNAs, StBEL11 and StBEL29, suppress growth of tubers in potato. Plant molecular biology 93, 563-578.

Guan, D., Yan, B., Thieme, C., Hua, J., Zhu, H., Boheler, K. R., Zhao, Z., Kragler, F., Xia, Y., and Zhang, S. (2016). PlaMoM: a comprehensive database compiles plant mobile macromolecules. Nucleic acids research, gkw988.

Ham, B.-K., and Lucas, W. J. (2017). Phloem-mobile RNAs as systemic signaling agents. Annual review of plant biology 68, 173-195.

Haywood, V., Yu, T. S., Huang, N. C., and Lucas, W. J. (2005). Phloem long-distance trafficking of GIBBERELLIC ACID-INSENSITIVE RNA regulates leaf development. The Plant Journal 42, 49-68.

vegetables. PeerJ 6, e5186.

Zhang, W., Thieme, C. J., Kollwig, G., Apelt, F., Yang, L., Winter, N., Andresen, N., Walther, D., and Kragler, F. (2016). tRNA-related sequences trigger systemic mRNA transport in plants. The Plant Cell 28, 1237-1249.

Hochberg-Laufer, H., Schwed-Gross, A., Neugebauer, K. M., and Shav-Tal, Y. (2019). Uncoupling of nucleo-cytoplasmic RNA export and localization during stress. Nucleic acids research 47, 4778-4797.

Kehr, J., and Kragler, F. (2018). Long distance RNA movement. New Phytologist 218, 29-40.

Kim, M., Canio, W., Kessler, S., and Sinha, N. (2001). Developmental changes due to long-distance movement of a homeobox fusion transcript in tomato. Science 293, 287-289.

Lin, M.-K., Lee, Y.-J., Lough, T. J., Phinney, B. S., and Lucas, W. J. (2009). Analysis of the pumpkin phloem proteome provides insights into angiosperm sieve tube function. Molecular & Cellular Proteomics 8, 343-356.

Liu, L., and Chen, X. (2018). Intercellular and systemic trafficking of RNAs in plants. Nature plants 4, 869.

Lucas, W. J., Bouché-Pillon, S., Jackson, D. P., Nguyen, L., Baker, L., Ding, B., and Hake, S. (1995). Selective trafficking of KNOTTED1 homeodomain protein and its mRNA through plasmodesmata. Science 270, 1980-1983.

Mlotshwa, S., Voinnet, O., Mette, M. F., Matzke, M., Vaucheret, H., Ding, S. W., Pruss, G., and Vance, V. B. (2002). RNA silencing and the mobile silencing signal. The Plant Cell 14, S289-S301.

Mosa, K. A., Ismail, A., and Helmy, M. (2017). «Plant stress tolerance: an integrated omics approach,» Springer.

Ostendorp, A., Pahlow, S., Krüßel, L., Hanhart, P., Garbe, M. Y., Deke, J., Giavalisco, P., and Kehr, J. (2017). Functional analysis of Brassica napus phloem protein and ribonucleoprotein complexes. New Phytologist 214, 1188-1197.

Peña, E. J., and Heinlein, M. (2022). In Vivo Visualization of Mobile mRNA Particles in Plants Using BglG. In «Plasmodesmata», pp. 411-426. Springer.

Rutter, B. D., and Innes, R. W. (2017). Extracellular vesicles isolated from the leaf apoplast carry stress-response proteins. Plant Physiology 173, 728-741.

Vaucheret, H. (2006). Post-transcriptional small RNA pathways in plants: mechanisms and regulations. Genes & development 20, 759-771.

Xiao, J., Feng, S., Wang, X., Long, K., Luo, Y., Wang, Y., Ma, J., Tang, Q., Jin, L., and Li, X. (2018). Identification of exosome-like nanoparticle-derived microRNAs from 11 edible fruits and

گیاهپزشک
نشریه علمی-ترویجی (حرفه‌ای) انجمن علمی دانشجویی گروه گیاهپزشکی
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

مگس سرکه، موجود زنده مدل آزمایشگاهی

سارا آزادبه
دانشجوی دکتری حشره شناسی کشاورزی دانشگاه تهران

doi 10.22059/GIAHPZSHSJ.2023.91675

چکیده

در علوم زیستی استفاده از مدل (Modeling) برای امور پژوهشی در بسیاری از حیطه های علوم زیستی، کشاورزی و پزشکی رایج و ضروری است. حشرات از مدل های بی مهره می باشند که در زمینه های مختلف مورد توجه قرار گرفته اند. حشرات مدل به دلیل وجود ویژگی های منحصر به فرد از بین هزاران گونه بندپای دیگر به عنوان جانور مدل انتخاب شده اند که مگس سرکه از پیشتازترین گونه هاست. مگس سرکه (*Drosophila melanogaster*) از حدود ۱۰۰ سال پیش تاکنون به عنوان مدل آزمایشگاهی استفاده می شود. مگس سرکه، به دلیل سهولت دسترسی و پرورش در شرایط آزمایشگاهی، دوره تکاملی کوتاه (۱۰ روز)، تولید تعداد زیادی تخم، مطالعه آسان صفات (۴ جفت کروموزوم)، به عنوان مدل آزمایشگاهی در زمینه های کشاورزی، پزشکی، زیست شناسی استفاده می شود. در علم کشاورزی بررسی مقاومت به سموم شیمیایی و متابولیسم سموم با استفاده از مگس سرکه قابل انجام است. در علوم پزشکی، مطالعه بیماری های انسانی از جمله آلزایمر، پارکینسون، اختلالات شناختی - رفتاری، دیابت و نیز تشخیص سرطان با استفاده از مگس سرکه قابل انجام است. به علاوه آزمایشات دارویی روی مگس سرکه قابل اجرا است. در علوم زیست شناسی جهت کشت سلولی و بررسی اثر متابولیت ها کاربرد دارد. مطالعات ژنتیکی نیز همچون بررسی انواع جهش ها به ویژه جهش بینایی، جهش در فرآیندهای رفتاری، جهش در الگوهای جنینی قابل انجام است.

کلیدواژگان: جهش، مدل آزمایشگاهی، مگس سرکه.

Fruit fly, an organism as a labratory model

Sara Azadbeh

PhD student in agricultural entomology, University of Tehran PhD student in agricultural entomology,

10.22059/GIAHPZSHSJ.2023.91675

Abstract

In biological sciences, the use of modeling for research purposes is common and necessary in many fields of biological, agricultural and medical sciences. Insects are invertebrate models that have received attention in various fields. Model insects have been chosen as model animals due to their unique characteristics among thousands of other arthropod species, of which Drosophila is one of the leading species. *Drosophila melanogaster* has been used as a laboratory model since about 100 years ago. Drosophila is used as a laboratory model in the fields of agriculture, medicine, and biology due to the ease of access and breeding in laboratory conditions, short developmental period (10 days), production of a large number of eggs, easy study of traits (4 pairs of chromosomes). In agricultural science, the investigation of resistance to chemical pesticides and their metabolism can be done with using fruit fly. In medical sciences, the study of human diseases such as Alzheimer›s, Parkinson›s, cognitive-behavioral disorders, diabetes, and cancer diagnosis can be done using Drosophila. In addition, drug tests on fruit fly are applicable. It is used in biological sciences for cell culture and investigating the effect of metabolites. Genetic studies can also be carried out, such as examining all types of mutations, especially vision mutations, mutations in behavioral processes, and mutations in fetal patterns.

Keywords: Drosophila melanogaster,Fruit Fly, Labratory Model, Mutation

سارا آزادبه

مگس سرکه، موجود زنده مدل آزمایشگاهی

مقدمه

موجودات زنده مدل به عنوان گونه‌های غیر انسانی تعریف می‌شوند که به منظور درک انواع پدیده‌های بیولوژیکی به طور گسترده مورد مطالعه قرار می‌گیرند. هدف استفاده از موجود زنده مدل، بررسی هرچه ساده تر موجودات پیچیده‌تر مانند انسان می‌باشد. در این خصوص ابتدا مطالعه باکتریوفاژها، باکتری‌ها و مخمرها سبب کشف بیشتر فرآیندهای بیولوژیکی مولکولی پایه شد. در حالی که موش، مگس سرکه، نماتد، *Caenorhabditis elegans* و *Arabidopsis thaliana* به همان اندازه برای مطالعه فرآیندهای بیولوژیکی در موجودات چند سلولی ایفای نقش کردند. این مدل های چند سلولی به طور گسترده برای مطالعه ژنتیکی، تمایز سلولی، تشکیل بافت و اندام و همچنین رشد و نمو در بدن موجود زنده مورد استفاده قرار گرفتند.

مدل‌های حیوانی به دانشمندان اجازه می‌دهد تا بیماری‌های انسانی را کشف کنند و در عین حال از مسائل اخلاقی پیرامون مدل‌های انسانی اجتناب کنند. مدل‌های حیوانی را می توان به مدل‌های مهره دار[1] و مدل‌های بی مهره[2] تقسیم بندی کرد. حشرات از مدل‌های بی مهره می‌باشند که در زمینه‌های مختلف مورد توجه قرار گرفته اند . به علاوه حشرات در بررسی پایه اپی ژنتیک بیماری‌ها کاربرد ویژه‌ای دارند. توارث اپی ژنتیک شاخه‌ای رو به گسترش از علم ژنتیک می‌باشد که عبارت است از تغییر در بیان ژن[3] که قابل به ارث رسیدن در نسل‌های بعدی است بدون اینکه تغییری در توالی DNA رخ دهد. این پدیده مربوط به باز برنامه نویسی[4] بیان ژن در پاسخ به محرک‌های درونی و محیطی است که موجب تفاوت در فنوتیپ یا اثر ژن می‌گردد.

حشرات مدل به دلیل وجود ویژگی‌های منحصر به فرد از بین هزاران گونه بندپای دیگر به عنوان جانور مدل انتخاب شده‌اند که مگس سرکه (*Drosophila melanogaster*) از پیشتازترین گونه‌هاست .از مزایای استفاده حشرات به عنوان مدل بیماری‌ها در مطالعات اپی‌ژنتیک می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. در مقایسه با مدل‌های پستانداران مانند موش، مدل‌های حشرات از لحاظ اخلاقی و اقتصادی بیشتر قابل پذیرش می‌باشند.

۲. حشرات را می‌توانیم در زمان کوتاهی به تعداد زیاد و ارزان برای چندین نسل پرورش دهیم.

۳. گونه‌های حشرات که ژنوم آن‌ها بطور کامل تعیین توالی شده‌اند می‌توانند مدل‌های مناسبی برای بیماری‌های انسانی و مطالعات ژنتیکی باشند. (اعتقاد بر این است ۷۵ درصد ژن‌هایی که در انسان موجب بیماری می‌شوند دارای همولوژی عملکردی در مگس سرکه می‌باشند).

۴. به دلیل اینکه زمان تولید نسل در حشرات بسیار کوتاه است حشرات می‌توانند برای آنالیز بیماری‌هایی که از طریق ژنتیک منتقل می‌شوند مدل‌های ایده‌آلی باشند.

۵. قدرت باروری بالا یکی از پارامترهای پیچیده‌ای است که به راحتی در حشرات قابل مطالعه است.

۶. حشرات می‌توانند به‌عنوان کاندید برای ساخت داروهای نوین و واکسن مورد استفاده قرار گیرند.

۷. از حشرات می‌توان به‌عنوان مدل برای مطالعه بیماری‌های خود ایمنی، اختلالات متابولیک، سرطان‌ها، اختلالات عصبی و... استفاده کرد (جدول ۱، جنبه‌های مثبت و منفی استفاده از انواع موجودات مدل).

[1]Vertebrate Models
[2]Invertebrate Models
[3]Gene Expression
[4]Reprogramming

جدول ۱. جنبه‌های مثبت و منفی استفاده از انواع موجودات مدل (Brandt, 2019)

-	*Mus musculus*	*Caenorhabditis elegans*	*Locusta migratoria*	*Drosophila melnanogaster*	*Tribolium castaneum*	*Apis mellifera*
Simple cultivation	---	+	+	+++	+++	-
Simple life cycle	---	+++	+	+++	+++	-
Generation time	50 – 60 days	3.5 days	7 – 8 weeks	12 days	55 days (32°C)	1 year
Year round availability	+++	+++	+++	+++	+++	-
Adult Life span	Up to 3 years	90 hours	3 – 6 weeks	2 months (25°C)	4 – 7 months (25°C)	Workers: 20 – 180 days queen up to 4 -6 years Drones: mating season
Maintenance costs	high	low	low	low	low	Economicaly profitable
Genetic homogentity	+++	+++	+	+++	++	---
Economic relevance	--	-	++ (pest)	-	+ (pest)	+++
Ethical or safety restrictions	+++	-	-	-	-	-
Simplicity	-	++	+	++	++	-
Number of brain neurons	> 14,000,000	302	phase dependent	> 100,000		1,000,000
Fully annotated genomes	+	+	-	+	+	+
Tools and markers (molecular/ genetic/ cellular)	+++	+++	(+)	+++	+	-
Large libraries of mutants and transgenics available	+++	+++	-	+++	(+)	-
Frozen mutant strains	-	+	-	-	-	-
Databases	+++	+++	(+)	+++	+	+
Used in study area:						
Development	+++	+++	+	+++	+	(+)
Cell biology	+++	++	-	+++	-	(+)
Physiology	+++	+++	+	+++	+	+
Neurobiology	+++	+++	+	+++	+	++
Behaviour	+++	+	+	+++	(+)	+++
Social behaviour	+++	-	+	+	-	+++
Drug or pesticide tests	+++	+++	+	+++	(+)	+++

هفت گونه از مهمترین حشرات مدل عبارتند از:

- *Drosophila melanogaster*
- *Schistocerca gregaria*
- *Tribolium castaneum*
- *Galleria mellonella*
- *Bombyx mori*
- *Apis mellifera*
- *Osmia bicornis*

– مگس سرکه به عنوان مدلی برای بررسی پدیده‌ی پیری زیستی سلولی و ارگانیسمی

– *Tribolium castaneum* به عنوان مدلی برای کشف دارویی مواد محافظ عصبی

– *Locusta migratoria* و *Schistocerca gregaria* به عنوان مدلی برای رشد جنینی و لاروی

– زنبورها به عنوان مدلی برای سلامت گرده افشان ها و ارزیابی تهدیدها

– *Apis mellifera* به عنوان یك موجود زنده مدل برای بررسی اثرات مزمن و کشنده آفت کش ها

– *Apis mellifera* به عنوان یك موجود زنده مدل برای بررسی اثرات زیر کشندگی آفت کش ها

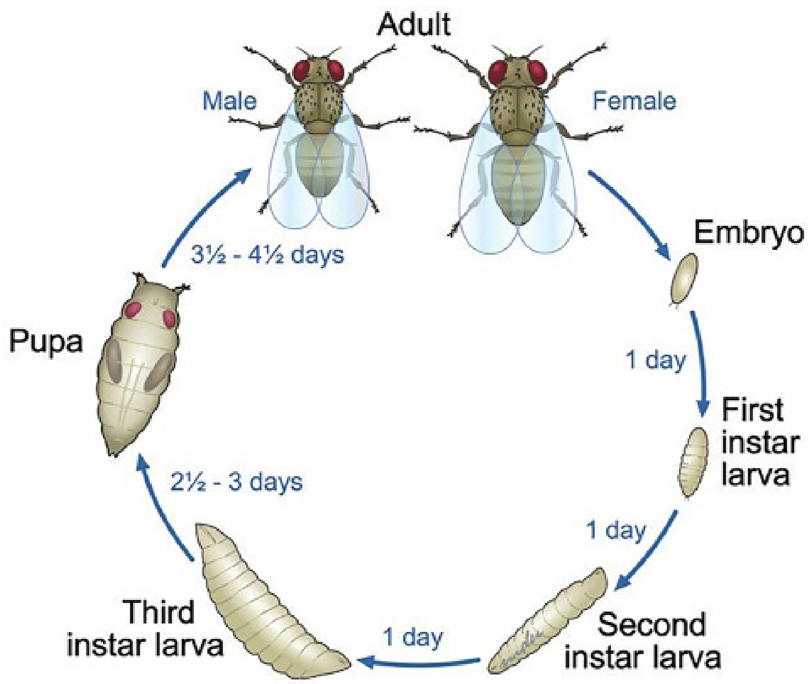
– Osmia bicornis به عنوان یك موجود زنده مدل برای سلامت گرده افشان و ارزیابی خطر آفت کش ها

ریخت شناسی و زیست شناسی مگس سرکه

مگس سرکه *Drosophila melanogaster* مگسی است از راسته دو بالان Diptera و خانواده Drosophilidae طول بدن این مگس ۴-۳ میلی متر و به رنگ‌های زرد، قهوه ای، خاکستری تا سیاه می‌باشد. از خصوصیات مورفولوژیک این حشره می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: موی آریستا در شاخک‌ها پروش بوده و بند سوم شاخک تا حدودی تخم‌مرغی است. غالباً چشم‌های مرکب آن درشت و قرمز رنگ است و بال ها در حالت استراحت بطور مسطح در پشت بدن قرار می‌گیرند. مگس سرکه حشره ای با دگردیسی کامل می‌باشد و چرخه زندگی آن، شامل ۴ مرحله جنین، لارو، شفیره و حشره کامل است (شکل ۱).

بعد از اینکه عمل لقاح صورت گرفت و سلول تخم تشکیل شد مراحل رشد و نمو رویانی در داخل غشاهای تخم انجام می‌گیرد و سپس لارو سن ۱ از تخم خارج می‌شود.

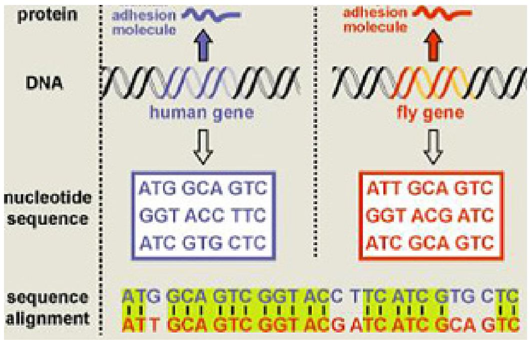
لاروها سفید، بند بند، بدون پا و زوائد بدنی بوده و در ناحیه سر، قلاب‌های آرواره ای به رنگ سیاه دیده می شوند. در این مرحله رشد حشره سریع بوده و غذای فراوان می خورد. پس از آن وقتی لارو سن ۳ بزرگ شد، محیط کشت را ترک می‌کند و در دیواره ظرف سرگردان شده، به دنبال جستجوی مکانی برای شفیرگی خواهد بود. در طی شفیرگی کامل بدن از لارو تا حشره کامل اتفاق می‌افتد، بیشتر بافت‌های لاروی تجزیه می‌شوند و اندام‌های حشره کامل از دیسک‌های کمال (سلول های تمایز نیافته) نمو می‌یابند. در مگس سرکه حدود ۱۰ جفت دیسک کمال وجود دارد. در نهایت شفیره تکامل می‌یابد و حشره کامل یا بالغ ظاهر می‌گردد. طول مدت این مراحل تحت تاثیر دمای محیط متغیر است. برای مثال در دمای ۲۵ درجه طول این مدت ۱۰ روز می‌باشد. این حشره روی میوه های در حال تخمیر و اطراف خمره‌های سرکه دیده می‌شود. مگس به بوی تخمیر و سرکه جلب می‌شود و مخمرهای عامل گندیدگی میوه‌ها را با خود بر روی میوه‌های رسیده حمل کرده، در آنجا کشت می‌دهد و در داخل آن ها تخم ریزی می‌کند.



شکل ۱. چرخه زندگی مگس سرکه ۱۰ تا ۱۲ روز در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد به طول می انجامد (Ong et al., 2015).

مگس های کامل و لاروهای آن ها در محیط‌های اسیدی و تخمیری زندگی می‌کنند و در محل تغذیه این مگس معمولا میکروارگانیسم‌هایی مثل باکتری‌ها و قارچ‌ها نفوذ کرده و تکثیر می‌یابند. تولوینسکی ۲۰۱۷ خاطر نشان کرد مگس سرکه جزو اولین موجوداتی است که ژنوم آن کاملاً شناخته شده است. این مگس دارای ۱۴۰۰۰ ژن بوده و اولین بار توسط مورگان، جهش در آن شناخته شده است. در دانشگاه کلمبیا آنالیزهای ژنتیکی مورگان و همکاران روی مگس سرکه باعث کشف نقش کروموزوم در وراثت شد. این یافته مهم منجر به دریافت جایزه نوبل ۱۹۳۳ توسط مورگان شد.

ژنوم *D. melanogaster* مشابهت زیادی با ژنوم پستانداران معمولی دارد و در اکثر خانواده‌های ژنی و مسیرهای ژنی با پستانداران، دارای نقطه اشتراک می‌باشد (رجوع شود به شکل ۲).



شکل ۲. مقایسه توالی ژنی مگس سرکه با توالی ژنی انسان (به همسانی بالا در توالی نوکلئوتیدی دو موجود دقت شود (Reiter et al., 2001)

مگس سرکه از حدود ۱۰۰ سال پیش تاکنون به عنوان مدل آزمایشگاهی استفاده می شود. مگس سرکه، به دلیل سهولت دسترسی و پرورش در شرایط آزمایشگاهی، دوره تکاملی کوتاه (۱۰ روز)، تولید تعداد زیادی تخم، مطالعه آسان صفات (۴ جفت کروموزوم)، به عنوان مدل آزمایشگاهی در زمینه‌های کشاورزی، پزشکی، زیست شناسی استفاده می‌شود.

در علم کشاورزی بررسی مقاومت به سموم شیمیایی و متابولیسم سموم با استفاده از مگس سرکه قابل انجام است. در علوم پزشکی، مطالعه بیماری‌های انسانی از جمله آلزایمر، پارکینسون، اختلالات شناختی - رفتاری، دیابت و نیز تشخیص سرطان با استفاده از مگس سرکه قابل انجام است. به علاوه آزمایشات دارویی روی مگس سرکه قابل اجرا است. در علوم زیست شناسی جهت کشت سلولی و بررسی اثر متابولیت ها کاربرد دارد. مطالعات ژنتیکی نیز همچون بررسی انواع جهش ها به ویژه جهش بینایی (شکل۳)، جهش در فرایندهای رفتاری، جهش در الگوهای جنینی قابل انجام است.

شکل۳. موتاسیون ژنی در چشم مگس سرکه. مگس های با چشمان سفید به محققان کمک می کنند برای درک اینکه ژن ها در کروموزوم قرار دارند (Morgan, 1978).

دوران مدرن تحقیقات مگس سرکه زمانی آغاز شد که جانور مدل به طور عمیق برای مطالعه ژن‌های دخیل در رشد و نمو بررسی شد. کشف اساسی این بود که ژن‌های متفاوتی جنبه‌های مختلف رشد را تنظیم می‌کنند. محققین دریافتند که بسیاری از این ژن‌ها همولوگ ژن‌هایی هستند که در رشد انسان و بروز بیماری نقش دارند. این ژن‌ها طی میلیون‌ها سال تکامل حفظ شده‌اند و می‌توانند به راحتی و به سرعت در مگس سرکه مورد مطالعه قرار گیرند. این امر منجر به استفاده هر چه بیشتر از مگس سرکه در مطالعات مختلف شده است چرا که محققان، بیشتر و بیشتر از قبل، پتانسیل مگس سرکه را برای پاسخ به پرسش های اساسی و توسعه ابزارهای مولکولی هوشمندانه دریافته اند.

کاربرد مگس سرکه در تحقیقات پیری زیستی[1]

مگس میوه، در بین سایر جانوران مدل، یک موجود زنده مدل عالی است که در آن می‌توان اساس ژنتیکی و سلولی فرآیندهای مهم بیولوژیکی مانند پیری زیستی را تشریح کرد و امکان رمزگشایی مکانیسم‌های مشابه در مهره‌داران را فراهم کرد. (جدول ۲. مقایسه انواع موجودات مدل در تحقیقات پیری زیستی)

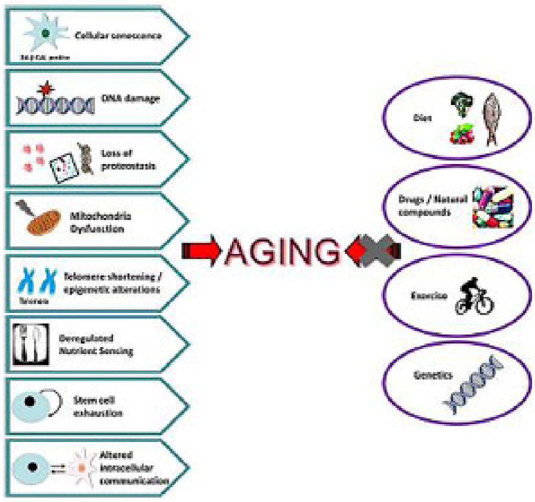
درک جزئیات رویدادهای مولکولی درگیر در فرآیند پیری زیستی در نهایت به کاهش تأثیر بیماری‌های مرتبط با افزایش سن کمک نموده، سلامت انسان را بهبود می‌بخشد و طول عمر را افزایش می‌دهد (شکل ۴. عوامل موثر در ظهور و عدم ظهور پدیده پیری زیستی). در تحقیقات پیری زیستی در *D. melanogaster* از طیف وسیعی از روش‌ها برای برهم زدن عملکرد ژن، مانند بررسی جهش‌زایی، استفاده از خاموشی ژن به طریق RNAi و دستکاری ژنتیکی استفاده می‌شود.

مگس سرکه یک موجود زنده با ارزش برای بررسی پیری زیستی و بیماری‌های مرتبط با افزایش سن است، چرا که طول عمر کوتاه آن (۴ تا ۸ هفته بسته به دما و رژیم غذایی) برای سرعت انجام مطالعات یک مزیت مثبت به شمار می‌آید.

در طراحی آزمایش پیری زیستی تعداد زیادی مگس را می‌توان در بطری‌های کوچک پرورش داد، بنابراین پرورش حشره، آسان و کم هزینه است. باروری بالای گونه اجازه می‌دهد تا تعداد زیادی مگس با محتوای ژنتیکی یکسان به سرعت تولید شوند که برای انجام مطالعه ضروری است. بررسی عملکرد ژن‌های مرتبط در فرآیند پیری زیستی در مگس میوه با مطالعه بیان ژن‌ها در شرایط مختلف امکان‌پذیر است.

سلول‌های بنیادی بالغ، سلول‌های محدود به بافت با توانایی منحصربه‌فرد برای خود نوسازی و تمایز به انواع سلول‌ها و بافت‌ها هستند. تجدید سلول‌های تمایز یافته به ویژه برای هم ایستایی[2] بافت در ارگانیسم‌های بالغ مهم است، زیرا این امر باعث حفظ اندام‌های بالغ و تسهیل ترمیم پس از آسیب یا بیماری می‌شود. تصور می‌شود ظرفیت سلول‌های بنیادی بالغ برای نوسازی سلولی و هموستاز بافتی با افزایش سن کاهش یابد. این کاهش عملکرد ممکن است مسئول بسیاری از فنوتیپ‌های بافتی خاص مرتبط با پیری زیستی باشد. با این حال، پیری زیستی سلول‌های بنیادی *D. melanogaster* در اپیتلیوم روده میانی و غدد جنسی، مدل‌های بسیار خوبی برای مطالعه پیری زیستی در سلول‌های بنیادی ارائه می‌کند.

[1]Aging researches
[2]Homostasis



شکل ۴. عوامل موثر در ظهور و عدم ظهور پدیده پیری زیستی(Evangelakou et al., 2019) .

پیری زیستی سلول‌های بنیادی بالغ در غدد جنسی *D. melanogaster* باعث از دست دادن باروری می‌شود که با افزایش سن شدیدتر می‌شود. سرعت تقسیم سلول‌های بنیادی بالغ در غدد جنسی نر با افزایش سن به طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد و این امر با کاهش تعداد سلول‌های قطب سوماتیکی که به ایجاد سلول‌های بنیادی کمک می کنند مرتبط است.

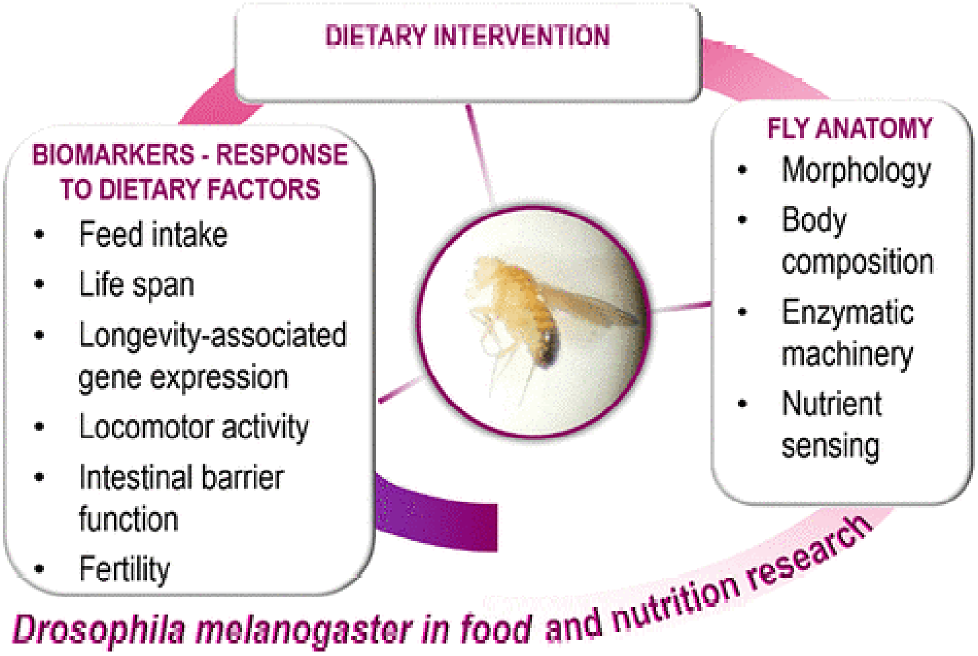
جالب اینجاست که میزان تقسیم سلول های بنیادی در مگس‌های جهش یافته که طول عمر طولانی و مقاومت به استرس بیشتری دارند کاهش نمی‌یابد. سیستم گوارشی گونه‌های مهره دار و بی مهره شباهت‌های گسترده‌ای از نظر رشد، معماری سلولی و تنظیم ژنتیکی دارند. سلول‌های روده انسان به طور مداوم توسط سلول‌های بنیادی بالغ احیا می‌شوند و عدم تنظیم این فرآیند ممکن است زمینه ساز برخی از بیماری‌های گوارشی و سرطان باشد.

به تازگی، سلول‌های بنیادی سوماتیك در معده میانی مگس سرکه بالغ کشف شده است که مانند مهره داران نقش این سلول‌های پیش گام تکثیر در اپیتلیوم معده می‌باشد. تشخیص سلول‌های بنیادی معده میانی مگس سرکه با شباهت‌های چشم گیری که با همتایان مهره‌داران خود دارند، تجزیه و تحلیل ژنتیکی عملکردهای طبیعی و غیرطبیعی مرتبط با سن را در دستگاه گوارش انسان تسهیل می کنند.

جدول۲. مقایسه انواع موجودات مدل در تحقیقات پیری زیستی (Brandt & Vilcinskas, 2013)

Table 1 Comparison of model organisms used in aging research

		C. elegans	*D. melanogaster*	*M. musculus*
Practical issues	Generation time	3–5 days	10–14 days	3–4 weeks
	Adult size	1 mm	3 mm	10 cm
	Lifespan	2–3 weeks	4–6 weeks	Years
	Maintenance costs	Low	Low	High
Similarity to humans	Number of genes (approx.)	19,000	13,000	25,000
	Conservation with human genome	>50 %	>60 %	>90 %
	Anatomical similarity to humans	Low	Medium	High
Molecular tools	Targeted gene knockout/time	No	Yes	Yes/month
	Reverse genetics tools	Yes	Yes	Targeted knockout
	Generation of transgenic line	Weeks	Weeks	Months



شکل۵. نقش مگس سرکه در مطالعات علم تغذیه و رژیم¬های غذایی (Staats et al., 2018).

محدودیت غذایی

محدودیت غذایی باعث افزایش طول عمر بسیاری از موجودات مختلف از جمله مخمرها، کرم‌ها، مگس‌ها و همچنین پستانداران می‌شود. محدودیت غذایی می‌تواند طول عمر *D. melanogaster* را تا ۳۰ درصد افزایش دهد و نرخ زاد و ولد را کاهش دهد. به عنوان مثال، با نگه داشتن بالغین در رژیم غذایی ذرت-شکر-آگار با غلظت رقیقی از مخمر، این طول عمر قابل انتظار است. با این حال، مگس‌های بالغی که در رژیم‌های غذایی بسیار محدود نگهداری می‌شوند، کوتاه عمر و نابارور هستند. بنابراین، طول عمر، تنها با ارائه یک رژیم غذایی میانه که در آن جذب محدود غذا همراه با مواد غذایی ضروری باشد، به حداکثر می‌رسد. واضح است که مواد مغذی خاص در عوض کالری، واسطه طول عمر هستند.

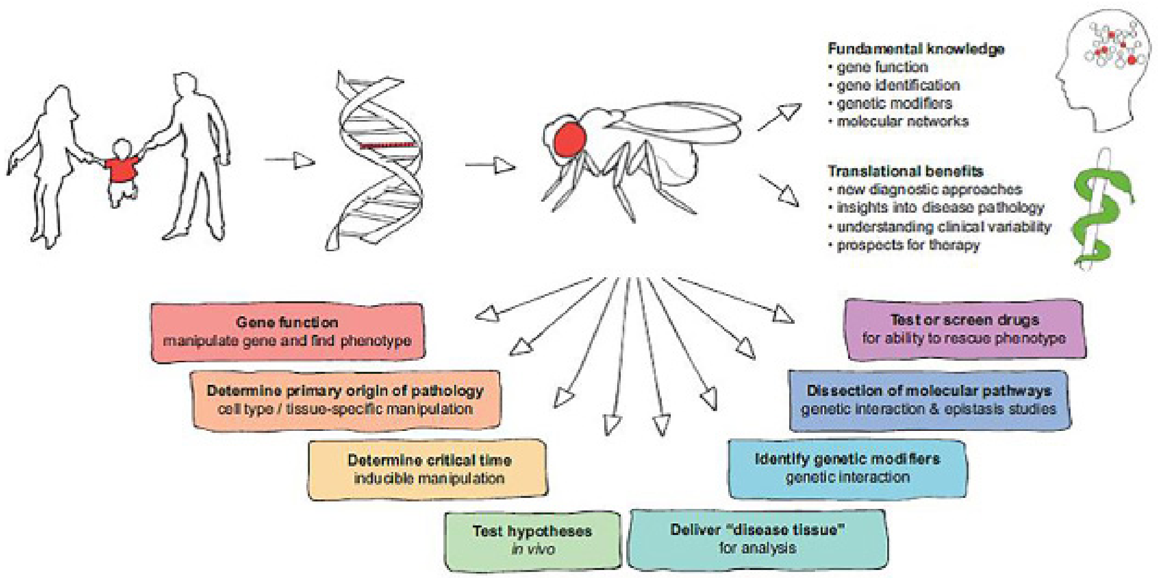
بنابراین مگس سرکه جهش‌یافته که طول عمری در رژیم‌های غذایی محدود نشان نمی‌دهد، به شناسایی مسیرهای ژنتیکی کنترل کننده فرآیند پیری زیستی کمک خواهد کرد (شکل۵. نقش مگس سرکه در مطالعات علم تغذیه و رژیم‌های غذایی). وانگ و همکاران (۲۰۰۹) خاطر نشان کردند فرایند پیری زیستی توسط ژن *I›m not dead yet* رمزگذاری شده و نقش ایفا می‌کند. افزون‌براین، اگرچه محدودیت‌های غذایی طول عمر گونه‌های متعدد را افزایش می‌دهد، مکانیسم دقیقی برای هیچ یک از این موجودات مشخص نشده است.

استفاده از D. melanogaster برای مدل سازی بیماری‌های انسانی

بیماری‌های مرتبط با افزایش سن در جوامع صنعتی رو به افزایش است. فرآیند پیری زیستی بیولوژیکی یکی از عوامل خطرساز اصلی برای بیماری‌های رایج از جمله آلزایمر، پارکینسون، سکته مغزی، دیابت نوع ۲، پوکی استخوان، تصلب شرایین و انواع سرطان است. بیش از ۱۰۰ سال تحقیقات روی *D. melanogaster* داده‌های ژنتیکی، ژنومی، سلولی و رشدی، مدلی را ارائه کرده که به راحتی قابل دستکاری است با این وجود پیچیدگی خاص خود را برای الگو واقع شدن در برابر بیماری‌های انسانی دارد. بسیاری از ویژگی‌های پایه بیولوژیکی، فیزیولوژیکی و عصبی بین مگس سرکه و پستانداران مشترک بوده و توالی ژنوم مگس سرکه حاکی از آن است که بیش از ۶۰ درصد از ژن‌های انسانی (ازجمله ژن‌های بیماری) دارای ارتولوگ‌های عملکردی در مگس میوه هستند. با این تفاوت که ژنوم مگس سرکه دارای فراوانی ژنتیکی کمتری است که مطالعه عملکرد ژن ها را سهولت می‌بخشد (رجوع شود به شکل۶. مگس سرکه، یک موجود زنده برای مدل بیماری‌های انسانی).

مگس سرکه و آلزایمر

بیماری آلزایمر یک اختلال عصبی است که با اختلال عملکردی و تخریب نورون‌ها مشخص می‌شود. این بیماری منجر به از دست دادن تدریجی حافظه و سایر عملکردهای شناختی شده و در نهایت منجر به زوال عقل می‌شود. علیرغم پیچیدگی بسیار بیشتر مغز انسان، سیستم عصبی مرکزی مگس سرکه رفتارهای پیچیده‌ای از جمله یادگیری و حافظه ایجاد می‌کند و شامل نورون‌ها و گلیا می‌باشد که در اصول بنیادی همانند همتایان مهره‌دار خود عمل می‌کنند. بسیاری از مکانیسم‌های انتقال دهنده عصبی از جمله دوپامین، گلوتامات و استیل کولین بین مگس سرکه و انسان پایدار مانده است. رویکرد معمول برای ایجاد یک مدل بیماری انسانی در مگس، بررسی ارتباط بین افزایش یا کاهش یا حذف عملکرد یک ژن مشخص مرتبط با بیماری می‌باشد، برای مثال یک ژن خاص میتواند مسئول افزایش یا سرکوب فنوتیپ بیماری در مگس سرکه باشد. در واقع، ژن کاندید، فرضیه‌ی خاصی را آزمایش می‌کند که یک ژن یا مسیر ژنتیکی خاص، نقش مهمی در فرآیند بیماری مورد بحث ایفا می‌کند.



شکل۶. مگس سرکه، یک موجود زنده برای مدل بیماری‌های انسانی (Voet et al., 2014)

جدول ۳. مزایا و معایب استفاده از مگس سرکه در بیماری¬های عصبی مانند آلزایمر (Prüßing et al., 2013)

Table 1 Advantages and disadvantages of using *Drosophila* as a model organism for neurodegenerative diseases like AD

Advantage	Disadvantage
No ethical problems/no restrictions according to animal protection laws	Brain anatomy, cardiovascular system and respiration systems differs substantially from humans
Easy and cheap to maintain in large quantities, time and cost effective handling	No easy measure of complex behavior
Genetic manipulation is fast and inexpensive (3 month, < $ 500 per transgene)	Only basic measures of cognitive decline
Plethora of available resources/stocks (e.g. genome-wide RNAi-library)	Sometimes poor conservation of proteins/protein function
Short generation time (~10 days), short life span (2–3 month)- > easy to use for screens	Maintenance as living cultures only, no permanent conservation (e.g. frozen stocks) possible
Fully sequenced and annotated genome	Less complex and adaptive immune system as in vertebrates
Good conservation of basic signaling pathways and cellular processes in general	Effects of drugs on the organism might differ strongly (e.g. conversion of pro-toxins to toxins in liver)
Low redundancy/reduced number of paralogous genes compared to vertebrates	
Probably best analyzed/understood multi- cellular organism	
More complex organism compare to *C. elegans* and yeast	

از مزایای استفاده از مگس سرکه به عنوان جانور مدل در بررسی بیماری آلزایمر می‌توان موارد زیر را برشمرد: دستکاری ژنتیکی در این مگس، سریع و کم‌هزینه است. انبوهی از منابع (مانند کتابخانه RNAi در سطح ژنوم) برای مگس سرکه ثبت شده است. ژنوم این حشره به طور کامل توالی‌یابی و تفسیر شده است. علاوه‌براین، مسیرهای پیام‌رسانی اولیه و فرآیندهای سلولی به‌طور کلی شباهت زیادی با مهره داران دارد (رجوع شود به جدول ۳. مزایا و معایب استفاده از مگس سرکه در بیماری‌های عصبی مانند آلزایمر).

D. melanogaster مدل بیماری‌های قلبی عروقی مرتبط با سن

اختلال عملکرد قلب شایع‌ترین علت مرگ در میان سالمندان در جوامع صنعتی است و بنابراین توسعه مدل‌هایی که بینشی در مورد پیشرفت و کنترل ژنتیکی تغییرات مرتبط با سن در عملکرد قلب ارائه می‌دهد مفید خواهد بود. مگس میوه تنها موجود زنده مدل ژنتیکی بی‌مهره دارای قلب است. اساس ژنتیکی اختلال عملکرد قلبی در مگس میوه با توسعه سنجش عملکرد قلب توسط دوربین‌های ویدئویی با سرعت بالا برای ضبط حرکات دیواره قلب قابل مشاهده است.

عملکرد قلب مگس مانند قلب انسان با افزایش سن تضعیف می‌شود. یعنی افزایش پیشرونده‌ای در نارسایی قلبی و آریتمی ناشی از ضربان الکتریکی وجود دارد. این نقایص در اثر جهش‌های حذفی ژن‌های *Dmel\KCNQ* تشدید می‌شوند که دوره‌هایی از انقباض طولانی‌مدت قلب و فیبریلاسیون را سبب شده و اغلب با افزایش سن تشدید می‌شود. بنابراین، علی‌رغم تفاوت‌های آناتومیکی بین مگس‌ها و انسان‌ها، قلب مگس سرکه، یک مدل ژنتیکی امیدوارکننده برای زوال قلبی عروقی وابسته به سن است.

نقش مگس سرکه در کشف دارو

تحقیقات با استفاده از ارگانیسم‌های مدل مهره داران محبوب مانند موش (*Mus musculus*) و گورخرماهی (*Danio rerio*) بینش مهمی در مورد پدیده پیری زیستی در مهره داران ارائه کرده است. با این حال، هر دو گونه فوق به مدت ۳ سال و بیشتر در شرایط آزمایشگاهی زندگی می‌کنند و در نتیجه بررسی طول عمر، زمان‌بر و گران خواهد بود. در مقابل، موجودات کوچک و زایا با طول عمر تنها چند هفته، مانند مگس میوه و نماتد *Caenorhabditis elegans*، امکان بررسی ژن‌ها و ترکیبات موثر بر پیری زیستی را همراه با مطالعات فیزیولوژیکی فراهم می‌کنند.

از آنجایی که کشف دارو معمولاً با شناسایی پروتئین هدف دخیل در بیماری آغاز می‌شود، اخیراً مدل‌های حیوانی بی‌مهرگان کوچک مانند *D. melanogaster* و نماتد *C.elegans* برای آزمایشات دارویی با کارایی بالا مورد استفاده قرار گرفته‌اند. حداکثر پایایی و ثبات ژنتیکی و فیزیولوژیکی بین بی‌مهرگان و انسان حاکی از آن است که بیماری‌های انسانی را می‌توان در مگس‌ها و کرم‌ها مدلسازی کرد. اگرچه تفاوت‌های آناتومیکی به این معنی است که تنها تصویری جزئی از روند بیماری انسان می‌تواند حاصل شود، استفاده از یک موجود زنده مدل مانند مگس سرکه آزمایشاتی با سرعت و توان بالا را قابل انجام ساخته و هزینه‌های کلی را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد که در نهایت منجر به افزایش احتمال کشف دارو می‌شود.

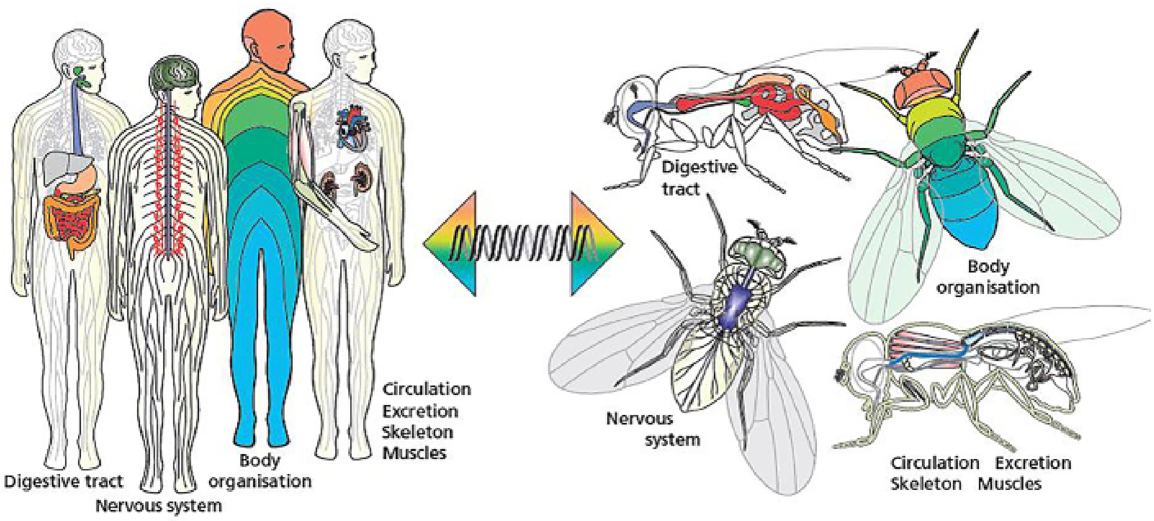
نتیجه گیری

جانوران مدل، به ویژه بی‌مهرگان با توجه به اندازه کوچکتر، در دسترس بودن و سهولت پرورش کاربرد گسترده‌ای در بررسی پدیده‌های بیولوژیک دارند. در این میان مشاهده کردیم که حشرات از موفق‌ترین گونه‌های مدل هستند و گونه‌های مطرحی را همچون سوسک قرمز آرد[1]، زنبور عسل[2]، ملخ صحرایی[3] و مگس سرکه[4] شامل می‌شوند. حشرات مدل به دلیل هموار کردن مطالعه و بررسی پدیده ها و نبود مشکلات اخلاقی جانوران مهره دار، بسیار حائز اهمیت هستند و مگس سرکه از پیشتازترین حشرات مدل می باشد.

[1]Tribolium castaneum
[2]Apis mellifera
[3]Schistocerca gregaria
[4]Drosophila melanogaster

مگس سرکه به عنوان یک موجود زنده مدل ژنتیکی توسط T. H. Morgan بیش از ۱۰۰ سال پیش معرفی شد. این مگس امکان درک بسیاری از فرآیندها و مکانیسم های بیولوژیکی مهم و تحقیقات پیشرفته سلامت انسان را می‌دهد. هفت دانشمند به دلیل تحقیقات خود در مورد مگس سرکه جایزه نوبل فیزیولوژی یا پزشکی را دریافت کردند. دلیل مهم این موفقیت ها همسانی[1] بالا بین ژن های انسانی و مگس سرکه است.

چنانچه از مطالعات بر می آید ۷۵ درصد از ژن‌های بیماری‌های انسانی در انسان و مگس میوه، تطابق دارند. افزون بر این، حشرات و انسان در عملکردهای فیزیولوژیک همچون مسیر و نحوه عملکرد انتقال دهنده های عصبی بسیاری از هورمون‌ها و نیز عملکرد های اندام های مختلف بدن تطابق بالایی دارند (شکل ۷).



شکل ۷. بسیاری از اندام‌ها در انسان و مگس سرکه تطابق بالایی داشته و ژن های مشترک با همسانی بالا رشد و نمو ، سازماندهی و عملکرد را در هر دو موجود تنظیم می کنند (Prokop, 2016).

[1]Homology

منابع

Allen, G. E. (1978). Thomas Hunt Morgan: the man and his science. Princeton University Press.

Brandt, A., & Vilcinskas, A. (2013). The fruit fly Drosophila melanogaster as a model for aging research. Yellow Biotechnology I, 63-77.

Evangelakou, Z., Manola, M., Gumeni, S., & Trougakos, I. P. (2019). Nutrigenomics as a tool to study the impact of diet on aging and age-related diseases: the Drosophila approach. Genes & nutrition, 14(1), 1-18.

Ong, C., Yung, L. Y. L., Cai, Y., Bay, B. H., & Baeg, G. H. (2015). Drosophila melanogaster as a model organism to study nanotoxicity. Nanotoxicology, 9(3), 396-403.

Prokop, A. (2016). Fruit flies in biological research. Biological Sciences Review, 28(2), 2-5.

Prüßing, K., Voigt, A., & Schulz, J. B. (2013). Drosophila melanogaster as a model organism for Alzheimer’s disease. Molecular neurodegeneration, 8(1), 1-12.

Reiter, L. T., Potocki, L., Chien, S., Gribskov, M., & Bier, E. (2001). A systematic analysis of human disease-associated gene sequences in Drosophila melanogaster. Genome research, 11(6), 1114-1125.

Staats, S., Lüersen, K., Wagner, A. E., & Rimbach, G. (2018). Drosophila melanogaster as a versatile model organism in food and nutrition research. Journal of agricultural and food chemistry, 66(15), 3737-3753.

Tolwinski, N. S. (2017). Introduction: Drosophila—A model system for developmental biology. Journal of developmental biology, 5(3), 9.

und Umweltmanagement, Ö. Insects as model organisms for basic and applied research.

van der Voet, M., Nijhof, B., Oortveld, M. A., & Schenck, A. (2014). Drosophila models of early onset cognitive disorders and their clinical applications. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 46, 326-342.

Wang, P. Y., Neretti, N., Whitaker, R., Hosier, S., Chang, C., Lu, D., ... & Helfand, S. L. (2009). Long-lived Indy and calorie restriction interact to extend life span. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(23), 9262-9267.

نشریه علمی-ترویجی (حرفه‌ای) انجمن علمی دانشجویی گروه گیاهپزشکی
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

مطالعه فعالیت ضد ویروسی عصاره‌های گیاهی در برابر ویروس‌های گیاهی

سعید صداقتیان

دانشجوی کارشناسی ارشد بیماری شناسی گیاهی دانشگاه تهران

doi 10.22059/GIAHPZSHSJ.2023.358216.1022

چکیده:

بیماریهای ویروسی به ویژه در سال‌های اخیر از اهمیت به سزایی در کاهش عملکرد محصولات کشاورزی برخوردار شده‌اند. از آنجایی که ترکیبات دارای اثر مستقیم بر پیکرههای ویروس در دسترس نیستند در اغلب موارد راهکارهای مدیریتی بیماریهای ویروسی، کنترل ناقلین و یا تولید گیاهان تراریخت را شامل می‌شوند. در همین راستا بررسی عصاره گیاهان عالی به منظور شناسایی ترکیبات ضدویروسی مورد توجه بوده است. پیامدهای باقیمانده سموم و عدم تجزیه بیولوژیکی مواد شیمیایی مصنوعی و آلودگی محیط زیست منجر به تحقیقات در مورد درمان‌های غیر سمی و بیولوژیکی جدید برای کنترل بیماری‌های ویروسی گیاهی شده است. در این مطالعه، اثر ضد ویروسی عصاره‌های گیاهی در برابر ویروس‌های بیماری‌زای گیاهی مورد بررسی قرار گرفت. با در نظر گرفتن نتایج پژوهش‌های صورت گرفته میتوان انتظار داشت که گونههای گیاهی جدیدی به عنوان منابع ضد ویروسی شناسایی شوند. در نهایت میتوان با شناسایی ترکیبات اثرگذار در این گونه‌ها، به دسترسی به ترکیبات زیستی ضد ویروسی با اثرات سوء کمتر امیدوار بود.

کلید واژه: فعالیت ضد ویروسی، عصاره گیاهی، مهار ویروس

Study on antiviral activities of plant extracts against plant viruses

saeed sedaghatian

Master's student of Plant Pathology, University of Tehran

doi 10.22059/GIAHPZSHSJ.2023.358216.1022

Abstract

In the last decades, viral diseases cause to high losses in worldwide crop production. Since, agents with direct effects on virus particles are not available, management approaches of viral diseases includes control of vectors and/or protection of plants according to transformation. According to this, high plant extracts considered as a source antiviral agents. The consequences of residual toxicity and non-biodegradation of synthetic chemicals and pollution of the environment has led to investigations into new non-toxic and biological treatments to control plant viral diseases. The attention of researchers today is focused on the use of plant extracts. In this study, antiviral effect of plant extracts against plant viruses was examined. Considering the results of the conducted research, it can be expected that new plant species will be identified as antiviral sources. Finally, by identifying effective compounds in these species, we can hope for access to biological antiviral compounds with fewer side effects.

Keywords: Antiviral activity; plant extracts; plant virus inhibition

مقدمه

ویروس‌های گیاهی به عنوان بیمارگر بسیاری از محصولات مختلف کشاورزی محسوب می‌شوند که باعث ضررهای زیادی در تولید آنها می‌شود. در واقع ویروس‌های گیاهی گروه مهمی ازعوامل بیماریزا در گیاهان هستند که خسارت آنها در سطح جهانی سالیانه بالغ بر ۳۰ میلیون دلار برآورد می‌شود (Sanjarian et al., 2021). به طور کلی یافتن راه‌حلی برای برطرف کردن عفونت‌های ویروسی گیاهی برای دانشمندان به دلیل فقدان درمان‌های طبیعی مؤثری که به طور سیستمی گیاهان آلوده به ویروس را درمان می‌کنند، دشوار بوده است. اگرچه انواع مختلفی از درمان‌ها مانند شیمی‌درمانی، گرمادرمانی و مریستم درمانی در تلاش‌های از بین بردن ویروس موفقیت‌آمیز گزارش شده‌اند، اما نمی‌توان از آنها در مقیاس بزرگ استفاده کرد (Yazdi et al., 2018). با توجه به راه‌های مختلف انتقال، انتشار سریع و عدم وجود روش‌های درمانی، کنترل موثر بیماری‌های ویروسی مشکل ساز است. دو روش عمده شامل استفاده از مقاومت ژنتیکی میزبان و مواد شیمیایی هدف گیرنده ناقلین برای کاهش خسارت استفاده شده است. اما هزینه‌های زیاد تولید ارقام مقاوم و پیامدهای زیست محیطی مواد شیمیایی این روش ها را محدود می‌کند. علاوه بر این، ظهور ویروس‌های جدید و ناقل‌های مقاوم در برابر مواد شیمیایی بر روش‌های فوق تأثیر منفی می‌گذارد. بنابراین لازم است که روش‌های موثر و سازگار با محیط زیست برای کنترل بیماری‌های ویروسی ایجاد شود (Shahriari and Ghodoum Parizipour, 2019). کنترل ویروس‌های گیاهی و ایجاد مهارکننده‌های ویروس گیاهی بسیار پیچیده است. در نتیجه، مطالعات انجام شده در مورد محصولات طبیعی و عصاره‌های گیاهی در سال های اخیر افزایش یافته است و مطالعات مختلف نتایج امیدوارکننده‌ای را برای کنترل عفونت‌های ویروسی گیاهی نشان می‌دهد (Yazdi et al., 2018).

گیاهان عالی دارای طیف گسترده‌ای از متابولیت‌های ثانویه مانند فنول ها، فلاونوئیدها، کینون‌ها، تانن‌ها، اسانس‌ها، آلکالوئیدها، ساپونین‌ها، استرول‌ها و غیره هستند. عصاره‌های تهیه شده از گیاهان مختلف دارای خواص متنوعی از جمله خواص ضد قارچی، ضد ویروسی و ضد باکتریایی در برابر عوامل بیماری‌زا گزارش شده است (Petrov, 2016). گیاهان منابع مهم ترکیبات ضد میکروبی هستند. در سال‌های اخیر، عصاره‌های گیاهی برای محافظت از گیاهان در برابر بیماری‌های مختلف مورد توجه قرار گرفته‌اند. عصاره‌های گیاهی نیز به طور موثر در برابر بسیاری از پاتوژن ها استفاده شده است. از عصاره‌های گیاهی مانند *Plectranthus tenuiflorus*، چریش (*Azadirachta indica*)، شمشاد اهوازی (*Clerodendrum inerme*) و فلفل برزیلی (Schinus terebinthifolius) برای کنترل پاتوژن‌های گیاهی مانند پاتوژن‌های قارچی، باکتریایی و ویروسی استفاده شده است (Elsharkawy and El-Sawy, 2015). همچنین نتایج امیدوارکننده‌ای از بررسی گیاهان زردچوبه (*Curcuma longa*)، سیر (*Allium sativum*)، گل راعی (*Hypericum perforatum*)، دکمه طلائی (*Tanacetum vulgare*) و پیاز گزارش شده است (Yazdi et al., 2018). فعالیت ضد ویروسی محصولات شامل عصاره‌های گیاهی و مواد شیمیایی مصنوعی به اجزای آنها مرتبط است که ممکن است مستقیماً از طریق تعامل با ذرات ویروس در مراحل اولیه عفونت عمل کند و مانع از آزادسازی اسید نوکلئیک آن شود که در نهایت می‌تواند منجر به توقف تکثیر ویروس شود. همچنین، این ترکیبات ممکن است به طور غیرمستقیم به عنوان محرک القای عوامل مقاومت سیستمیک در گیاهان در برابر ویروس عمل کنند (Elbeshehy, 2017).

مایه تلقیح ویروسی ممکن است با شخم زدن قبل از کاشت یا با کشت محصولات جدید کاهش یابد. با این حال، استفاده از ارقام مقاوم در کاهش خسارت محصول احتمالاً اهمیت بیشتری دارد. برخی از ارقام گوجه فرنگی به آلودگی ویروس پیچیدگی برگ زرد گوجه‌فرنگی (TYLCV) مقاوم هستند. تلاش برای کنترل تعداد و فعالیت ناقلین نیز تا حدی موفقیت آمیز بوده است. کاربرد مستقیم حشره‌کش‌ها در محصولات گوجه‌فرنگی تنها تأثیری ناچیز بر شیوع بیماری پیچ خوردگی برگ زرد گوجه‌فرنگی دارد. در سال 1988 Salal- rajan گزارش داد که اسپری قبل از مایه‌کوبی با عصاره برگ‌های چریش (*Azadiracta indica*)، لاله عباسی (*Mirabilis jalapa*) و تاتوره (*Datura metel*) به طور قابل توجهی تعداد گیاهان آلوده را در مورد بیماری ویروس موزائیک زرد لوبیا (BYMV) کاهش داد. او همچنین گزارش داد که غلظت ۱ و ۵ درصدی روغن چریش باعث کاهش تعداد بوته‌های آلوده شد (Rajinimala et al., 2009). در سال ۱۹۹۵ موهان[1] گزارش داد که عصاره هسته دانه چریش (NSKE) در سطح ۵ درصد در کاهش آلودگی ویروس موزائیک زرد لوبیا بسیار مؤثر است. پون[2] در سال ۱۹۹۵ دریافت که مشتقات چریش (Neem) باعث کاهش قابل توجه ویروس OYVMV (*okra yellow vein mosaic virus*) تحت شرایط کنترل شده می‌شود. او همچنین گزارش داد که استفاده از روغن چریش، عصاره هسته دانه چریش و عصاره برگ گل کاغذی (*Bougainvillea spectabilis*) و کَهور (*Prosopis*) (سه بار در فواصل ۱۵ روزه از زمان کاشت) به طور موثری بیماری OYVMV را در شرایط طبیعی مهار کرد و باعث کاهش ۶۰ درصدی بیماری می‌شود. روغن چریش و عصاره گل کاغذی به طور موثری بروز بیماری PYVMV (Pumpkin yellow vein mosaic virus) را نیز کاهش دادند (Rajinimala et al., 2009).

توجه محققین امروزه به استفاده از عصاره‌های گیاهی معطوف شده است. چنین ترکیباتی با حفظ سلامت گیاهان موجب افزایش توان زیستی آنها شده و سیستمهای مقاومتی و مسیرهای ژنتیکی و بیوشیمیایی اختصاصی را در آنها فعال می‌سازند که این منابع مقاومت می‌توانند در مدیریت آفات و بیمارگرهای گیاهی به کار گرفته شوند (Sanjarian et al., 2021).
عصاره و اسانس‌های گیاهی علاوه بر آنکه اثرات کنترل‌کنندگی قابل توجهی علیه بیمارگرهای گیاهی دارند، برای زیستبوم خطرناک نبوده و در طبیعت نیز ماندگار نیستند و به سرعت پوسیده شده و به چرخه طبیعی زیستی بازمی‌گردند (Safarzadeh Khosroshahi et al., 2021). پیامدهای باقیمانده سموم و عدم تجزیه بیولوژیکی مواد شیمیایی مصنوعی و آلودگی محیط زیست منجر به تحقیقات در مورد درمان‌های غیر سمی و بیولوژیکی جدید برای کنترلِ بیماری‌های ویروسی گیاهی شده است. ویروس‌کُش‌هایی با پایه بیولوژیکی که از موجودات زنده تولید می‌شوند دارای مزیت اثربخشی بالا، سمیت کم و زیست سازگاری بالا هستند. متابولیت‌های ثانویه گیاهی به‌عنوان عوامل بالقوه ضد بیماری‌زا نسبت به آفت‌کش‌های شیمیایی به دلیل سازگاری با محیط‌زیست، امکان مکانیسم‌های خاص جدید عمل در برابر عامل و همچنین تنوع بیشتر و منابع غنی برتری دارند (Yazdi et al., 2018).

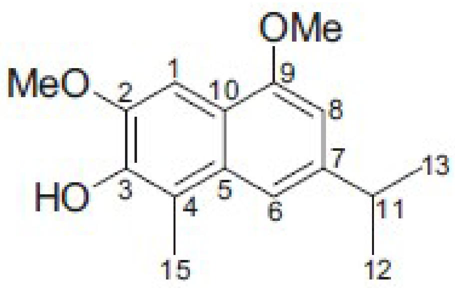
فعالیت ضد ویروسی گیاه توتون
Nicotiana tabacum

گیاه توتون با نام علمی *Nicotiana tabacum* در حال حاضر در سراسر جهان به عنوان یک محصول اقتصادی مهم، که خاستگاه آن آمریکای جنوبی، مکزیک و هند غربی است، کشت می‌شود و به دلیل اثرات محرک ملایم آن به عنوان محصولات سیگاری و دارویی استفاده می‌شود.

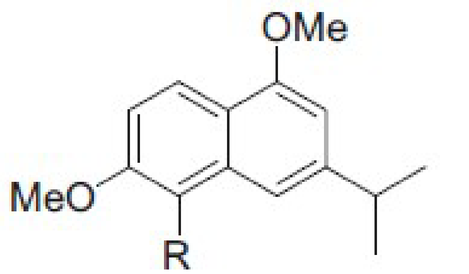
[1]Mohan
[2]Pun

علاوه بر این، *N. tabacum* همچنین به عنوان حشره کش، بی حس کننده و آرام بخش در طب سنتی چینی استفاده می شود زیرا حاوی ترکیبات شیمیایی مفید بسیاری است. تاکنون انواع مختلفی از ترکیبات جدید از برگ توتون، مانند سزکویی ترپن (sesquiterpene)، آلکالوئید (alkaloids)، لیگنان (lignans)، فلاونوئید (flavonoids)، فنیل پروپانوئیدی (phenylpropanoids)، کرومانون (chromanones)، بی فنیل (biphenyls)، آمیدی فنول (phenolic amides) و ایزوکومارین (isocoumarins) گزارش شده است (Shen et al., 2016b).

ترکیبات سزکویی ترپن (sesquiterpene) برگ گیاه توتون، فعالیت ضد ویروس TMV بالایی را به ترتیب با نرخ بازداری ۳۶٫۷ و ۴۵٫۶ درصد از خود نشان دادند که بالاتر از کنترل مثبت بود. سایر ترکیبات نیز فعالیت بالقوه با نرخ بازداری در محدوده ۲۹٫۲-۲۲٫۷ درصد را نشان دادند (Shen et al., 2016a).
همچنین نتایج شانگ و همکاران نشان داد که ترکیب sesquiterpene برگ توتون فعالیت ضد ویروس TMV بالایی با نرخ بازداری ۳۵/۲ درصد از خود نشان داد که بیشتر از کنترل مثبت (Ning-nanmycin) بود.



1



2 R = $-CH_3$; **3** R = $-CH_2OH$

شکل ۱: ساختار ترکیبات sesquiterpene جدید جدا شده از برگ گیاه توتون (*Nicotiana tabacum*) (Shan-Zhai et al., 2016).

بنابراین استفاده چندمنظوره از این گیاه موضوع جالبی است و توجه بیشتری را به خود جلب می‌کند. به عنوان مثال در مطالعه فعالیت ضد ویروسی ترکیبات بنزولاکتون برگ توتون، نتایج عصاره بدست آماده از برگ توتون به کمک روش کروماتوگرافی ستونی و HPLC نشان داد که این ترکیبات فعالیت‌های ضد ویروس موزاییک توتون (TMV) بالایی با نرخ بازداری در محدوده ۲۶٫۲-۱۶٫۹ درصد را نشان دادند (Shen et al., 2016b).

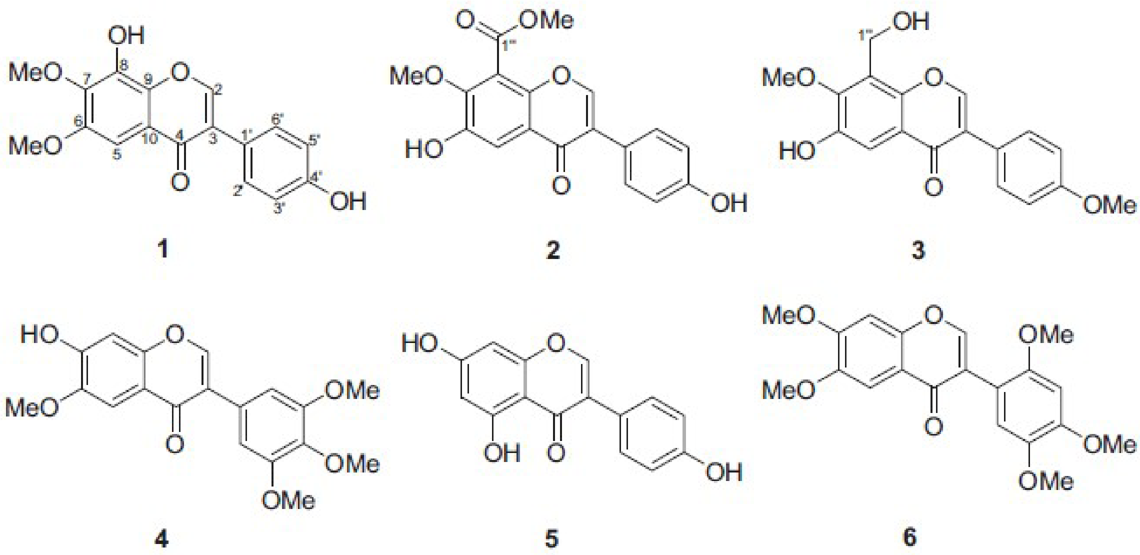
سایر ترکیبات نیز فعالیت ضد TMV بالقوه با نرخ بازداری در محدوده ۲۸٫۶_ ۲۰٫۵ درصد نشان دادند (Shang et al., 2016). ترکیبات ایزوفلاون بدست آمده از ریشه و ساقه گیاه توتون نیز فعالیت ضد TMV بالایی را نشان می دهد، البته دامنه فعالیت ضد TMV این ترکیبات یکسان نیست برخی از ترکیبات فعالیت متوسط و تعدادی دیگر فعالیت ضد TMV ضعیفی را نشان می‌دهد (Chen et al., 2012).

اخیراً ترکیبات سزکویی ترپن جدیدی از برگ های توتون جدا شده، نتایج نشان داد که یکی از این ترکیبات فعالیت ضد TMV متوسطی با نرخ بازداری ۴۶/۷ درصد از خود نشان داد که بیشتر از کنترل مثبت (Ningnanmycin) بود. سایر ترکیبات نیز فعالیت ضد TMV بالقوه با نرخ بازداری در محدوده ۲۵,۲-۳۳,۴ درصد را نشان دادند (Shan-Zhai et al., 2016).

شانگ و همکاران در سال ۲۰۱۸ ترکیبات استرولی جدیدی از برگ گیاه *N. tabacum* جدا کردند، نتایج نشان داد که ترکیبات استرولی و فلاونوئیدی فعالیت ضد TMV بالایی را با نرخِ بازداری ۳۴,۲ و ۳۳,۴ درصد نشان دادند که تقریباً معادل کنترل مثبت بود. یک فرآورده تجاری برای بیماری‌های گیاهی در چین، به عنوان کنترل مثبت استفاده شد (Shang et al., 2019). در مطالعه فعالیت ضد TMV ترکیبات ایزوفلاونوئیدی جدا شده از برگ توتون، نتایج نشان داد که سه ترکیب فلاونوئیدی جدید (در غلظت ۲۰ میکرو مولار) فعالیت ضدTMV را با نرخ بازداری ۲۵,۲، ۲۲,۶ و ۲۷,۴ درصد نشان دادند (Li et al., 2015).

از ساقه گیاه *N. tabacum* ترکیبات فنیل پروپانوئیدی (phenylpropanoids) جدا شده که فعالیت ضد ویروس موزاییک توتون دارند، نتایج ضد TMV نشان داد که دو ترکیب فعالیت ضد TMV بالایی را با نرخ بازداری ۳۴,۶ و ۳۵,۴ درصد نشان دادند که هر دو بالاتر از کنترل مثبت (۳۲,۵ درصد) هستند. چهار ترکیب دیگر نیز برخی از فعالیت ضد TMV را با نرخ بازداری در محدوده ۱۶,۸ - ۲۸,۶ درصد نشان دادند (Kong et al., 2015).

ترکیبات آمیدهای فنولیک (Phenolic amides) جدیدی از برگ‌های *N. tabacum* جدا شده که فعالیت ضد TMV دارند، نتایج نشان داد که یکی از ترکیبات فعالیت ضد TMV بالایی با نرخ بازداری ۳۸/۶ درصد از خود نشان داد که بیشتر از کنترل مثبت (Ningnanmycin) بود. سایر ترکیبات نیز فعالیت ضد TMV بالقوه با نرخ مهار را به ترتیب در محدوده ۱۵,۳-۲۶,۵ درصد نشان دادند (Shang et al., 2014).



شکل ۲: ساختار ترکیبات Isoflavone جدا شده از برگ *N. tabacum* (Li et al., 2015).

فعالیت ضد ویروسی گیاه گل کاغذی Bougainvillea spectabilis

ویروس *Bitter gourd Yellow Mosaic Virus* (BGYMV) یک جمینی ویروس منتقل شونده با سفید بالک است. BGYMV باعث بیماری موزاییک زرد در کدو تلخ می شود. اهمیت این بیماری به این دلیل است که ویروس عامل این بیماری قادر است در تمام مراحل رشدی به محصول حمله کند. آلودگی به BGYMV باعث کاهش عملکرد شدید در گیاهان کدو تلخ می‌شود. کنترل سفید بالک با حشره کش‌ها دشوار است و اغلب در برابر آفت کش‌ها مقاوم هستند. تیمار گیاه بیتر ملون با اختلاط عصاره گل کاغذی با مایه تلقیح BGYMV باعث کاهش بروز بیماری و افزایش رشد گیاه شد. در تیمار فوق، بروز بیماری در ۷۵ روز پس از کاشت (DAS) ۳۳,۳۳ درصد بود. اما در شاهد تلقیح نشده، بروز بیماری در ۷۵ روز (DAS) ۱۰۰ درصد بود (Ra-jinimala et al., 2009).

فعالیت ضد ویروسی گیاه دکمه طلایی Tanacetum vulgare

ویروس موزاییک خیار (CMV) و ویروس Y سیب زمینی (PVY) در میان پنج ویروس مهم آلوده کننده گونه‌های سبزیجات در سراسر جهان توصیف شده اند. در سال ۲۰۰۱، PVY در برخی از مناطق در بلغارستان در آلودگی مختلط با CMV یافت شد که باعث نکروز شدید و مرگ گیاهان گوجه فرنگی شد. علائم PVY در برگ‌های گوجه فرنگی عمدتا موزاییک، کلروز و بدشکلی است. عفونت‌های جدی CMV در گوجه‌فرنگی نیز رخ داده است که با کاهش تولید و کیفیت میوه باعث کاهش عملکرد قابل توجهی شده‌است.

علائم CMV در گوجه‌فرنگی آلوده شامل کوتولگی رشد رویشی، بدشکلی و لک و پیسک شدن برگ‌های جدید، و ظهور برگ‌های بند کفش مانند است. سویه‌هایی از هر دو زیر گروه CMV مشاهده شده است که گوجه‌فرنگی‌های کشت‌شده در یک مزرعه را آلوده می‌کنند و گاهی اوقات آلودگی مختلط در همان گیاه رخ داده است. کنترل CMV به دلیل گستردگی دامنه میزبان طبیعی بسیار وسیع آن دشوار است و هیچ منبع مقاومت ژنتیکی در برابر CMV در ارقام تجاری گوجه فرنگی تازه موجود در بازار وجود ندارد (Petrov, 2016).

گیاه دکمه طلایی (Tansy) با نام علمی *Tanacetum vulgare* بومی اروپا، آسیا و شمال آفریقا است. دارای خواص باغبانی و دارویی بسیاری است. *T. vulgare* اصولاً در طب سنتی آسیایی و شمال آفریقا به عنوان ضد انگل، ضد اسپاسم، محرک احشاء شکم، مقوی، ضد دیابت و ادرارآور استفاده می‌شود و ضد فشار خون است. در تحقیق پتروف و همکاران اثر ضد ویروسی عصاره متانولی دکمه طلایی را بر ضد CMV و PVY در گیاه گوجه فرنگی مشخص شده است (Petrov, 2016).

فعالیت ضد ویروسی گیاهان حاوی گلیکوزیدهای قلبی (Cardiac glycosides)

ویروس Y سیب زمینی (PVY) از جنس پوتی ویروس، متعلق به بزرگترین خانواده ویروس های گیاهی، *Potyviridae*، یکی از شایع‌ترین ویروس‌هایی است که طیف وسیعی از گونه‌های گیاهی، عمدتاً از خانواده Solanaceae، از جمله سیب زمینی، توتون، گوجه فرنگی و فلفل را آلوده می کند.

PVY باعث ایجاد طیف گسترده‌ای از علائم مانند موزاییک، ضایعات خالدار و نکروز شده که در نهایت منجر به مرگ گیاه می‌شود. اما در برخی موارد ممکن است بدون علائم باشد. ظهور این علائم به گونه گیاهی، رقم و سویه ویروس بستگی دارد. سویه NTN ویروس Y سیب زمینی (PVYNTN)، عامل نکروز سیستمیک رگبرگ (VN) در گیاهان میزبان مختلف از جمله توتون است. در حال حاضر هیچ آفت کش موثری برای کنترل این بیماری‌های ویروسی در دسترس نیست.

گلیکوزیدهای قلبی گروهی از تری ترپنوئیدها هستند که از اصلاح تری ترپن‌ها به دست می‌آیند. به منظور بررسی فعالیت‌های ضد ویروسی و مسموم‌کننده گیاهی (phytotoxic) گیاهان منتخب حاوی گلیکوزید قلبی از جمله: *Bowiea volubilis* (پیاز)، ساکولنت (*Cotyledon orbiculata*) (برگ)، استبرق (*Gomphocarpus fruticosus*)(برگ)، *Merwilla plumbea* (پیازهای خشک و تازه)، خرزهره (*Nerium oleander*) (برگ و میوه و برگ استروفانتوس *Strophanthus speciosus* در برابر ویروس PVYNTN در شرایط زنده و آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد *Strophantus speciosus* امیدوار کننده ترین گیاه بازداری قابل‌توجهی در سنجش in vitro و in vivo با عصاره برگ (۲۰ میلی گرم در میلی لیتر) و عصاره میوه (۵۰ میلی گرم در میلی لیتر) است و اثبات شد که عصاره برگ و میوه *S. speciosus* پتانسیل استفاده به عنوان یک درمان ضد ویروس گیاهی را دارد.

فعالیت ضد ویروسی گیاهان گیاهان انجیر و زیتون تلخ

ویروس موزائیک خیار *Cucumber mosaic virus* (CMV) عضو شاخص جنس *Cucumovirus* از خانواده Bromoviridae می‌باشد و با دامنه میزبانی بیش از ۱۲۰۰ گونه گیاه یکی از مهمترین ویروس‌های بیمارگر گیاهی محسوب می‌شود. این ویروس با بیش از ۸۰ گونه شته به روش ناپایا منتقل می‌شود. بیماری موزائیک خیار از بیماری‌های مهم کدوئیان و بادنجانیان است و از لحاظ اقتصادی بسیار حائز اهمیت است. موزائیک در برگ‌ها ، بد شکل شدن و توقف رشد گیاه، سبز مایل به زرد شدن در میوهها و مرگ گیاه علائم عمده ویروس موزائیک خیار بر روی گیاهان می‌باشد. استفاده از ارقام مقاوم و کنترل حشرات ناقل با توجه به مشکل بودن کنترل این ویروس روش‌های موثری در مبارزه با این ویروس می‌باشند (Sanjarian et al., 2021).

زیتون تلخ (*Melia azedarach*) از خانواده Meliaceae و انجیر (*Ficus carica*) از خانواده Moraceae، گیاهان مهم دارویی بومی ایران هستند. اثرات ضد ویروسی شیره برگ و میوه انجیر در کاهش تعداد لکه‌های موضعی ایجاد شده در اثر ویروس‌های *Bean yellow mosaic virus* و *Zucchini yellow mosaic virus* و ایجاد مقاومت در گیاه قبلاً اثبات شده است. نتایج مربوط به بررسی تاثیر عصاره خام گیاهان زیتون تلخ و انجیر بر کاهش میزان حضور ویروس CMV در مجموع بیانگر فعال شدن احتمالی مقاومت سیستمیک اکتسابی در برابر CMV در گیاهچه‌های خیار از طریق سازوکارهای مختلف مولکولی و بیوشیمیایی توسط عصاره‌های الکلی گیاهان انجیر و زیتون تلخ می‌باشد (Sanjarian et al., 2021).

فعالیت ضد ویروسی گیاهان بید، بومادران و گزنه

به منظور بررسی اثر کنترل‌کنندگی عصاره اتانولی گیاهان دارویی بید (*Salix babylonica*)، بومادران (*Achillea millefolium*) و گزنه (*Urtica dioica*) بر میزان آلودگی ویروس موزاییک خیار (CMV-Fny)، پس از مایه کوبی مکانیکی گیاهچه‌های خیار توسط ویروس CMV-Fny، عصاره اتانولی گیاهان اشاره شده به‌صورت مستقیم و با غلظت‌های مشخص ۲۰۰ ppm، ۸۰۰ ppm و ۱۰۰۰ ppm به محیط ریزوسفر در گلدان‌ها اضافه شد. نتایج حاکی از کاهش معنی‌دار تیتر ویروس در نمونه‌های تیمار شده با هر سه عصاره مورد بررسی در مقایسه با گیاه شاهد بود. با این وجود از لحاظ توان کنترل‌کنندگی بین نوع و غلظت عصاره‌های مختلف در برگ‌های مایه‌کوبی شده گیاهچه‌های خیار با CMV-Fny و یا برگ‌های جوان تازه رشد یافته در زمان‌های مختلف پس از مایه کوبی تفاوت وجود داشت. در مجموع نتایج پژوهش صفرزاده خسروشاهی و همکاران حکایت از مؤثر بودن عصاره‌های اتانولی گیاهان گزنه، بید و بومادران در کاهش شدت بیماری ایجاد شده توسط CMV و افزایش بیان ژن ضدویروسی IVR و آنزیم تنشی POX به‌عنوان فاکتورهای دفاع میزبان خیار برعلیه CMV-Fny داشت (Safarzadeh Khosroshahi et al., 2021).

فعالیت ضد ویروسی گیاهان رازیانه، پونه کوهی، نعناع، آویشن و زنجبیل

ویروس بافت مردگی توتون (TNV) و ویروس موزاییک خیار (CMV) بسیاری از گونه‌های گیاهی را در خانواده‌های مختلف آلوده می‌کنند. ویروس TNV دارای دامنه میزبانی گسترده‌ای است، گیاهان تک لپه ای، دو لپه ای، علفی و چوبی را آلوده می‌کند. از طرفی ویروس CMV نیز به‌طور گسترده توزیع می‌شود، زیرا ۱۲۴۱ گونه جدا شده در ۱۰۱ خانواده گیاهی را آلوده می‌کند.

علائم ویروس CMV در خیار (*Cucumis sativus*) شامل زرد شدن موزائیک و پیچ خوردگی برگ‌ها، کوتولگی گیاهان و همچنین نقش موزاییکی روی میوه‌ها می‌شود (Helal, 2019). لوبیا معمولی (*Phaseolus vulgaris*) به عنوان یک پروتئین غذایی مهم به ویژه در کشورهای در حال توسعه در نظر گرفته می‌شود. همچنین خیار یکی از مهم‌ترین سبزیجات کشت شده در جهان است. خیار یکی از بهترین غذاها برای سلامت کلی فرد شناخته شده است. عفونت های ویروسی این گیاهان منجر به کاهش بهره وری آنها می شود. بنابراین کنترل بیماری‌های ویروسی این گیاهان هم در پروتکل‌های حفاظتی و هم در درمان اهمیت زیادی دارد. تاکنون هیچ داروی ضد ویروسی شیمیایی قادر به درمان کامل گیاهان آلوده به ویروس نبوده است. اثر آنها محدود به به حداقل رساندن اثرات بیماریزایی ویروس بوده که این امر بسیاری از محققان را تشویق می‌کند تا از طریق استفاده از مواد طبیعی که ممکن است به کنترل بیماری‌های ویروسی کمک کند، رویکردهای جایگزین را اتخاذ کنند. بنابراین، بسیاری از محققان اسانس‌ها و عصاره‌های گیاهی را به عنوان عوامل طبیعی جایگزین و کنترل کننده ویروس معرفی کرده‌اند (Helal, 2019).

بدین منظور گیاهان لوبیا معمولی و خیار به ترتیب با جدایه ویروس TNV و CMV مایه‌زنی مکانیکی (بافر فسفات ۰،۰۱ مولار، pH ۷،۲) شدند. سپس غلظت‌های مختلف (۱۰۰۰-۵۰۰۰ ppm) از بایوسایدهای فرموله‌شده (رازیانه، نعناع، پونه کوهی، آویشن و زنجبیل) برای فعالیت‌های ضد ویروسی در شرایط آزمایشگاهی آن‌ها در برابر عفونت‌زایی TNV و CMV به ترتیب بر روی گیاه لوبیا و خیار مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج نشان داد که که تمام بایوسایدهای فرموله شده (با غلظت‌های مختلف) فعالیت بازدارندگی قابل‌توجهی در برابر عفونت TNV در شرایط آزمایشگاهی از خود نشان دادند.

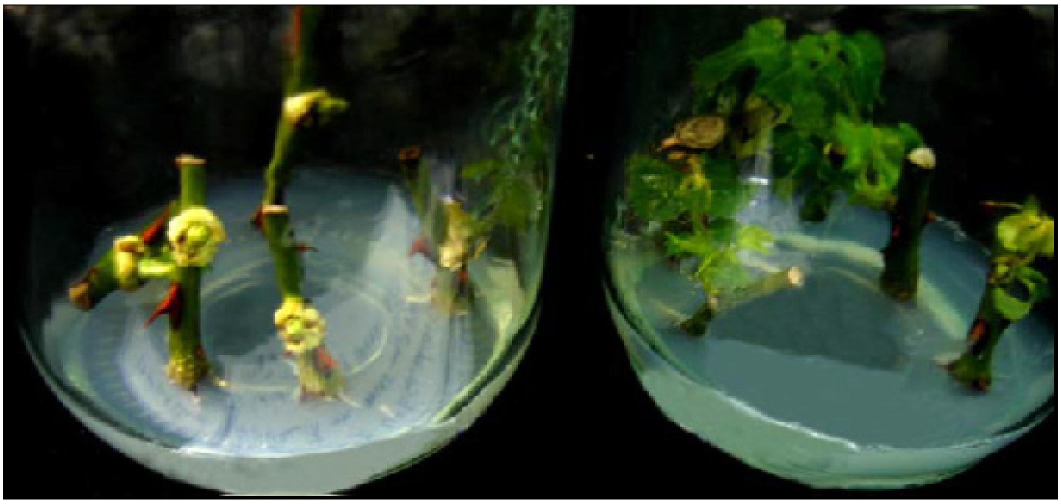
مشاهده شد که بایوساید نعناع بیشترین تاثیر را در کاهش تعداد لکه موضعی دارد. اثر آزمایشگاهی غلظت‌های مختلف پنج بایوساید فرموله شده علیه CMV بر روی خیار نشان داد که تمام بایوسایدهای فرموله شده (با غلظت‌های مختلف) باعث بازدارندگی قابل توجهی در برابر عفونت CMV می‌شوند. بنابراین، بازدارندگیِ عفونت‌زایی را می‌توان به پتانسیل زیست‌کش‌ها برای جلوگیری از چرخه آلودگی TNV و CMV با حل کردن یا نفوذ به پوشش ویروس و واسرشت شدن پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک آنها نسبت داد. تفاوت در فعالیت‌های ضد ویروسی زیست‌کُش‌های مختلف ممکن است به تنوع ترکیبی مواد فعال اسانس ها، تنوع ساختاری اجزای ضد میکروبی آنها و غلظت نسبی اجزای فعال موجود در آنها نسبت داده شود (Helal, 2019).

فعالیت ضد ویروسی گیاه گزنه دو پایه

رُز (Rosa) از مهمترین گلهای زینتی با ارزش اقتصادی بالا در جهان محسوب می‌شود. گیاه رُز بیشتر به صورت گل‌های شاخه بریده، گیاهان گلدانی و یا آپارتمانی در خانه و باغ مورد استفاده قرار می‌گیرند. گل رُز علاوه بر استفاده‌های زینتی، کاربردهای صنعتی و خوراکی نیز دارد. روغن رُز که تحت شرایط تقطیری بدست می‌آید در صنایع تولید عطر و لوازم آرایشی کاربرد دارد. تاکنون از رُز عوامل ویروسی متفاوتی از نقاط مختلف جهان جداسازی شده است که در مقایسه با سایر گیاهان این تعداد کمتر می‌باشد. دلیل آن نیز مقاومت بالای این گیاه نسبت به عوامل بیماری‌زای مختلف به دلیل بالا بودن ترکیب‌های فنلی و دیگر مواد اکسید شونده موجود در گیاه می باشد (Rakhshandehroo et al., 2009).

ویروس‌هایی که گل‌های سرخ را آلوده می‌کنند بیشتر به جنس‌های *Ilarvirus*، *Nepovirus* تعلق دارند. این ویروس‌ها در یک مجموعه تحت عنوان موزاییک رُز بر روی گل‌های سرخ ایجاد بیماری می‌نمایند. ویروس‌های لکه حلقوی نکروتیک درختان میوه هسته‌دار (*Prunus necrotic ring-spot virus* = PNRSV) و موزاییک آرابیس (*Arabis mosaic virus* = ArMV) از گونه‌های موجود در جنس‌های فوق از شایعترین عوامل دخیل در ایجاد موزاییک گیاه رُز در جهان محسوب می‌شوند. عوامل ویروسی مسئول موزاییک در رُز می‌توانند به صورت پنهان نیز در رُزهای مبتلا حضور داشته باشند. با وجود این، علائم موزاییک، نقش برگ بلوطی، لکه‌های زرد رنگ مجتمع در امتداد رگبرگ، نکروز حاشیه برگ، زردی عمومی و کوتولگی ارقام رز آلوده بارزترین علائم مربوط به حضور عوامل ویروسی PNRSV و ArMV در پایه های رز می‌باشد. عوامل ویروسی در رُز به ندرت موجب مرگ و از بین رفتن گیاه می‌شوند ولی در عوض با کاهش توان زیستی، گیاه را نسبت به حمله سایر عوامل بیماری‌زا حساس نموده و همچنین موجب کاهش کیفیت، اسانس و بازار پسندی گلها می‌شوند (Rakhshandehroo et al., 2009).

گزنه دو پایه با نام علمی *Urtica dioica* دارای خاصیت درمانی در معالجه بیماری‌های مزمن انسان می‌باشد. گزنه دو پایه از جمله گیاهان دارویی می‌باشد. نتایج پژوهشها نشان داد که عصاره گیاه گزنه دو پایه دارای خاصیت ضد باکتریِیی است و به میزان چند برابر بیشتر از باکتری‌کُش‌های شیمیایی از توان کنترل باکتری‌های گرم منفی و مثبت برخوردار است. همچنین مشخص شده است که عصاره گیاه گزنه دو پایه می تواند در شرایط مصنوعی موجب مهار تکثیر عوامل ویروسی همچون ایدز و هپاتیت شود.



شکل ۳: تاثیر عصاره آبی گزنه در حذف ویروس در محیط رشد دارای قلمه رز. قلمه‌های رز عاری شده از ویروس ۳۰ روز پس از تیمار با عصاره آبی گزنه (شکل سمت راست). قلمه‌های تیمار نشده آلوده (شکل سمت چپ) (Rakhshandehroo et al., 2009).

با توجه به اینکه گیاه رز دارای اهمیت اقتصادی فراوانی در جهان است و همچنین عوامل ایجاد کننده موزاییک در رز در قلمه‌ها و اندام‌های تکثیر گیاه به صورت سیستمیک و پنهان انتقال پیدا می‌کنند و در بیشتر مواقع تشخیص سریع و به موقع آنها امکان پذیر نیست. لذا توجه محققان به استفاده از روش‌های موثر و کاربردی جهت تولید پایه‌های رُز عاری از آلودگی‌های ویروسی، به ویژه در محیط‌های کشت بافت معطوف شده است (Rakhshandehroo et al., 2009).

بدین منظور از ساقه های جوان رز هایی که در آزمون سرولوژیک آلودگی آن ها به ویروس‌های PNRSVو ArMV اثبات شده بود، قلمه تهیه و در محیط کشت رشد داده شد. نتایج اضافه نمودن عصاره گیاه گزنه دو پایه به محیط کشت نشان داد که غلظت ویروس ArMV در ۹۰% از قلمه های رز با بکارگیری غلظت های ۲ یا ۵ mg/ml عصاره آبی گزنه یا ۰،۵ و ۲ mg/ml عصاره اتانولی گزنه در محیط رشد کاهش می‌یابد. همچنین غلظت ویروس PNRSV در ۴۲% از قلمه‌های رز با بکارگیری غلظت‌های ۲ و ۵ mg/ml عصاره آبی گزنه یا ۰،۵ و ۲ mg/ml عصاره اتانولی گزنه در محیط رشد کاهش می‌یابد (Rakhshandehroo et al., 2009).

نتیجه گیری کلی

بیماری‌های ویروسی گیاهی باعث کاهش قابل توجه عملکرد و کیفیت محصولات مختلف در سراسر جهان می شود. کاهش معمولاً کمتر آشکار است و بنابراین تشخیص داده نمی شود و درمان نمی شود (Elsharkawy and El-Sawy, 2015). ایمن سازی گیاهان میزبان با استفاده از عصاره‌های گیاهی یک روش طبیعی، ایمن، موثر، سازگار با محیط زیست و بادوام برای مدیریت بیماری‌های گیاهی است (Prasad et al., 2007). تحقیقات انجام شده درایران و سایر کشورهای جهان در زمینه فعالیت ضد ویروسی اسانس و عصاره گیاهان دارویی بیشتر معطوف به ویروسهای انسانی بوده است.

در زمینه عوامل بیماریزای گیاهی نیز بیشتر تحقیقات در زمینه اثرات کنترل کنندگی اسانس‌ها و عصاره گیاهان دارویی بر روی قارچها و باکتری‌ها می‌باشد و این در حالی است که جز مواردی انگشت شمار، مطالعات قابل توجهی درخصوص درجه تاثیر و مکانیسم ضد ویروسی اسانس‌ها و عصاره‌های گیاهی در زمینه کنترل ویروس های گیاهی انجام نشده است (Mostafaee et al., 2021). از آنجایی که راهکارهای بسیار کمی برای درمان عفونت‌های ویروسی در گیاهان وجود دارد، کاربرد عصاره‌های گیاهی می تواند نشانه ای از زمینه مطالعاتی بسیار امیدوارکننده در آینده باشد. با وجود تمامی توانمندی‌هایی که ترکیبات گیاهی برای کنترل عوامل بیماریزای ویروسی در گیاهان دارند، اما به دلایل مختلفی از جمله پایدار نبودن آنها در محیط مصرف در کشاورزی، محدود بودن منابع زیستی و نیاز به فن‌آوری اختصاصی جهت مصرف آنها توسط کشاورزان، از آنها در سطح وسیع در بخش کشاورزی نمی‌توان استفاده نمود.

Refrences

Chen, Z., Tan, J., Yang, G., Miao, M., Chen, Y., and Li, T. (2012). Isoflavones from the roots and stems of Nicotiana Tabacum and their anti-tobacco mosaic virus activities. Phytochemistry Letters 5, 233-235.

Elbeshehy, E. K. (2017). Inhibitor activity of different medicinal plants extracts from Thuja orientalis, Nigella sativa L., Azadirachta indica and Bougainvillea spectabilis against Zucchini yellow mosaic virus (ZYMV) infecting Citrullus lanatus. Biotechnology & Biotechnological Equipment 31, 270-279.

Elsharkawy, M. M., and El-Sawy, M. M. (2015). Control of bean common mosaic virus by plant extracts in bean plants. International Journal of Pest Management 61, 54-59.

He, P., Yang, P., Tang, S., Ye, L., Liu, C., Shen, Q., Tang, D., Zhang, F., Liu, Z., and Chen, Y. (2017). Three new isobenzofurans from the roots of Nicotiana Tabacum and their bioactivities. Natural product research 31, 2730-2736.

Helal, I. M. (2019). Use of biocides for controlling viral diseases that attack common bean and cucumber plants. Folia Horticulturae 31, 159-170.

Kong, G.-H., Wu, Y.-P., Shi, J.-L., Xiang, N.-J., Liu, L.-X., Yang, G.-R., Li, Y.-k., Lu, X.-P., Liu, Q., and Hu, Q.-F. (2015). Anti-tobacco mosaic virus phenylpropanoids from the stems of Nicotiana tabacum. Phytochemistry Letters 14, 230-233.

Li, L., Shen, Q.-P., Liu, C.-B., Wang, Y., Yao, J.-J., Zhang, T., Zhang, F.-M., He, P., Shi, X.-X., and Liu, Z.-H. (2015). Isoflavones from the leaves of Nicotiana tabacum and their anti-tobacco mosaic virus activities. Phytochemistry Letters 13, 156-159.

Mostafaee, S., Rakhshandehroo, F., Rezadoost, H., and Farzaneh, M. (2021). Study of the inhibitory effects of hydro–alcoholic extract and nanoemulsion essential oil of Khuzistani savory on local lesion induction by cucumber mosaic virus (CMV) on cowpea. BioControl in Plant Protection 9, 13-23.

Petrov, N. M. (2016). Antiviral activity of plant extract from Tanacetum vulgare against cucumber mosaic virus and potato virus Y. Journal of Bioscience and Biotechnology 5, 189-194.

Prasad, H. P., Shankar, U. A., Kumar, B. H., Shetty, S. H., and Prakash, H. S. (2007). Management of Bean common mosaic virus strain Blackeye cowpea mosaic (BCMV-BlCM) in cowpea using plant extracts. Archives of Phytopathology and Plant protection 40, 139-147.

Rajinimala, N., Rabindran, R., and Ramaiah, M. (2009). Management of Bittergourd yellow mosaic virus (BGYMV) by using virus inhibiting chemical, biocontrol agents, antiviral principles (AVP) and insecticide. Archives of Phytopathology and Plant Protection 42, 738-750.

Rakhshandehroo, F., Modarresi, A., and Zadeh, H. (2009). Study on the antiviral effect of aquatic and alcoholic extracts of Urtica dioica L. on rose mosaic viral disease in vitro culture. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 25, 403-413.

Safarzadeh Khosroshahi, T., Rakhshandehroo, F., Canto, T., and Salehi Jouzani, G. (2021). Study on the antiviral activity of Weeping willow, Yarrow and common Nettle plant ethanolic extracts on Cucumber mosaic virus infection in cucumber under greenhouse conditions. Applied Plant Protection 10, 43-57.

Sanjarian, M., Rakhshandehroo, F., and Rezaee, S. (2021). The effect of Persian lilac and fig plant crude aquatic and ethanolic extracts on disease caused by Cucumber mosaic virus in cucumber (Cucumis sativus) plants under greenhouse condition. Journal of Applied Research in Plant Protection 10, 47-61.

Shahriari, A. G., and Ghodoum Parizipour, M. H. (2019). Antiviral activity of aqueous extract of alligator plant, Bryophyllum daigremontianum L., against RNA and DNA plant viruses. Journal of Crop Protection 8, 465-478.

گفتگو صمیمانه با جناب آقای دکتر علیرضا صبوری

عضو محترم هیئت علمی گروه گیاهپزشکی دانشکدگان کشاورزی دانشگاه تهران

- صداقتیان: با سلام و احترام استاد لطفاً خودتان را برای دوستان معرفی کنید.

+ دکتر صبوری: سلام من متولد سال ۱۳۴۷ متولد شهرستان نوشهر استان مازندران هستم. دوران ابتدایی تا متوسطه را در شهرستان نوشهر گذراندم. بعد سال ۱۳۶۶ دوره کارشناسی گیاهپزشکی در دانشگاه شهید چمران اهواز پذیرفته شدم و در سال ۱۳۷۰ فارغ‌التحصیل شدم و وارد دوره کارشناسی ارشد حشره شناسی کشاورزی در دانشگاه تربیت مدرس شدم. البته ما ورودی بهمن سال ۱۳۷۰ بودیم و شهریور سال ۱۳۷۳ فارغ التحصیل شدیم و همان موقع هم به عنوان رتبه یک دانشگاه تربیت مدرس وارد دوره دکتری شدم و سال ۱۳۷۷ از رساله دکتری خودم دفاع کردم. بعدش به عنوان عضو هیئت علمی دانشگاه تهران آمدم اینجا و طرح دوره سربازی خود را هم اینجا گذراندم. به عنوان استادیار شروع به فعالیت کردم و تا به امروز مشغول به کار هستم.

- حقیقتش بنده خودم بدون هیچ شناختی وارد رشته گیاهپزشکی شدم، میخواستم بدانم تعریف شما از گیاهپزشکی چیست؟ یک گیاهپزشک چه رسالتی دارد؟

+ طبیعتاً همینجوری است و اسمش مقداری گول میزند که پزشکی گیاهی هست. ولی حداقل کشاورزان با حفظ نباتات آشنا هستند. ولی چون کشاورزان با ادارات کشاورزی و سازمان حفظ نباتات سروکار دارند رشته دانشگاهی گیاهپزشکی برایشان ناملموس است. وگرنه مردم آشنا هستند منتهی با واژه حفظ نباتات نه واژه گیاهپزشکی.

ولی مواردی بوده که کشاورزان، منظور فقط کشاورز و باغدار نیست ما زنبوردار، گلخانه‌دار و شرکت کشت و صنعت هم داریم که واقعا کارشان لنگ می‌شود. یعنی گهگاهی خواهش و تمنا می‌کنند که آقا یک فکری به حال ما بکنید!. مثلاً همین چند مدت پیش که به سیستان و بلوچستان رفته بودم شهر پیشین، منطقه‌ای که انبه کاری زیاد دارد، نزدیک شهر جاسک بودیم. کشاورزان می‌گفتند که انبه ها مشکل دارند و حداقل شما از نظر کنه شناسی بررسی کنید که آیا کنه هست یا خیر چون ما واقعا نمی‌دانیم که علت چیست؟ در این صورت حداقل یک آیتم حذف می‌شود و سراغ دیگر احتمالات می‌رویم. خوب خوشبختانه کنه نبود. بنده همان موقع هم به جناب آقای دکتر فتاحی هم پیغام فرستادم که جز مسائل باغبانی و گیاهی است و مربوط به گیاهپزشکی نمی‌شود. علت آن آفت یا بیماری نمی‌باشد. یا مثلاً زمانی در نیک شهر، زنبوردار از کنه واروآ خسارت دیده بود و دنبال روش مبارزه با آن بود. خوب روشی در سال ۲۰۰۷ آمده و من خودم هم در تونس و هم در آمریکا با تولیدکننده آن صحبت کردم.

در آن روش که تهیه کرده بودند فقط کشتن کنه واروآ نبود، چندین پارامتر را در نظر گرفته بودند. مثلاً یکی اینکه چگونه کنه واروآ را داخل شان کندو از بین ببریم؟ برای آن فکری کرده بودند. خوب در ایران هم اینگونه روش ها استفاده می‌شود اما نه با آن درصد و آن روش. برای آلودگی بیرون کندو هم فکری کرده بودند!. در واقع وقتی زنبور مجدداً به کندو برمی‌گردد هم بتوان با کنه واروآ مبارزه کرد. یک گریس خاصی تولید کرده بودند که آن را به در ورودی کندو می‌مالیدند و روی بالای شان کندو هم می‌گذاشتند و وقتی زنبورها دارند حرکت می‌کنند به بدنشان می‌خورد. بدن زنبور عسل لیز می‌شود و کنه واروآ نمی‌تواند به بدن زنبورعسل برود و از طرفی دیگر خود این ماده طوری هست که برای کنه واروآ ناخوشایند است. آن ماده گریسی باعث بسته شدن سوراخ‌های تنفسی کنه واروا می‌شود و از بین می‌رود. بعد یک کار دیگری هم کرده بودند. آن‌ها یک ماده ویتامینه به نام Honey B Healthy تولید کرده بودند که باعث بالا رفتن قدرت ایمنی بدن زنبور عسل می‌شود. هم در مقابل کنه واوآ و هم در مقابل بیماری‌های ثانویه ای که در اثر آلودگی به کنه واروآ دچار می‌شود!.

من یک نسخه از آن گرفتم آوردم. با اینکه ایشان آمریکایی بودند و ما تحریم بودیم ولی ایشان محبت کردند و در تونس نسخه‌ای از آن را به من دادند که من اینجا برای تدریس هم استفاده می‌کنم.

خوب بنده به موسسه تحقیقات زنبور عسل زنگ زدم که آقا من یک نسخه از روش مبارزه با کنه واروآ را گرفتم و آورده‌ام. میدانی به من چه جوابی دادند؟ گفتند که ما خودمان داریم تحقیق می‌کنیم!! آقا شما تحقیق بکنید اما این روش که ایشان تهیه کردند به طور متوسط ۹۳ درصد کنه واروآ را کنترل می‌کرد، شما یک روش را پیدا کنید که صد در صد کنترل کند. ولی الان حداقل به زنبوردار بی چاره بدهید فکری کنید کاری کنید که مشکلش حل بشود. یعنی این شکلی بود. و بنده هاج واج مانده بودم که یعنی چی؟! و کاملاً آب سرد رویم ریخته شد. چنین جوابی به آدم می‌دهند!.

به هر حال منظورم این بود که ضرورت رشته ما خیلی زیاد است. چون همانطور که می‌دانید میزان خسارت آفات چه در انبار و چه در باغ و مزارع و گلخانه در کشور قابل توجه است.

- الان اینجا تناقض است با اینکه نیاز و ضرورت به رشته گیاهپزشکی هست اما بازارکار چطور؟

+ در رابطه با بازار خوب به قول جناب آقای دکتر طیب نیا که در گذشته وزیر اقتصاد بودند می‌گفتند که مشکلات اقتصادی ما اقتصادی نیست!. درست هم می‌گویند. بازار دست یکسری افراد دیگر افتاده و اجازه به شما نمی‌دهند و شما نمی‌توانید. اگر وارد محدوده‌شان و جز عوامل آنها نباشید اصلا شما نمی‌توانید وارد بشوید رقابت نمی‌توانید بکنید.

مثلاً همین امروز آگهی جذب نیرو شرکتی در پارک علم و فناوری پردیس که استخدام با حقوق وزارت کار دارند. خوب چطور می‌شود با این حقوق زندگی کرد! شاید یک عده‌ای بخواهند بیگاری بکشند با توجه به اینکه فارغ التحصیل هم زیاده اما از یک طرف دیگر خیلی از شرکت ها واقعا به نیرو احتیاج دارند اما درآمدی ندارند!.

- واقعیت اینکه بعد از فارغ التحصیلی هم به سختی می توان کسب و کاری در حوزه گیاهپزشکی راه بیندازیم.

+ خوب کشاورزی ما سنتی است. مثلاً کشاورزان به ادارات کشاورزی مراجعه می‌کنند که کود یا سم به آنها بدهند در گذشته رایگان هم بود و یا دنبال این هستند که سم ارزان بخرند. از طرفی هم اشتباهات خیلی زیادی هم در سیاست‌گذاری‌های وزارت علوم صورت گرفته است و ما بیش از نیاز کشور فارغ‌التحصیل داریم. ما آنقدر دانشگاه احتیاج نداشتیم، حتی دانشگاه‌های سراسری. در زمان شروع انقلاب ما هشت تا دانشگاه سراسری کشاورزی در کشور داشتیم. بنده فکر می‌کنم که باید ما به همان موقع برگردیم!. الان تعداد زیادی فارغ التحصیل شده‌اند ولی بازارکار قدرت جذب آن‌ها را ندارد پس طبیعی است از هر ۱۰ فارغ التحصیل ۹ نفر از ایشان شغل غیر مرتبط یا بیکار هستند.

بعد اینکه با افزایش تعداد دانشگاه¬ها ممکن است از هر ۱۰ فارغ التحصیل ۷ نفر توانایی لازم را نداشته باشند. در طی این سال¬ها دانشگاه¬ها اصلاً مورد حمایت قرار نگرفتند.

الان وضعیت دانشگاه تهران از نظر آموزشی و پژوهشی اسفناک است. در با مقایسه گرنت پژوهشی دیگر دانشگاه ها، گرنت پژوهشی بنده در سال گذشته ۱۶ میلیون بود که تنها ۴ میلیون از آن محقق شد. با این وضعیت چگونه می توان کار پژوهشی انجام داد؟! من می‌خواهم در آزمایشگاه کار کنم نه اینکه به دیوار خیره بشوم! حتی همکاران بنده در دانشگاه دیگر، باور نمی‌کردند که گرنت پژوهشی بنده این رقم باشد، مزاح می فرمایید؟! بنده گفتم حتی همین مبلغ هم محقق نشده است. در گذشته، چندین مرتبه در سال، با ماشینی که گروه گیاهپزشکی در اختیارمان می‌گذاشت، به بازدید علمی می‌رفتیم و از مزارع شهرهای مختلف مثل کرمان، رفسنجان نمونه برداری می‌کردیم. ما برای اینکه دانشجویان با آفات و بیماری‌های درختان میوه گرمسیری آشنا بشوند، آن زمان همراه با جناب آقای دکتر نوزری و دکتر احمدزاده به هرمزگان و حتی تا قشم هم رفتیم و مسیر را برگشتیم. اردیبهشت ماه بود و هوا هنوز خیلی گرم نشده بود. برگشتیم و در تابستان به همراه مرحوم آقای دکتر اسماعیلی، که آخرین گردش علمی بود که همراه ما بودند، به همراه ایشان به آذربایجان غربی و شرقی رفتیم تا دانشجویان با آفات درختان میوه سردسیری آشنا بشوند. هدف یادگیری دانشجویان کارشناسی بود اما از دانشجویان مقاطع ارشد و دکتری هم همراه ما بودند.

ببینید الان بنده چند برگ خشک به عنوان آفت به شما نشان بدهم که برای بیست سال پیش است چه سودی برای شما دانشجو دارد؟!

کار ما در مزرعه و بیرون است. در حال حاضر اصلاً دیگر چیزی به اسم بازدید علمی نداریم. در گذشته دیسیپلین خاصی وجود داشت و اینطور نبود که هر کس جزیره‌ای کار بکند. به طور کلی عرض می‌کنم و بحث گروه گیاهپزشکی نیست. الان در کشور دیگر آن دیسیپلین وجود ندارد. مجموعه این عوامل باعث می‌شود که فارغ التحصیل آموزش ضعیف دیده باشد.

بنده در سال ۲۰۲۰ و ۲۰۲۲ دو تا مقاله ۴۰ الی ۵۰ صفحه‌ای نوشتم و تاکسونومی دو تا جنس از کنه هایی که در تخصص خودم بود را در دنیا عوض کردم. حاصله چی بود؟! منظور وضع اقتصاد الان هست. در سال ۲۰۱۵ بنده از پول گرنت پژوهشی خودم و با یکی از همکاران در دانشگاه دیگر، توانسیم به مدت دو هفته به لهستان برویم و نمونه‌های آفات آنجا را مورد مطالعه قرار دهیم! یک قسمت از کارها انجام شد. دو کشور لهستان و استرالیا بیشترین نمونه‌های مورد مطالعه ما را داشتند. برای قسمت دیگر کارها بنده یک طرح ۲۰ میلیونی دادم که در مرکز مطالعاتی ICRP (خارج از دانشگاه) تصویب شد. ما به شهر آدلاید کشور استرالیا رفتیم. بیشتر نمونه ها انجا بود، تعدادی از نمونه ها هم در کانبرا بود. بیشتر از دو هفته آنجا بودیم و توانسیم تعداد نمونه¬هایی که آنجا بود را مطالعه کنیم.

در واقع ما سه هفته در استرالیا بودیم و حتی دو روز آخر هم به تفریح رفتیم و کل هزینه‌های ما جمعاً ۲۰ میلیون تومان شد!! با شرایط اقتصادی الان مقایسه کنید؟! ما دو تا کار انجام دادیم. الان می‌خواهیم بقیه جنس‌ها را بررسی کنیم، حتی نمیتوانیم از ایران خارج بشویم!

ایمان، عشق به خدمت و تجربه عامل موفقیت است.

- خوب به نظرتان راهکار چیست؟ ما که نمی‌توانیم دست از کار بکشیم درسته؟

+ الان راهکار دست ما نیست. کار را که نمی‌شود زمین گذاشت. ولی آن چیزی که باعث شده ما هنوز ادامه بدهیم انگیزه خودمان برای آن کار هست. من به کار خودم ایمان و اعتقاد دارم و میدانم که دارم کار درست را انجام می‌دهم. دانشجو دارم، دانش من هم خریدار دارد. در دنیا شناخته شده‌ام و ارتباطات خودم را هم دارم و معتقدم که دارم یک کار را از جای درست پیش می‌برم. آن است که من را نگه می‌دارد. انگیزه و انرژی آن است و آن زیبایی و لذت از کار است.

من اینگونه هستم که هرکس به اتاقم می‌آید با من کاری دارد. ما نمی‌نشینیم با هم دیگه بگویم و بخندیم. من درگیر کارم هستم و در آزمایشگاه مشغول کار هستم. چون به کاری که می‌کنم اعتقاد دارم. درست است که بودجه نیست، تجهیزات یا فلان چیز نیست. اما این کاری که دارم انجام می‌دهم که غلط نیست!. طبیعتاً آدم محدودتر می¬شود اما از کارکردن لذت می¬برم. من حرفم اینست که آنچه که ما را نگه می‌دارد اعتقاد به کاری است که انجام می‌دهیم.

آنچه که باعث جذب می‌شود. شرکت ها و مؤسسات دنبال این هستند که فرد قوی تر را جذب بکنند. پس هرچه در اینجا شما توانسته باشید به دانش و اطلاعات خود عنوان یک دانشجو اضافه بکنید آنجا به درد شما می‌خورد و به کارتان می‌آید. توانمندی چگونه حاصل می‌شود؟ زمانی که شما علاقه داشته باشید به کاری که انجام می‌دهید. به کارتان ایمان داشته باشید.

- یک دانشجو چگونه می‌تواند این انگیزه را در خود ایجاد کند و به کاری که انجام می‌دهد ایمان داشته باشد؟!

+ شما وقتی می¬توانی ایمان داشته باشی که از چیزی که دارید یاد می‌گیرید هدف اقتصادی نداشته باشید. اگر شما صرفاً هدف اقتصادی داشته باشید به آن نخواهی رسید!. مثلاً اگر هدف این باشد که من فارغ التحصیل بشوم، دکتری بگیرم که بتوانم شغلی پیدا بکنم. شما دکتری می‌شوی که آگاهی‌تان نسبت به مرحله قبل بیشتر شده باشد!.

اگر با این دیدگاه و هدفتان بیشتر دانستن باشد و دنبال این باشید که در تخصص و کار خودتان بیشتر بدانید. فردا این بیشتر دانستن در نهایت برای شما شغل ایجاد می‌کند! اگر رقابتی هم باشد شما پیشی می‌گیرید. ممکن است مدتی پس از فارغ التحصیلی شاغل به کار نشوید و اگر صرفاً با این هدف وارد رشته بشود در نهایت بی‌انگیزه می‌شوید، چون بقیه فارغ التحصیلان را می‌بینید که مشغول به کار نیستند!

فارغ التحصیلان توانمندی که الان بیکار هستند و مقصر هم خودشان نیستند بخاطر اینکه تعداد فارغ التحصیل بیش از حد مجاز هست. از طرفی الان موسسه تحقیقات گیاهپزشکی شاکی است. می‌خواهد تعداد جذب بیشتری داشته باشد، بخاطر اینکه مراکزش خالی از کارشناس می‌شود و بازنشسته می‌شوند. اما از طرف وزارت علوم سهمیه کمی اختصاص داده می‌شود!. سال گذشته ۴ نفر درخواست کرده بودند اما دو نفر جذب شده بود!. مسائل در سطح کلان مطرح است، چون می خواهند حقوق کمتری بدهند، تعداد را پایین می‌آورند و یک نفر مجبور است کار پنج نفر را انجام بدهد!. این ها همه تاثیر گذار است. خیلی از سیاست ها سیاست کلان است و من و شما نمی‌توانیم کاری بکنیم.

- یک دانشجو چگونه می‌تواند مطالبی که به صورت تئوری آموخته است را در عمل به کارگیرد؟

+ کسب تجربه!. طبیعتاً تجربه می‌تواند در بازیدهای علمی ایجاد بشود، گردش‌های علمی می‌توانست خیلی کمک‌کننده باشد. در مزرعه تنها یک عامل نیست یک کنه نیست. کشاورز از خاک و باغبانی هم می‌پرسد و شما باید جوابش را بدهید.

الان خیلی از دانشجویانی که وارد رشته گیاهپزشکی می شوند آشنایی اندکی با کشاورزی دارند و با کشاورزی مأنوس نیستند. طبیعتاً نمی‌توان انتظار داشت که مانند فردی که در زمین کشاورزی قبلاً تجربه‌ای کسب کرده و یک پیش زمینه یا آمادگی اولیه را دارد، آشنا باشند. بنده فکر می‌کنم می‌توان ضعف‌های دانشجویان را اینجا پوشش داد. الان هم دانشجویان اگر علاقه داشته باشند. نمونه برداری بکنند و یک مقداری برنامه ریزی می‌خواهد. خوب است که دانشجویان قبل از اینکه وارد بازار کار بشوند تجربه کسب کنند. چون کشاورزان یکبار بیشتر به شما اعتماد نخواهد کرد. اگریک‌بار ببیند آن چیزی که شما گفتید درست در نمی‌آید دیگر به شما اعتماد نمی‌کند. چون دسترنج زندگی‌اش همین است.

اما اگر اعتمادسازی صورت بگیرد به فرد دیگری مراجعه نمی‌کند. اگر میخواهید با کشاورزان ارتباط برقرار کنید بدانید که اعتماد به راحتی جلب نمی‌شود ولی اگر جلب شد به راحتی از دست نمی‌رود. باید وقت و انرژی گذاشته بشود، حتی خدمات و مشاوره رایگان داده بشود.

- به نظر شما چگونه می‌توان از اظهار نظرهای شتابزده، غیرکارشناسانه و بررسی نشده اجتناب کرد؟

+ برخی چیزها در بیرون آزمایشگاه است. ما باید در داخل باغ یک مدیریت انجام بدهیم. در باغ مجموعه‌ای عوامل سروکار داریم. طبیعتاً این تجربه در آزمایشگاه کسب نخواهد آمد. در مزرعه باید روش کنترل را بدانیم. درواقع آن چیزی که خوانده‌اید و آنچه مشاهده می‌کنید را باهم ادغام کنید. این ادغام کردن اطلاعات تجربی است و مقداری از آن هنر مدیریت فرد است. به نوعی تفاوت بین حفظ کردن مطالب و یادگیری کاربردی شدن است. آفات، بیماری ها و عناصر کمبود در منطقه را بررسی کنیم. در منطقه چه مسائلی وجود دارد؟. یا حداقل اینکه بار اول تجربه کسب بکنیم. در واقع دایره وسیع اطلاعات و هم تجربه خیلی مهم است. یکبار سر یک چیز تجربه پیدا بکند. بعداً عادت پیدا می‌کند که تجزیه تحلیل بکند. ما باید قدرت تجزیه تحلیل خودمان را بالا ببریم. دانشجویان ما به طور کلی از این نظر ضعیف هستند شاید آموزش ما اشکال دارد!.

- ما در انجمن علمی، از نو دانشجویان کارشناسی نظرسنجی کردیم و اکثر قریب به اتفاق شناخت کمی از رشته خودشان داشتند، به نظر شما چه اقداماتی می‌تواند در راستای معرفی و آشنایی با رشته گیاهپزشکی انجام بشود؟

+ به نظر من باید در ابتدا آموزش داده بشود که گیاهپزشکی و کشاورزی چیست؟. در ابتدا درست آموزش ببینند و اگر باز هم علاقه‌مند نبودند راه خود را تغییر دهند. فکر می‌کنم که اکثریت دانشجویان بدون آگاهی وارد رشته گیاهپزشکی شده‌اند. اما می‌شود با آموزش مناسب در رابطه با رشته آگاهی داد و بعداً خودشان تصمیم بگیرند!. البته یکسری معرفی رشته در گذشته در باب معرفی رشته وجود داشت ولی همان هم خیلی اصل مطلب را نمی‌رساند. قبل از شرایط کرونا، ما در دانشکدگان کشاورزی روز درب‌های باز داشتیم. البته دانشگاه‌های دیگر هم داشتند. جناب آقای دکتر گلدانساز مُبدع آن بودند. یعنی درب‌های دانشگاه بر روی عموم مردم باز است. مردم از دانشگاه بازدید می‌کردند. در دانشگاه چه خبر است؟ مشغول به چه کاری هستند؟.

یکی از جاهایی که خیلی مورد استقبال قرار می‌گرفت. گروه گیاهپزشکی بود. مثلاً ما یک برگ گذاشته بودیم که روی آن کنه بود به دوربین یا ویدئو پروژکتور متصل بود. مردم مشاهده می‌کردند که کنه در حال گشت وگذار روی برگ است! با رشته کشاورزی آشنا می‌شدند.کلینیک گیاهپزشکی هم غرفه داشت.

این ارتباط برقرار است ولی ما ارتباط نداریم. نه اینکه ما مقصر باشیم. ما حتی با وزارت کشاورزی هم ارتباطی نداریم! این اشتباه ناقصی است که وجود دارد. مثلاً در اوایل انقلاب این ارتباط چنان قوی بود که کسی از وزارت کشاورزی به دانشگاه بیاید خودشان را مقابل هم دیگر نمی‌بینند. مثلاً زمانی که دانشجو سمینار داشت از موسسه تحقیقات کشاورزی اساتید حضور داشتند و اصلاً اینگونه نبود که همدیگر را منفک یا رقیب یکدیگر بدانند! یکی می‌دانستند. اما الان می‌توان گفت که دو تا جبهه شده‌اند! به نوعی خود را رقیب یکدیگر می‌دانند. ما باید مشکل مملکت را حل بکنیم.

اینکه من دانشگاه هستم شما موسسه یا شرکت خصوصی هستید بی معنی است. در طی این سال‌ها که حمایت و بودجه ها کمتر شده است هر کس سعی می‌کند به سمت خودش بکشد و خودش را سرپا نگه دارد. طبیعتاً رقابت و این چنین مسائل به وجود می‌آید. تفکر خدمت به کشور، کاملاً در این سال ها ضعیف شده است و فقط به سمت سیستم خودمان می‌کشیم. فکر این نیستیم که حاصل کار منِ صبوری خدمت به مملکت و مردم باشد.

زمانی که تفکر خدمت به مملکت باشد دیگر فرقی نمی‌کند که این کار، این طرح و بودجه در اختیار کدام سیستم باشد؟!. هم اینکه شما بتوانید خدمتی کنید و یک کار را جلو ببرید انجام بدهید. وقتی هدف کمک به کشور باشد دیگر چه فرقی می‌کند که در دانشگاه تهران باشد و مسئولش صبوری باشد یا در دانشگاه دیگری فرد دیگری باشد؟!

کار را درست جلو ببرید. بلاخره یک جایی باید یک نفر مسئول باشد نمی‌شود که ده نفر مسئول داشته باشد! اما تفکر این است که مالکیت آن برای ماست چرا باید سیستم دیگری انجام بدهد؟!

- تجربه کاری شما شرایط کرونا چگونه بود؟ آیا در فعالیت تدریس و پژوهش شما تاثیر گذاشت؟

+ به نظرم شرایط کرونا بیشتر دانشجویان تحت تاثیر پذیرفتند وگرنه بنده خودم کارهای زیادی داشتم و به نوعی خوشحال هم بودم که مراجعه دانشجو کمتر هست و می‌توانم به کارهایم بپردازم!.

اما متاسفانه در مدت دو ساله کرونا روند مسائل مالی خیلی تشدید شد. ما انتظار داشتیم که در شرایط کرونا خیلی از کارها بهتر انجام بشود مثلاً در زمان کرونا ما نمی‌توانستیم به فرصت مطالعاتی برویم پس آن بودجه‌ای که هر ساله به فرصت مطالعاتی به هر فرد تعلق داشت استفاده نشد و انتظار می‌رفت که این پول در سیستم‌های دیگر تغذیه بشود اما نشد.

یا اینکه دو سال کرونا که دانشجویان حضور نداشتند از خوابگاه استفاده‌ای نشد و انتظار می‌رفت که در این مدت خوابگاه‌ها سر و سامان و ترمیم بشوند و از این فرصت هم استفاده نشد و به نظرم فرصت سوزی شد! می‌شد خیلی از کارها را انجام داد چون بخاطر عدم حضور دانشجویان، خیلی از هزینه‌ها وجود نداشت و می‌توانست به نوعی تجدید قوا بشوند. اما متاسفانه اتفاق نیفتاد.

- دوران پاندمی کرونا چه پیامد ها و معضلاتی برای جامعه دانشگاهی ایجاد کرد؟

+ دانشجویان که این شرایط طبیعتاً کار آموزشی و پژوهشی شان را عقب انداخت و خیلی از مواقع ممکن بود کیفیت کار پایین بیاید چون مثلاً در زمان خاصی باید نمونه برداری انجام می‌شد و در این شرایط دانشجو یک ماه از دست نمی‌داد یکسال را از دست می‌داد!.

طبیعتاً خیلی از همکاران خود یا خانواده‌شان درگیر بیماری کرونا شدند و در خیلی از دانشگاه‌ها شاید عدم حضور همکاران در یک زمان‌هایی باعث تعویق و عقب افتادن کارها می‌شد. اما به طور کلی از این شرایط بیشتر دانشجویان تاثیر پذیرفتند.

- به نظر شما دوران پاندمی کرونا چه فرصت‌ها و چالش‌هایی به همراه داشت؟ شما چه تجربه از این شرایط کسب کرده‌اید؟

+ به نظرم در این شرایط کرونا، از اتفاقات خوبی که افتاد برگزاری جلسات به صورت مجازی بود و هزینه جلسات نسبت به گذشته خیلی کم تر شد و از طرفی در گذشته برای شرکت در یک جلسه حداقل دوساعت وقتم گرفته می‌شد و در نهایت یک روزکامل را از دست می‌دادم!. در حالی که الان در جلسات مجازی شرکت می‌کنم. صحبت می‌کنم و انگار آنجا هستم. خوب چه کاری بود قبلاً می‌کردیم؟!

از طرفی خطرات مسافرت با هواپیما و غیره هم بماند. خوب هزینه‌های بی مورد و بی جهت انجام می‌شد!. واقعاً باعث شد از این جهت یک حرکتی بکنیم و خیلی بهتر شد. از طرف دیگر برای انجام پاره‌ای از کارها مثلاً نمونه برداری که نمی‌شود مجازی انجام داد و باید حضور داشته باشیم.

- تجربه کاریتان در شرایط کرونا و مجازی بودند کلاس‌های دانشجویان چگونه بود؟

+ من کارهایم تحت تاثیر قرار نگرفت و از طرفی وقتم آزاد شد!. خوب طبیعتاً نبودن دانشجویان شور و اشتیاق داخل گروه را می‌گیرد و قبل از حضور دانشجویان واقعاً سوت و کور بود!. از طرفی دانشجویان گهگاهی به ما کمک می‌کنند و به خود ما انرژی می‌دهد. اما از نظر کاری، در کل بیشتر دانشجویان از این شرایط تاثیر پذیرفتند.

- لطفا اگر مقدور هست در رابطه با برنامه پژوهشی که در آینده نزدیک دارید صحبت کنید.

+ من قرار است به مدت یکسال فرصت مطالعاتی به کشور ترکیه بروم. یکی از دوستانم که قبل از کرونا، به اینجا آمده بودند و به مدت ده روز در آزمایشگاه نمونه‌ها را مطالعه کرده بودیم. من به ترکیه به خاطر اینکه فرهنگ نزدیکی داریم و همکاران در تخصص کنه شناسی هم هستند نمونه زیاد می‌فرستم و همکاری بیشتری داریم و در نظر داریم یکسری کارهای تحقیقاتی در ترکیه انجام بدهیم.

دوست همکارم یک طرح تحقیقاتی در ترکیه نوشته و قرار است آنجا نمونه برداری بکنیم. احتمال می‌دهیم نمونه های جدیدی پیدا کنیم و بعدش هدفمان این است که علاوه مقاله مستخرج از پژوهش، یک کتاب هم به رشته تحریر درآوریم.

- به نظر بنده با گذشت زمان شور و انگیزه اولیه ما فروکش می‌کند و شاید دلسرد شده و دست از کار بکشیم چه پیشنهادی در این زمینه برای ما دانشجویان دارید؟

+ برای اینکه با انگیزه بمانید اول اینکه همکاری که با آن کار می کنید می تواند به شما کمک بکند و از طرفی به کاری که انجام می‌دهید علاقه داشته باشید. باید فرد تخصصی که دارد را به آن عشق بورزد. ما خیلی از فارغ‌التحصیلان کنه شناسی در کشور داریم که دارند کشاورزی می‌کنند. دکتری دارد و متخصص جهانی هم هست ولی دارد همچنان کارش را انجام می‌دهد و نمونه برداری در برخی مناطق انجام می‌دهد.

آن عشق و علاقه هست. بنده خودم اگر به گذشته برگردم مجدداً همین مسیر را انتخاب می‌کنم هر چند اینکه بقیه رشته ها شرایط بهتری داشته باشند. آن عشق و لذت از کار کردن است. اینکه امام علی (ع) می فرمایند که « بهترین تفریح کار است» واقعاً قبول دارم و درکش کردم. من هر روز تفریح می کنم!.

- علاوه بر عشق و علاقه در کنار پشتکار، به نظرتان تا چه اندازه ارتباطات در موفقیت شما تاثیرگذار بوده است؟

+ بله درسته، ارتباطات خیلی مهم است. به ویژه خارج از کشور. الان خیلی از دانشجویان فرصت مطالعاتی می‌روند و استفاده می‌کنند ولی منتهی محدود می‌شوند به همان مرکزی که رفته‌اند!. ولی شما اگر در داخل یک علم، سعی کنیم که با همه ارتباط داشته باشیم. بنده مثلاً هم در زمینه کنه شناسی کار می‌کنم. در زمینه سیستماتیک دانشکده‌های زیست شناسی چون سیستماتیک کار می‌کنند من را می‌شناسند. تلاش می‌کنم که با همه ارتباط برقرار کنم چه در داخل کشور و چه خارج از کشور. به همین خاطر بنده را می‌شناسند. مثلاً من با تعداد زیادی از موزه‌های خارج کشور هم ارتباط برقرار کردم و این باعث شده خیلی از افراد که در زمینه جانوران دیگر هم کار می‌کنند هم بنده را می‌شناسند.

- اینگونه ارتباطات چگونه شکل می‌گیرید؟ یک دانشجو چگونه می‌تواند با موسسات یا افراد متخصص در ارتباط باشد؟

+ خوب در وهله اول شما باید توسط استاد هدایت بشوید. طبیعتاً در زمان مکاتبه خیلی از دانشمندان معروف خارج از کشور اگر شما را نشناسند ممکن است اصلاً پاسخی ندهند. ولی اگر از طرف استاد باشد این ارتباط کم کم ایجاد می‌شود. منتهی این ارتباط بیشتر علمی و مکاتبه‌ای هست. مثلاً بنده با یکی از همکاران خارجی در سال ۲۰۱۰ یک مقاله چاپ کرده بودیم و یک خانواده جدید از کنه‌های گیاهی را برای دنیا توصیف کرده بودیم و خیلی همکاری بزرگ و وسیعی بود!. ولی در سال ۲۰۱۲ که به دیدنش رفتم به من گفت که صبوری ارتباط face to face یک چیز دیگه است و علاقه و محبت خیلی افزایش پیدا می‌کند!.

به عنوان مثال بنده دوستانی دارم که از موزه ارفورت (Eefurt) آلمان هستند خوب من چگونه با ایشان آشنا شدم؟! این دوستان از موزه ارفورت بودند و تخصص کنه شناسی هم اصلاً نداشتند. آن ها به یکی از دوستانشان در بلژیک گفته بودند که ما می‌خواهیم به ایران برویم، از ایران کسی را می‌شناسی؟ که حداقل به ما یک دعوت‌نامه بدهد که ما بتوانیم ویزا بگیریم به ایران برویم، بعدش خودمان بقیه کارها را انجام می‌دهیم. فردِ بلژیکی گفته بود که من در ایران کسی را نمی‌شناسم اما یک نفر را در مونته نگرو (Montenegro) می‌شناسم که می‌دانم به ایران می‌رود و ارتباطاتی دارد، به او نامه می‌نویسم که در ایران کسی را می‌شناسد که لینک را برای شما برقرار بکند. فردِ مونته نگرو (آقای دکتر ولادیمیر پشیچ) از دوستان صمیمی بنده بود با هم دیگر زیاد کار کردیم حتی با هم دیگر رفت و آمد خانوادگی داریم!. ایشان (Dr. Vladimir Pesic) به من ایمیل زدند که دوستان بنده از آلمان می‌آیند می توانی به آن ها کمک کنی؟ گفتم چرا که نه! من رئیس موزه هستم و کارم مرتبط هست و دعوت نامه نوشتم.

برایشان هتل رزرو کردیم ماشین گرفتیم و به جاهایی که نمی‌شناختند که نمونه برداری کنند. آن¬ها برایشان خیلی عجیب قریب بود چون من اولین بار هست که با ایشان برخورد می‌کنم و در خارج اینگونه نیست کسی نمی‌شناسند دوست صمیمی بشوند!. یعنی کارهایی که ما برایشان می‌کنیم با بقیه کشورهای دنیا فرق می‌کند. می‌گفتند که ما این محبت که از مردم ایران دیدیم در هیچ کجای دنیا ندیدیم!. آن ها وقتی برگشتند آلمان کلی از ایران تعریف کردند حتی سمینار گذاشتند که آقا اصلا این چیزهایی که در مورد مردم ایران می‌گویند صحت ندارد.

- ارتباطات بین المللی چقدر در پژوهش تاثیرگذار است؟ چگونه می‌توانیم این ارتباط را برقرار کنیم؟

+ خوب طبیعتاً مفید است. وقتی دانشجو فرصت مطالعاتی می‌رود خوب یکسری مطالب را یاد می‌گیرد که اینجا یاد نگرفته است. اول اینکه آنجا از نظر توانمندی و امکانات خیلی قوی تر از ما هستند. چون آن ها کارهایی که انجام می‌دهند به هدف پاسخ دادن به سوالات و مسائلی است که در کشورشان وجود دارد.

در پاسخ به کشاورزی مملکت خودشان کار می-کنند اما ما به صورت جزیره ای کار می‌کنیم! سیستم به یک جایی پیش رفته که هیچ گونه ارتباطی از نظر مالی بین وزارت کشاورزی و دانشکده کشاورزی نیست! هیچ گونه ارتباطی نیست و مشکل مملکت حل نمی‌شود. وقتی حمایتی صورت نمی‌گیرد، خیلی از ایده ها در سطح ایده باقی می‌مانند!. آن ارتباط اصلا برقرار نیست. بنده در همان بحث کنه واروآ اشاره کردم که وزارت کشاورزی آمریکا حمایت کرد و آن‌ها نگران تامین بودجه نبودند.

- آیا به زندگی در خارج از کشور فکر می‌کنید؟ تجربه زندگی در خارج از کشور چگونه بود؟

+ من مدت زمان زیادی در خارج کشور نبوده‌ام. مدت کوتاهی مانده‌ام. فکر می‌کنم هر کسی بستگی به شخصیت و عادات‌های فردی خودش دارد. طبیعتاً در آنجا فرهنگ متفاوت است. اولش که برای گردش و تفریح می‌رویم جذابیت خاص خودش را دارد ولی در دراز مدت، برای بنده حداقل خسته کننده بود. طبیعتاً یکسری مزایا و معایب دارد. روابط معمول خودشان را دارند. در خیلی از مواقع همیشه به ما به چشم شهروند درجه دوم و سوم نگاه می‌کنند!. ولی در هر صورت، من خودم هم به این فکر افتاده‌ام که بروم، واقعاً خسته شده‌ام. بنده به طور معمول علاقه‌ای به ترک کشورم ندارم و دوست دارم بمانم. از طرفی سختم می‌شود اسمم برای کشور دیگری باشد. من ایرانی‌ام. اگر افتخاری هم کسب شده باید به اسم کشورم باشد. آن هم زمانی که به مرحله‌ی پختگی رسیده‌ام، همه جای دنیا بنده را می‌شناسند. الان که همه چیز به بار نشسته، چرا به اسم کشور دیگری تمام بشود؟!

ولی شرایط کشور، ممکن است مجبورم بکند که قید همه چیز را بزنم!. شرایط از نظر مالی عرض می‌کنم، از نظر اینکه آزمایشگاه من آسیب دیده و نمی‌توانم تعمیر بکنم. اینجا من هرروز حرص می‌خورم!.

- نقطه نظر، پیشنهادی که انجمن علمی دانشجویی انجام بدهد؟

+ من فکر می‌کنم که در طی این سال ها، بخاطر مشغله همکاران، ارتباط بین اساتید و دانشجویان ضعیف شده است. به ویژه ما اساتیدی که در دوره کارشناسی تدریس نداریم و دوست دارم که این فاصله شکسته بشود. این ارتباط دوستانه برقرار بشود. در گذشته که بازدید علمی داشتیم، در کنار یکدیگر بودن صمیمیت را ایجاد می‌کرد. انجمن علمی دانشجویی می‌تواند هماهنگی لازم را انجام دهد و زمینه ساز ارتباط بین دانشجویان و اساتید باشد. دوستانه و هر چه می‌خواهد دل تنگت بگو. فکر می‌کنم این ارتباط قوی شکل بگیرد.

- سپاس از اینکه وقت ارزشمندتان را در اختیار ما قرار دادید.

عکاسی از زاویه دوربین گیاهپزشک

عکاس: شادی توکلی

سوسک گرده خوار سیاه

Oxythyrea cinctella Schaum

(Col: Scarabaeidae)

عکاس: شادی توکلی

پسیل زیتون

Euphyllura olivina

عکاس: عارف مرادپور

کتابی شدن ساقه

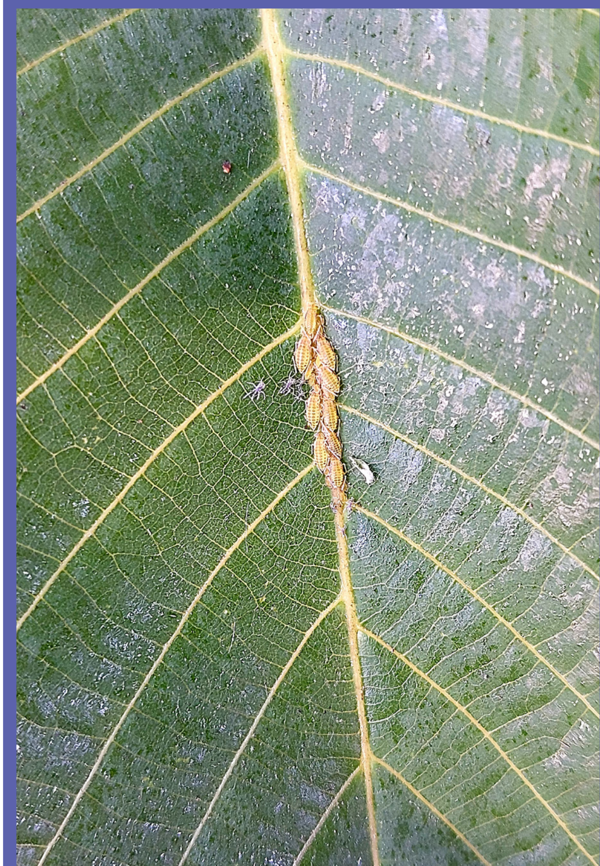
از علایم ویروس های گیاهی

عکاس: شادی توکلی

کرم سفید ریشه

Polyphylla ollivieri

Coleoptera: Scarabaeidae



عکاس: شادی توکلی

شته خالدار گردو

Panaphis juglandis

KHAZRA®
خضــراء

مروری بر سابقه کلات ها در کشاورزی

سالانه بیش از ۲۰۰ میلیون تن انواع کودهای شیمیایی در زمین‌های کشاورزی جهان مصرف می‌شود. باید توجه داشت که مصرف این حجم عظیم از کودهای شیمیایی در زمین‌های کشاورزی به دلیل نوع، ساختار و جذب پایین این کودها موجب آسیب به بافت خاک و از بین رفتن حاصلخیزی آن شده و آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی و خاک را به دنبال دارد. از سوی دیگر، استفاده بی رویه از کودهای شیمیایی باعث کم شدن مقاومت گیاهان در مقابل تنش‌های محیطی و آفات و بیماری ها، افزایش نیاز به مصرف سموم، کاهش عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی و تولید محصولات آلوده به سموم و فلزات سنگین می‌گردد. نتیجه این امر کاهش سطح سلامت جامعه و بروز انواع بیماری‌ها است. کودهای کلاته سنتی از قبیل EDDHA و EDTA نیز (که عموماً برای رسانش عناصر ریز مغذی از قبیل آهن و روی موضوعیت دارند) با وجود برتری نسبی بر کودهای شیمیایی کما بیش از محدودیت‌های مشابهی برخوردارند.

KHAZRA®
خضـــراء

در واقع مصرف کودهای کلاته مرسوم، به دلیل عدم مقرون به صرفه گی در حوزه کشاورزی چندان فراگیر نیست و علیرغم ده ها سال حضور این محصولات در بازار سهمی کمتر از ۱٪ را به خود اختصاص داده اند.

اساساً در حوزه کشاورزی برای تولید کودهای کلاته از لیگاند هایی از قبیل DTPA، EDTA، EDDHA و اسیدهای آمینه استفاده می شود. لیگاندهای به کار رفته در کودهای کلاته مرسوم واجد این ویژگی ها هستند:

- صرفاً به منظور رسانش و کلات کردن برخی از انواع عناصرفلزی کاربرد دارند و قادر به کلات کردن عناصر نافلزی مهم در تغذیه گیاه از قبیل نیتروژن، فسفر و پتاسیم نیستند.
- اثرگذاری محدودی بر عملکرد و یا کیفیت محصولات کشاورزی دارند.
- کاربرد آن ها به شکل مصرف خاکی (EDDHA) و یا محلولپاشی (EDTA) است و در غیر روش کاربرد خود جذب مناسبی ندارند.
- قادر به کلات کردن چند عنصر به شکل همزمان نیستند و صرفاً قابلیت کلات کردن یک عنصر را دارند.
- به عنوان مهمترین ویژگی، نسبت فایده به هزینه آن ها محدود است به نحوی که فایده حاصل از مصرف آن ها به سختی جبران کننده هزینه خرید این محصولات است.

"فناوری کلات های پیشرفته"

(متعلق به شرکت دانش بنیان صدور احرار شرق) یک تحول بزرگ در علم شیمی است که خروجی آن سنتز ساختارها در شاخه‌های گوناگون علوم از جمله کشاورزی است. این فناوری برای اولین بار در جهان با نام "Chelate Compounds" در اداره ثبت اختراعات آمریکا و ایران به نام مهندس محمدحسن نظران به ثبت رسیده است. در فناوری "کلات‌های پیشرفته" با استفاده از روش خودچینی (Self-Assemble)، کلات‌هایی تولید می‌گردند که از جذب و کارایی بسیار بالاتری در مقایسه با ساختارهای پیشین برخوردارند. در حوزه کشاورزی بر اساس این فناوری، کودهای کلاته پیشرفته خضراء به عنوان نسل جدید کودها تولید شده اند. به دلیل وجود ساختار کلات پیشرفته در کودهای کلاته خضراء، جذب آن ها توسط ریشه و برگ گیاه بسیار بهتر از کودهای شیمیایی رایج و همچنین کودهای کلاته موجود از قبیل EDDHA و EDTA صورت می‌گیرد. کودهای کلاته پیشرفته خضراء نه تنها فاقد محدودیت‌ها و مشکلات ناشی از مصرف کودهای شیمیایی و کودهای کلاته رایج هستند، بلکه موجب افزایش چشمگیر کمی و کیفی محصولات کشاورزی بدون اثرات آلاینده زیست محیطی می‌گردند. استفاده از کودهای کلاته پیشرفته خضراء در باغات، مزارع و گلخانه‌ها موجب افزایش ۲۰ تا ۲۰۰ درصدی عملکرد و نیز بهبود چشمگیر کیفیت محصولات کشاورزی و افزایش مقاومت گیاهان در برابر بیماری‌ها، آفات و استرس‌های محیطی می‌گردد.

کودهای کلاته پیشرفته خضراء، نسل جدید کودها

فواید مصرف کودهای کلاته پیشرفته خضراء

- عدم ایجاد شوری خاک
- عدم ایجاد آلودگی های زیست محیطی (نیترات ها، فلزات سنگین)
- افزایش عملکرد از ۲۰ تا ۲۰۰ درصد
- افزایش مقاومت در برابر تنش های محیطی
- افزایش مقاومت در برابر بیماری ها و آفات (کاهش نیاز به مصرف سموم، تولید محصولات سالم)
- افزایش ماندگاری محصولات کشاورزی
- غنی سازی محصولات کشاورزی در مزرعه (افزایش پروتئین محصول، افزایش متابولیت های ثانویه، غنی شدن محصول با عناصر میکرو و ماکرو)
- بهبود کیفیت محصولات (بهبود شکل، سایز، درجه، عطر و طعم)

KHAZRA
خضــراء

ویژگی های کودهای کلاته پیشرفته:

- جذب و رسانش عناصر معدنی با استفاده از این ترکیبات به شکل مؤثر، هوشمند و هدفمند انجام میشود.
- همگی دارای خاصیت متابولیسم اپتیمایزری هستند و سوخت و ساز گیاه را متعادل میکنند .
- قادر به کلات کردن انواع عناصر فلزی و نافلزی هستند.
- لیگاند به کار رفته در این کودها قادر به کلات کردن همزمان چند عنصر است.
- بسیار مقرون به صرفه بوده و چندین برابر هزینه صرف شده جهت خرید آن ها برای مصرف کننده سوداوری دارند.

به همین دلیل مصرف کودهای کلاته پیشرفته خضراء برای کشاورزان نه تنها به منزله صرف هزینه مازاد نبوده بلکه یک سرمایه گذاری ارزشمند است .

هفتمین فراخوان

ارسال مقالات و مطالب علمی برای نشریه علمی دانشجویی

گیاه‌پزشک

محورها

- مقالات علمی و کاربردی در حوزه گیاه پزشکی
- نگاه تحلیلی یا منتقدانه بر حوزه ای خاص در گیاه پزشکی
- نوآوری ها و خلاقیت های روز دنیا در گیاه پزشکی
- مطالب آزاد مرتبط با گیاه پزشکی
- عکاسی از زاویه دوربین گیاه پزشک

در هر دو گرایش
بیماری شناسی و حشره شناسی

plantprotection.utcan@ut.ac.ir
http://giahpezeshksj.ut.ac.ir
@phytopathology.association

Scientific-Extensional (Proffesional)

Plant Pathologist

Journal of Plant Protection

Scientific Association of Plant Protection,
College of Agriculture and Natural Resoures,
University of Tehran

23nd Year, Number 6, Spring 2023