وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نشریه فنی:

شناخت روش‌ها و فناوری‌های نوری کنترل آفات در کشاورزی

فرزاد آزادشهرکی، بهاره جمشیدی و منوچهر رضابیگی

AERI

سال انتشار: ۱۴۰۲

آدرس: کرج، بلوار شهید فهمیده، کدپستی: ۳۱۳۵۹۱۳۵۳۳، مؤسسه تحقیقات فنی ومهندسی کشاورزی
تلفن: ۳۲۷۰۵۳۲۰، ۳۲۷۰۵۲۴۲ و ۰۰۰۰-۳۶۱۵۰(۰۲۶)
دورنگار: ۳۲۷۰۶۲۷۷ (۰۲۶)، آدرس دسترسی: www.aeri.ir(بخش انتشارات الکترونیکی)

بسم الله الرحمن الرحیم

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نشریهٔ فنی:
شناخت روش‌ها و فناوری‌های نوری کنترل آفات در کشاورزی

تهیه و تدوین:
فرزاد آزادشهرکی، بهاره جمشیدی، منوچهر رضابیگی

اعضای هیئت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد دزفول

سال انتشار:
۱۴۰۲

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نوع نوشتار: نشریهٔ فنی
عنوان نوشتار: شناخت روش‌ها و فناوری‌های نوری کنترل آفات در کشاورزی
نگارندگان : فرزاد آزادشهرکی، بهاره جمشیدی، منوچهر رضابیگی
ویراستار ادبی: محمدرضا داهی
صفحه‌آرا: شبنم جباری
طراح جلد: سمیه وطن‌دوست
ناشر: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
شمارگان: محدود
نوبت چاپ: اول
سال انتشار: ۱۴۰۲

مسئولیت صحت مطالب با نگارندگان است.

شماره ثبت ٦٤٦٥٨ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به تاریخ ۱۴۰۲/۱۰/۱۰

مخاطبان

گلخانه‌داران، مروجان گلخانه و سایر علاقه‌مندان

هدف‌های آموزشی:

شما خوانندگان گرامی در این نشریه با:

- مبانی کنترل آفات توسط نور
- رفتار حشرات در برابر نور
- روش‌ها و فناوری‌های استفاده از نور در کنترل آفات

آشنا خواهید شد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	۱
تأثیر طول موج و شدت نور بر رفتار حشرات و کاربرد آنها در کنترل آفات	۲
جلب حشرات به منبع نور در شب	۱۲
جلب حشرات با کارت‌ها و نوارهای چسبندهٔ رنگی	۱۵
کنترل فعالیت شب پره‌ها با نور زرد	۱۷
کنترل آفات با پوشش‌های پلاستیکی محافظ UV	۲۰
کنترل آفات با خاک پوش‌های پلاستیکی بازتابی	۲۲
توصیه‌های کاربردی برای افزایش کارآیی استفاده از تله‌های نوری	۲۴
خلاصه و جمع‌بندی	۲۶
منابع	۲۷

مقدمه

در سال‌های اخیر، با توجه به اهمیت سلامت محصولات کشاورزی در بین مصرف-کنندگان، مصرف سبزی‌ها به‌ویژه سبزی‌هایی افزایش یافته است که در تولید آنها از آفت-کش‌های شیمیایی کمتر یا آفت‌کش‌هایی با ماندگاری کمتری استفاده شده یا به‌صورت ارگانیک تولید شده‌اند (کریمی و همکاران، ۱۳۹۹). از سوی دیگر، نیاز به ارتقای بهره‌وری تولید محصولات کشاورزی، محدودیت نهاده‌ها، تغییر عادت‌های غذایی و نیز الگوی مصرف انسان‌ها و مصرف انواع میوه و سبزی در سراسر سال، استفاده از گلخانه را بیش از پیش نمایان می‌سازد. شرایط آب و هوایی نامناسب در تمام یا قسمتی از سال، عرضهٔ محصولات کشاورزی را محدود می‌کند و برای غلبه بر این محدودیت‌ها، کنترل شرایط در محیط گیاهان کشت‌شده ضروری است (کرمی و قاسمی‌قهساره، ۱۳۸۷). محیط گرم و مرطوب گلخانه و نبود دشمنان طبیعی آفات در محیط‌های کنترل شده، باعث شده است تا جمعیت و طغیان آفات در گلخانه افزایش یابد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۹).

مقاومت آفات در برابر آفت‌کش‌ها یکی از مشکلات مهمی است که در اثر استفادهٔ مستمر از آفت‌کش‌های شیمیایی برای کنترل یا کاهش خسارت حشرات زیان‌آور، به‌وجود آمده است و کنترل شیمیایی آنها را محدود می‌کند (کریمی و شریفی، ۱۳۹۹). مقاومت به آفت‌کش‌ها باعث می‌شود تنها تعداد کمی از آفت‌کش‌ها در کاهش خسارت حشرات مؤثر باشند و کنترل حشرات کوچکی مانند سفیدبالک، تریپس، شته و کنهٔ تارتن دولکه‌ای با آفت‌کش‌ها مشکل باشد. بدین‌ترتیب توسعه و استفاده از فناوری‌های کنترل آفات که قابلیت جایگزین شدن با روش‌های شیمیایی را داشته یا به‌عنوان مکمل آنها استفاده شوند، ضروری به‌نظر می‌رسد. آفت‌کش‌های شیمیایی قادرند تا در دامنهٔ کاری خود، حشرات را سریع و کامل از بین ببرند. بنابراین جایگزین‌کردن فناوری با همان میزان اثربخشی، آسان و کم هزینه نخواهد بود. در مدیریت تلفیقی آفات[1] ، جمعیت آفات از طریق ترکیب روش‌های

1 - Integretated Pest Management (IPM)

مختلفی مانند روش‌های بیولوژیکی، زراعی، شیمیایی و فیزیکی به‌گونه‌ای کنترل می‌شود که با یکدیگر تداخل ندارند، و در پی آن مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی کاهش می‌یابد. هدف از مدیریت تلفیقی آفات، نگه‌داشتن جمعیت حشرات در زیر سطح زیان اقتصادی است و با اجرای آن انتظار می‌رود میزان و دفعات استفاده از آفت‌کش‌ها و در نتیجه مقاومت حشرات به آفت‌کش‌ها کاهش یابد. در این زمینه انتظار می‌رود فناوری‌های فیزیکی، به‌ویژه روش‌های نوری، در مدیریت تلفیقی آفات استفاده شوند (شیمودا[۱]، ۲۰۱۸؛ نوینسکی[۲]، ۲۰۲۳).

در این نشریه، تلاش شده است تا افزون بر بیان مبانی کنترل نوری حشرات، روش‌ها و فناوری‌های کاربردی موجود در این زمینه معرفی شوند. امید است که مطالب این نشریه بتواند ضمن آگاه‌سازی کارشناسان مرتبط در خصوص مزایای فناوری‌های نوری برای کنترل آفات، به توسعه و ترویج آنها کمک موثری کند.

تأثیر طول موج و شدت نور بر رفتار حشرات و کاربرد آنها در کنترل آفات

اغلب حشرات دارای دو اندام گیرنده نور هستند : چشم‌های مرکب و چشم‌های ساده[۳]. چشم مرکب از تعداد زیادی واحدهای حساس به نور به‌نام اوماتیدی[۴] تشکیل شده است. اوماتیدی شامل بسته‌ای مخروطی شکل از سلول‌های نوری است که هر سلول نوری دارای حساسیت مختلف طیفی است. اوماتیدی‌ها در یک آرایش شش ضلعی قرار دارند تا میدان دید وسیعی را با قدرت تفکیک فضایی[۵] معین در برگیرند و حرکت اجسام را دریافت کنند.

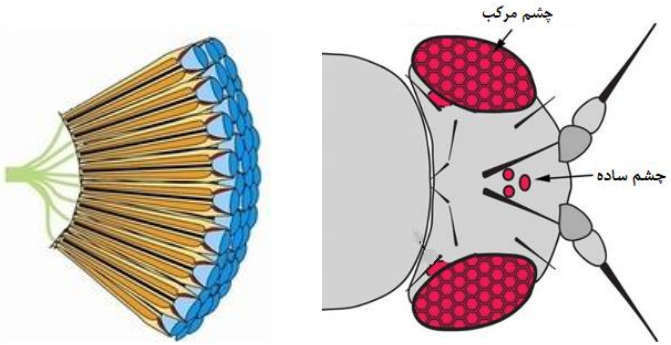
۱ - Shimoda

۲ - Nowinszky

3- Ocelli

4- Ommatidia

5- Spatial Resolution



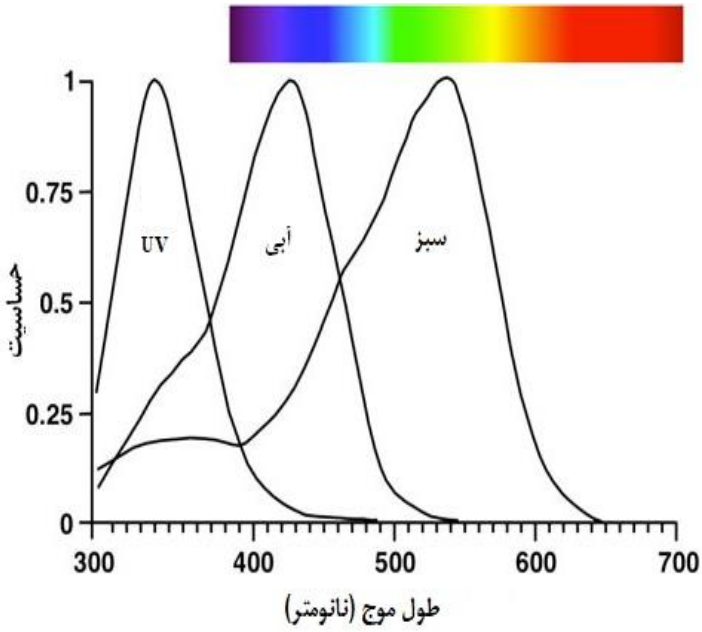
(ب) (الف)

شکل ۱- تصویر چشم ساده و مرکب در مگس سرکه (الف) و ساختار چشم مرکب که از تعداد زیادی اوماتیدی تشکیل شده است (ب).

حساسیت طیفی گیرنده‌های نوری، دامنهٔ نوری مرئی را برای حشرات تعیین می‌کند. این دامنه، اغلب تا ناحیه فرابنفش[1] گسترش می‌یابد که برای انسان نامرئی است (لاند و نیلسون[2]، ۲۰۰۲).

در حشراتی مانند زنبور عسل، هر چشم مرکب شامل سه نوع سلول گیرندهٔ نوری با بیشینه حساسیت به طیف‌های فرابنفش (با حداکثر جذب در ۳۵۰ نانومتر)، آبی (با حداکثر جذب در ۴۵۰ نانومتر) و سبز (با حداکثر جذب در ۵۵۰ نانومتر) است (شکل ۲). برخی حشرات مانند زنبور انگل دارای گیرنده‌های رنگ قرمز نیز هستند. ترکیب خاص این گیرنده‌های نوری حساسیت طیفی چشم مرکب را تعیین می‌کند. با این حال، اغلب حشرات امواج فرابنفش را به‌عنوان یک رنگ مشخص درک می‌کنند (کوشیتیکا[3] و همکاران، ۲۰۰۸).

1- Ultraviolet (UV)
2- Land and Nilsson
3- Koshitaka



شکل ۲- نمودار حساسیت طیفی سه نوع گیرنده در زنبور عسل (پِیچ، ۱۹۹۲)

نور به شکل‌های مختلفی بر رفتار حشرات تأثیر می‌گذارد. از جلب حشرات توسط نور (نورگرایی مثبت[1] یا حرکت حشرات به سمت منبع نور) می‌توان برای به دام انداختن آنها در محیط‌های کنترل شدهٔ کشاورزی استفاده کرد (شکل ۳-الف)، ولی طول موج و شدت نور مورد استفاده برای گونه‌های مختلف حشرات متفاوت است. به‌سخنی دیگر، ترجیح طیفی[2] حشرات (طول موج ویژه‌ای که حشره آن را ترجیح می‌دهد) متفاوت است. در شکل ۴ ترجیح طیفی برخی از حشرات آورده شده است. ترجیح طیفی چشم مرکب اغلب حشرات در محدودهٔ

1 - Positive Phototaxis
2- Spectral Preference

۳۵۰ نانومتر (UV)، ۵۵۰ نانومتر (سبز) یا هردو یا بین آنها (آبی، ۴۵۰ نانومتر) است (آریکاوا[1]، ۲۰۰۰؛ یانگ[2] و همکاران، ۲۰۰۳).

دفع حشرات (نورگرایی منفی[3] یا دور شدن حشرات از منبع نور) با طول موج‌ها و شدت-های نوری که قابلیت دفع حشرات را دارند، می‌تواند از ورود حشرات به محیط‌های کنترل‌شده جلوگیری کند (شکل ۳–ب). سازگاری[4] با نور (شکل ۳–ج) یکی دیگر از روش‌های واکنشی حشرات به نور است و در آن حشرهٔ شبگرد هنگام قرارگیری چند دقیقه‌ای در معرض نور، با نور سازگار می‌شود و رفتارهایی مانند رفتارهای در طول روز خود (مثل توقف حرکت و ماندن در یک مکان) از خود نشان می‌دهد. پرواز و جفت‌گیری حشرات شبگرد، هنگام قرارگیری در معرض نور شدید در شب، متوقف می‌شود (شیمودا، ۲۰۱۸؛ کیم[5] و همکاران، ۲۰۱۳).

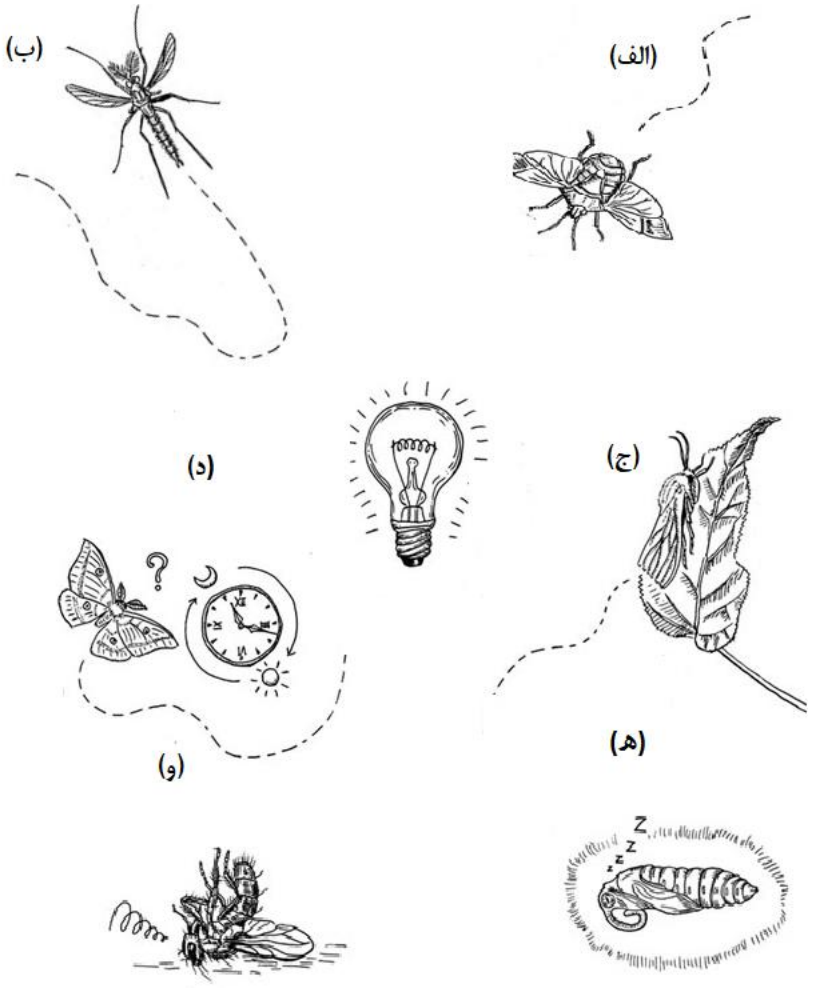
چرخهٔ شبانه‌روزی[6] یکی دیگر از رفتارهای حشرات است که می‌تواند تحت تأثیر نور قرار گیرد. چرخهٔ شبانه‌روزی چرخه‌ای ۲۴ ساعته در فرایندهای بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی یا رفتاری موجود زنده است که به آن برای سازش با چرخه نور و تاریکی کمک می‌کند. پرواز، حرکت، تغذیه، فراخوان جفت‌گیری و جفت‌گیری، از جمله رفتارهای چرخهٔ شبانه‌روزی حشرات هستند. ایجاد نور مصنوعی برای مدتی معین در شب می‌تواند باعث تغییر زمان رفتارهای روزانه/ شبانهٔ حشرات شود که به این نوع تغییر رفتار، تغییر فاز نیز گفته می‌شود (شیمودا و کیگوچی[7]، ۱۹۹۵). در شکل ۳–د، مختل شدن چرخهٔ شبانه‌روزی حشره هنگام قرارگیری در معرض نور شبانه آورده شده است.

1- Arikawa
2- Yang
3- Negative Phototaxis
4- Light Adaptation
5- Kim
6 - Circadian Rhythm
7- Kiguchi

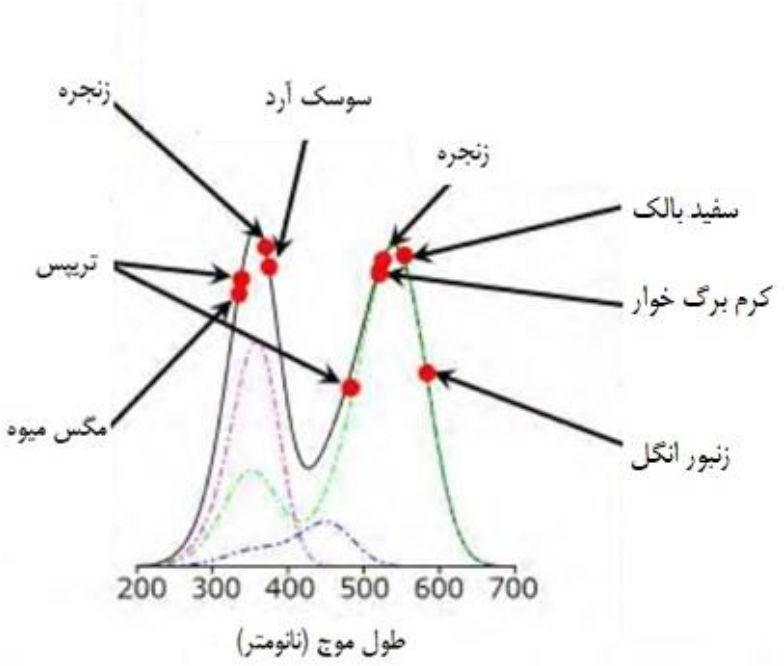
تناوب نوری[1] حشرات یا پاسخ فیزیولوژیکی حشرات به برنامهٔ نوری (طول روز) یکی دیگر از رفتارهای نوری حشرات است (شکل ۳– ه). قرارگیری به‌طور متناوب و منظم حشرات در معرض نور، شروع دیاپوز[2] در آنها را به تأخیر می‌اندازد. حشراتی که زمستان‌گذرانی آنها با دیاپوز همراه است، اگر دیاپوز آنها شکسته شود، قادر به زمستان گذرانی نیستند[3] (ساندرز[4]، ۲۰۱۲).

یکی دیگر از رفتارهای حشرات در برابر نور، سمیت نوری[5] است و زمانی اتفاق می‌افتد که شبکیهٔ چشم مرکب حشره در معرض تابش نور آبی و UV از نظر ساختاری آسیب ببیند. برخی حشرات هنگام سمیت نوری(شکل ۳– و) ، قادر به رشد طبیعی و بقا نیستند (مِیر– راچو[6] و همکاران، ۲۰۰۲؛ ژانگ[7] و همکاران، ۲۰۱۱)

1- Photoperiodicity
2- Diapause
۳ – دیاپوز یک وقفه فیزیولوژیکی در زندگی بعضی از جانوران خصوصاً حشرات است و تحت تاثیر هورمون-های رشد و پوست اندازی صورت می گیرد (ساندرز، ۲۰۱۲)
4- Saunders
5- Phototoxicity
6- Meyer-Rochow
7- Zhang



شکل ۳- رفتارهای عمومی حشرات در برابر نور. الف) نورگرایی مثبت، ب) نورگرایی منفی، ج) سازگاری با نور، د) مختل شدن چرخهٔ شبانه‌روزی، ه) تناوب نوری، و) سمیت نوری (شیمودا، ۲۰۱۸)



شکل ٤- ترجیح طیفی برخی از حشرات (شیمودا، ۲۰۱۸)

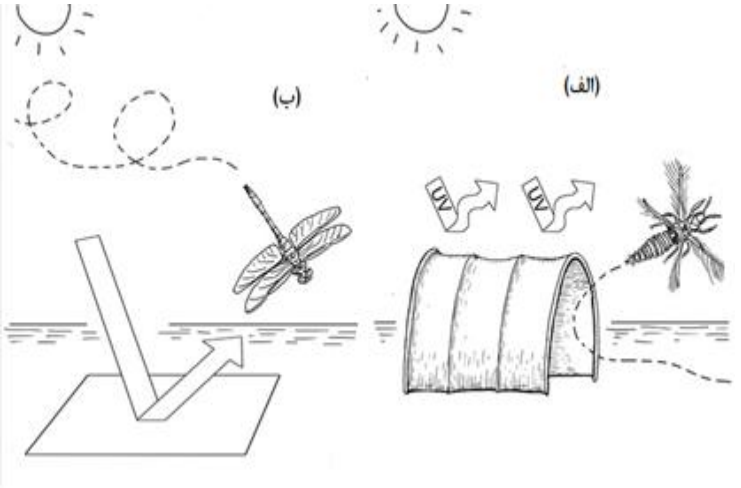
حشرات معمولاً به سمت چیزی که نمی‌بینند (چیزی که برای آنها نامرئی است) پرواز نمی‌کنند (شکل ۵- الف). بدین‌ترتیب با دست‌کاری اجزای مرئی نور برای حشره، تشخیص رنگ‌ها و الگوهای اشیا برای حشره مشکل خواهد شد. برای مثال، تاباندن نور آبی به سیب، باعث خواهد شد تا رنگ آن به‌نظر حشره سیاه برسد.

پرتو UV در جهت‌یابی حشرات اهمیت دارد و بدون این پرتو، بسیاری از حشرات قادر به تشخیص گیاهان نخواهند شد. این امواج بسته به تأثیر آنها بر سلامت انسان و محیط زیست، به سه ناحیه UVA (۳۸۰-۳۱۵ نانومتر)، UVB (۳۱۵- ۲۸۰ نانومتر) و UVC (۲۸۰-۱۰۰ نانومتر) تقسیم می‌شود. امواج UVA بر اثر لایهٔ ازون جذب نمی‌شود و در باغبانی باعث رنگ‌گیری برگ‌ها و شکوفه‌ها، کاهش سطح برگ و طول ساقه، مقاوم شدن

نشا پیش از انتقال به فضای باز، و تأخیر در گلدهی می‌شود. اگر گیاه در معرض تابش زیاد این پرتو قرار گیرد، خطر سوزش برگ آن وجود خواهد داشت. قسمتی از UVB و بیشتر UVC در لایهٔ اوزن جذب می‌شود. تابش UVC برای سلامت انسان، بسیار خطرناک است ولی خاصیت گندزدایی دارد و از آن برای تصفیهٔ زیستی آب می‌توان استفاده کرد (آزادشهرکی و همکاران، ۱۴۰۰). از جهت‌یابی حشرات بر اثر UV می‌توان در کنترل آفاتی مانند تریپس، مگس سفید و شته‌ها با استفاده از پوشش‌های جاذب UV یا افزودن مواد جاذب UV به پوشش استفاده کرد تا سم کمتری در کنترل این آفات به‌کار رود. در استفاده از پوشش جاذب UV، به عنوان ابزاری برای مبارزه با آفات، نباید نور طبیعی از دریچه‌های تهویه وارد گلخانه شود، زیرا با باز بودن دریچه‌های تهویه، امکان تابش UV به داخل گلخانه وجود دارد. در حال حاضر بسیاری از تولیدکنندگان پوشش‌های پلاستیکی گلخانه برای افزایش طول عمر پلاستیک در مقابل پرتو UV، از افزودنی‌های جاذب UV[1] استفاده می‌کنند (لگارا[2] و همکاران، ۲۰۱۰؛ آزادشهرکی وهمکاران، ۱۴۰۰).

برخی از حشرات دارای واکنش نور پشتی[3] (شکل ۵- ب) نسبت به منبع نور هستند. این خاصیت در حشرات باعث می‌شود تا آن‌ها موقعیت افقی خود را با دریافت نوری تثبیت کنند که به سمت پشت آنها می‌تابد. این جهت‌گیری به حشره اجازه می‌دهد که بتواند نور را بالای سر خود نگه دارد و به‌صورت مستقیم به سمت آن حرکت نکند (حرکت عمودی نسبت به نور داشته باشد). توانایی کنترل حشرات از طریق واکنش نور پشتی در بسیاری از حشرات مثل سنجاقک و ملخ صحرایی بررسی و صحت آن تایید شده است. با پوشاندن کف زمین با مواد یا فیلم‌های بازتاب‌کنندهٔ شدید نور، جهت نرمال پرواز حشره با نور بازتاب‌شده از پایین مختل می‌شود. از این ویژگی نیز می‌توان برای جلوگیری از ورود حشره به داخل گلخانه استفاده کرد (شیمودا، ۲۰۱۸).

1- UV Absorber
2- Legarrea
3- Dorsal Light Reaction



شکل ۵- الف) کنترل بینایی حشره با پلاستیک‌های دارای لایه محافظ UV و ب) واکنش نورپشتی حشره (شیمودا، ۲۰۱۸)

واکنش‌های ذکر شده به نور به‌طور قابل توجهی به عوامل مختلفی چون شدت و طول موج نور، ترکیب طول موج‌های مختلف، مدت زمان قرارگیری حشره در معرض نور، کنتراست[1] نور و برهمکنش نور با رنگ محیط بستگی دارند. علاوه بر این، تأثیر نور بر رفتار حشره به نوع منبع نور (فلورسنت، هالوژن، LED و غیره) و مواد به‌کار رفته در آن نیز وابسته است (شیمودا و هوندا[2]، ۲۰۱۳).

به‌منظور استفادهٔ بهتر از هر یک از رفتارهای ذکر شدهٔ حشرات نسبت به نور در کنترل آنها هریک از رفتارهای حشرات نسبت به نور، تجهیزات یا مواد لازم برای ایجاد این رفتار به‌همراه زمان مناسب اعمال نور در جدول ۱ آورده شده است.

1 - Contrast
2 - Honda

جدول ۱- فناوری کنترل نوری حشرات با در نظرگرفتن رفتار نوری آنها و زمان مناسب اعمال نور (شیمودا، ۲۰۱۸)

رفتار	تجهیزات / مواد	زمان کار
جذب	لامپ‌های جذب‌کننده	شب
	جلب کننده‌های الکتریکی	شب
	کارت‌های چسبندهٔ رنگی	روز
دفع	لامپ‌های دفع‌کننده	شب
	توری‌های دفع کننده	روز
سازگاری	لامپ‌های زرد/لامپ‌های سدیمی	شب
چرخهٔ بیولوژیکی	لامپ‌های آبی	شب
سمیت نوری	لامپ‌های حشره‌کش	شبانه‌روز
استتار	پلاستیک‌های جاذب UV	روز
واکنش نور پشتی	ورقه‌های بازتاب‌کنندهٔ نور	روز

در جلب کننده‌های الکتریکی[1] (شکل ۶) معمولاً حشره به‌واسطهٔ یک منبع نور (مثلاً UV) به سمت یک شبکه الکتریکی جذب می‌شود و پس از آن حشره با برخورد به سیم‌هایی که بین آنها ولتاژ قوی برق وجود دارد، دچار برق گرفتگی خواهد شد و از بین می‌رود (آلفا و همکاران، ۲۰۱۶).

1- Electric Zapper

شکل ٦- یک جلب کنندۀ الکتریکی (مکاما[1] و همکاران، ٢٠١٦)

فناوری‌های نوری قابل استفاده برای کنترل آفات

جلب حشرات به منبع نور در شب

بسیاری از گونه‌های حشرات شب‌پرواز، مانند شب‌پره‌ها، سوسک‌ها و سن‌ها در شب به سمت منبع نور جلب می‌شوند. در میان منابع نوری که برای جلب حشرات استفاده می‌شود، منابعی که مقدار زیادی امواج UV ساطع می‌کنند (لامپ‌های فلورسنت آبی، لامپ‌های سیاه، لامپ‌های بخار جیوه) بیشترین میزان جلب حشرات را دارند. استفاده از لامپ‌های فلورسنت آبی به‌عنوان تلۀ نوری حشرات، به‌طور گسترده‌ای از زمان‌های قدیم برای کنترل

1- Makama

کرم ساقه‌خوار برنج و برخی دیگر از آفات رایج بوده است. در بسیاری از موارد، برای پیش‌بینی شیوع آفات از لامپ‌های رشته‌ای، جیوه‌ای و سیاه در ایستگاه‌های کنترل آفات در مرزهای برخی کشورها استفاده شده است. در شکل ۷ ، لامپ سیاه لوله‌ای[۱] و حبابی شکل نشان داده شده است (آئوکی[۲] و کورامیتسو[۳]؛ کووان[۴] و گریز[۵]، ۲۰۰۹).

شکل ۷- لامپ سیاه به‌عنوان منبع ساطع‌کنندهٔ UV برای جذب حشرات

(هاریز[۶]، ۲۰۲۱)

در صورت استفاده از لامپ سیاه به عنوان منبع نوری جذب کنندهٔ حشره باید به زیان-های احتمالی استفاده از آن برای انسان نیز توجه کرد. UV ساطع شده از لامپ‌های سیاه معمولاً در محدوده UVA است با این همه، قرارگیری مداوم در معرض این لامپ می‌تواند به پوست انسان آسیب برساند. ممکن است امواج منتشر شده از برخی از لامپ‌های سیاه در محدودهٔ UVB نیز قرار گیرد که در صورت استفاده از این لامپ‌ها باید به دستورالعمل

1- Black Light Tube
2- Aoki
3- Kuramitsu
4- Cowan
5- Gries
۶- Harris

کارخانهٔ تولید کننده توجه کرد و کسی به‌هیچ وجه نباید در معرض نور این لامپ‌ها قرار گیرد (هاریز، ۲۰۲۱).

استفاده از منابع نوری برای جلب حشرات در شب یکی از فناوری‌های کاربردی در کنترل برخی آفات محسوب می‌شود ولی نور مهم‌ترین عامل محیطی است که بر فیزیولوژی و رشد گیاهان نیز اثر دارد؛ به‌همین دلیل برای کاربرد موفق منابع نوری به منظور کنترل حشرات، لازم است تاثیر شرایط نوری ایجادشده بر فیزیولوژی گیاه نیز بررسی و از نداشتنِ تاثیر نامطلوب بر رشد گیاهان کشت شده اطمینان حاصل شود (جمشیدی، ۱۳۹۸).

در شکل ۸ یک تلهٔ نوری با لامپ رشته‌ای نشان داده شده است. در این نوع از تلهٔ نوری، با توجه به تعداد حشرات شکار شده، وقوع آفت و مناسب‌ترین زمان کنترل آن پیش‌بینی می‌شود. در شکل ۹ نیز یک نوع حشره‌کش الکتریکی بزرگ نشان داده شده است با منبع نور لامپ فلورسنت به رنگ آبی که برای جلب حشره استفاده می‌شود؛ این حشره‌کش الکتریکی برای کاربرد در گلخانه‌ها طراحی شده است.

شکل ۸- تلهٔ نوری با یک لامپ رشته‌ای برای مطالعهٔ تغییرات جمعیت و پیش بینی طغیان آفت (شیمودا و هوندا، ۲۰۱۳)

شکل ۹- یک نوع حشره‌کش الکتریکی بزرگ دارای منبع نور لامپ فلورسنت (شیمودا و هوندا، ۲۰۱۳)

جلب حشرات با کارت‌ها و نوارهای چسبندهٔ رنگی

برخی حشرات روزپرواز می‌توانند در شب به‌واسطهٔ منبع نور جذب شوند. اما به‌دلیل شدت نور خورشید منبع نور مصنوعی برای کنترل آفت در روز اثر کمی دارد یا اصلاً موثر نخواهد بود. یکی از روش‌های شناخته شده برای به‌دام‌انداختن آفات روزپرواز، استفاده از اشیای رنگی مانند تشت‌های زرد رنگ یا کارت‌های چسبنده زرد است. حشرات برای زنده ماندن به گرده و شهد گیاهان نیاز دارند و گل‌های زرد اغلب مقدار زیادی از هر دو را فراهم می‌کنند. به‌همین دلیل برخی حشرات جذب رنگ زرد می‌شوند. در تله‌های زرد از این جذابیت

استفاده می‌کند. در شکل ۱۰ یک تله تشت زرد برای پیش‌بینی زمان ظهور شته‌ها آورده شده است (اِسکر[1] و همکاران، ۲۰۰۴؛ ماینالی[2] و لیم[3]، ۲۰۱۰)

شکل ۱۰- تله تشت زرد برای پیش‌بینی زمان ظهور شته (جنسن[4]، ۲۰۲۱)

حشراتی که جلب این اشیای رنگی می‌شوند، شامل آفات مهمی چون زنجره‌ها، شته‌ها، سفید بالک، تریپس و مگس مینوز هستند. در سال‌های اخیر کارت‌ها یا نوارهای چسبان زرد به‌عنوان ابزار مهمی برای کنترل آفات شناخته شده‌اند (ارده و رضابیگی، ۱۴۰۰). تله‌های چسبنده از پلاستیک یا مقوا ساخته و با لایه‌ای از چسب پوشانده می‌شوند. برخی از این تله‌ها حاوی فرومون‌های جنسی هستند تا اثربخشی بیشتری داشته باشند (اِسکر و همکاران، ۲۰۰۴؛ ماینالی و لیم، ۲۰۱۰). در شکل‌های ۱۱ و ۱۲به ترتیب استفاده ازکارت‌ها و نوارهای چسبندۀ زرد برای کنترل آفات در گلخانۀ پرورش گوجه‌فرنگی نشان داده شده است.

1- Esker
2- Mainali
۳- Lim
۴- Jensen

شکل ۱۱- کارت‌های چسبندهٔ زرد برای کنترل آفات در گلخانهٔ پرورش گوجه‌فرنگی (تصویر از نگارندگان)

شکل ۱۲- نوارهای چسبندهٔ زرد برای کنترل آفات در یک گلخانه پرورش گوجه-فرنگی (تصویر از نگارندگان)

کنترل فعالیت شب‌پره‌ها با نور زرد

با روشن کردن لامپ‌های فلورسنت زرد در شب می‌توان از آسیب پروانه‌های میوه‌خوار به باغ جلوگیری کرد. این رویکرد کنترل مبتنی بر این واقعیت است که چشم‌های مرکب پروانه‌ها هنگام مواجه شدن آن‌ها با نوری بیشتر از یک نور مشخص، تطابقی مانند شرایط

نور روز دارند (یاس[1] و همکاران، ۲۰۰۴). چگونگی تطابق نوری چشم مرکب کرم بالغ غوزهٔ پنبه نسبت به نور زرد و تاریکی در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

(الف) **(ب)**

شکل ۱۳- چشم مرکب یک شب‌پره (کرم غوزه پنبه) تطابق یافته در تاریکی (الف) و تطابق یافته در نور زرد (ب) (یاس و همکاران، ۲۰۰٤)

تطابق با نور، رفتارهایی چون پرواز و جفت‌گیری و مکیدن آب‌میوه را در شب متوقف می‌کند. از تکنیک توقف رفتارهای شب‌پره با نور فلورسنت زرد برای جلوگیری از خسارت‌های ناشی از کرم غوزهٔ پنبه، کرم برگ‌خوار پنبه و کرم ساقه‌خوار کلم نیز استفاده شده است.

در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ دو گلخانهٔ مجهز به لامپ‌های فلورسنت زرد برای کنترل آفات به‌ترتیب برای گل‌های میخک و داودی نشان داده شده است.

به‌تازگی چراغ‌های فلورسنت سبز نیز برای کنترل شب‌پره‌ها توسعه یافته است. این لامپ‌ها نیز مانند نور فلورسنت زرد می‌توانند رفتارهای بسیاری از گونه‌های شب‌پره‌ها را متوقف کنند؛ نور سبز، در مقایسه با نور زرد، تأثیر اندکی نیز بر رشد گیاه دارد. اخیراً به‌دلیل

1- Yase

قیمت کم لامپ‌های LED، از این لامپ‌ها نیز برای کنترل رفتار شب‌پره‌ها استفاده شده است (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۰؛ فراسر[۱] و همکاران، ۲۰۲۰). لامپ‌های LED می‌توانند نورهای تک‌رنگ را با محدودهٔ باریک طول موج در دامنهٔ امواج UV تا قرمز تولید کنند. این ویژگی نوری لامپ‌های LED مزیتی برای کنترل رفتار آفت‌هاست و در آینده‌ای نزدیک کاربرد عملی زیادی خواهد داشت (یاداما[۲]، ۲۰۰۶؛ عبدالوهاب[۳]، ۲۰۱۸؛ استوکنبرگ[۴] و همکاران، ۲۰۱۵).

با توجه به اینکه گیاهان نیز پاسخ‌های متنوعی به کمیت، کیفیت، جهت و مدت زمان نشانه‌های منابع نور در محیط خود می‌دهند، توصیه می‌شود پیش از به‌کارگیری منابع نور به منظور کنترل آفات، تاثیر آنها بر فیزیولوژی و رشد گیاهان مورد نظر بررسی شود تا در کنترل آفات، اثر نامطلوب بر عملکرد کمی و کیفی محصول نداشته باشند (جمشیدی، ۱۳۹۸).

شکل ١٤- گلخانهٔ مجهز به لامپ‌های فلورسنت زرد برای کنترل آفات در گل میخک (شیمودا و هوندا، ۲۰۱۳)

۱- Fraser
۲- Yamada
۳- Abd El-Wahab
۴- Stukenberg

شکل ۱۵- گلخانهٔ مجهز به لامپ‌های فلورسنت زرد برای کنترل آفات در گل داودی (شیمودا و هوندا، ۲۰۱۳)

کنترل آفات با پوشش‌های پلاستیکی محافظ UV

پلی‌اتیلن خالص معمولاً با تعدادی از افزودنی‌ها اصلاح می‌شود تا کاربرد آن به‌عنوان پوشش در محیط‌های کنترل شدهٔ کشاورزی، به‌ویژه گلخانه، هوشمندانه‌تر باشد. هنگامی‌که امواج فرابنفش خورشید به‌صورت کامل یا بخشی از آن بر اثر پوشش گلخانه جذب (مسدود) شوند، این پوشش به‌عنوان مسدود کننده یا جاذب UV شناخته می‌شود. افزودنی جاذب UV اغلب به‌منظور افزایش طول عمر پلاستیک و حفظ کیفیت گذر نور در ناحیهٔ تشعشع فعال فتوسنتزی با افزایش طول عمر گلخانه است. پوشش‌های استاندارد گلخانه به‌طور معمول بخشی از امواج UV را مسدود می‌کنند که اغلب در طول موج کمتر از ۳۶۰ نانومتر قرار دارند، در حالی که استفاده از افزودنی‌های مسدود کنندهٔ UV باعث انسداد امواج UV در بالاتر از این طول موج می‌شوند. چشم حشرات شدیداً به امواج UV حساس است و بینایی آنها در محدودهٔ UV برای جهت‌گیری بسیاری از گونه‌ها بسیار مهم است. استفاده از فیلم‌های پلاستیکی داری مسدود کنندهٔ UV که انتشار امواج UVA و بخشی از امواج UVB (۴۰۰-۳۰۰ نانومتر) را متوقف می‌کنند، در جلوگیری از ورود انواع آفات به داخل گلخانه مؤثر شناخته

شده است (آزادشهرکی و همکاران، ۱۴۰۰؛ آنتیگوس، ۲۰۰۰). فرض بر این است که گلخانه-های پوشیده شده با پلاستیک‌های مسدود کنندهٔ UV برای این حشرات تاریک به‌نظر می‌رسد.

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که آلودگی به شته، سفید بالک و تریپس در گلخانه‌هایی که در آنها از پوشش‌های پلاستیکی مسدود کننده UV با طول موج کمتر از ۳۸۰ نانومتر استفاده شده است، نسبت به پلاستیک‌های مسدود کنندهٔ امواج زیر ۳۶۰ نانومتر، کمتر است (راویو[1] و آنتیگوس[2]، ۲۰۰۴؛ کاستا[3] و همکاران، ۲۰۰۳). بررسی‌ها همچنین نشان می‌دهد که عملکرد نوارها یا کارت‌های چسبنده در به تله‌انداختن آفات نیز هنگام انسداد طول موج‌های بالاتر UV افزایش می‌یابد. تغییر الگوی پرواز و جهت‌یابی حشرات از شناخته‌شده‌ترین فرضیات کاهش جمعیت حشرات از طریق تغییر شدت امواج UV است. در گلخانه‌های احداث شده در مناطقی که به صورت طبیعی تهویه می‌شوند یا درگلخانه‌های کنار باز ممکن است استفاده از این روش کنترل مفید نباشد. در گلخانه‌هایی که از این روش برای کاهش جمعیت آفت استفاده می‌شود، سطح پوشیده شدهٔ گلخانه توسط پوشش مسدود کنندهٔ UV (به‌ویژه مسدود کننده‌های طول موج‌های بالاتر) بر میزان کنترل آفت مؤثر است، زیرا جهت‌یابی حشرات بر اثر نفوذ امواج UV نور خورشید داخل گلخانه تحت تأثیر قرار می‌گیرد و امکان نفوذ آفت با باد به داخل سازه وجود خواهد داشت. اثر بخشی استفاده از پلاستیک‌های مسدود کنندهٔ UV به‌عنوان روشی برای کنترل آفات، بسته به نوع آفت، میزان شیوع آن و نوع سازهٔ گلخانه متفاوت خواهد بود. اثر پوشش‌های مسدود کنندهٔ UV با قابلیت مسدود کنندگی در دامنهٔ طول موج‌های بالا بر آفات، در سازه های کاملا بسته افزایش می‌یابد (آنتیگوس و همکاران، ۲۰۰۱؛ کاستا و همکاران، ۲۰۰۳).

در محیط‌های پوشیده شده با پلاستیک‌های محافظ UV، زنبور عسل که نقش مهمی در گرده‌افشانی محصول دارد نیز غیرفعال می‌شود. بنابراین، هنگام نیاز به حشرات گرده‌افشان

1- Raviv
2- Antignus
3- Costa

در گلخانه باید به این موضوع توجه شود (آزادشهرکی و همکاران، ۱۴۰۰). در شکل ۱۶، یک گلخانه پوشیده شده با پلاستیک جاذب UV نشان داده شده است.

شکل ١٦- گلخانهٔ پوشیده شده با پلاستیک جاذب UV (آزادشهرکی و همکاران، ١٤٠٠)

کنترل آفات با خاک‌پوش‌های پلاستیکی بازتابی

مالچ‌های پلاستیکی که با فلزهای نقره‌ای رنگ بازتاب کنندهٔ نور خورشید پوشیده شده-اند قابلیت بالایی در دفع حشرات از خود نشان داده‌اند و استفاده از خاک‌پوش‌های پلاستیکی برای توقف ورود حشرات در کشت‌های فضای باز روشی شناخته شده است ولی مکانیزم کامل کنترل هجوم حشرات بر اثر بازتاب نور چندان مشخص نیست (چاکرابورتی[1]، ۲۰۱۸).

مالچ‌های نقره‌ای نور خورشید را به طرف پایین کانوپی گیاه هدایت می‌کنند و بدین ترتیب میزان فتوسنتز گیاه را نیز افزایش می‌دهند. سطح بازتاب کنندهٔ مالچ نقره‌ای شدت نور بیشتری را ایجاد می‌کند و بدین ترتیب سفید بالک، شته، تریپس و دیگر آفات ساکن در برگ‌های پایین را دفع می‌کند. این حشرات به‌طور کلی در قسمت تاریک زیر برگ‌ها پناه می‌گیرند. انعکاس نور خورشید از مالچ، سطح زیرین برگ‌ها را روشن می‌کند و بر نورگرایی

1- Chakraborty

حشرات تأثیر می‌گذلرد و چرخهٔ زندگی و دیگر پاسخ‌های فیزیولوژیکی آنها را به نور مختل می‌کند و بنابراین حشرات از سطوح پایین برگ دفع می‌شوند (چاکرابورتی، ۲۰۱۸). در حشرات دارای واکنش نور پشتی، با توجه به اینکه هنگام پرواز جهت حرکت خود را به‌واسطهٔ نور تابیده شده از خورشید به پشت خود تنظیم می‌کنند، این امکان وجود دارد هنگام دریافت نور از سمت زمین، قادر به ادامه پرواز نرمال خود نشوند. به عبارت دیگر، هنگام پوشاندن زمین با خاک‌پوش‌های پلاستیکی بازتاب‌کنندهٔ شدید نور، بازتاب نور از سمت زمین جهت پرواز طبیعی حشره را مختل می‌کند (اوهتا[۱] و کیتامورا[۲]، ۲۰۰۶؛ نوِن[۳] و همکاران ۲۰۰۹). استفاده از مالچ‌های بازتاب کنندهٔ نور می‌توانند به کنترل علف هرز و کاهش مصرف آب نیز کمک کند. استفاده از این مالچ‌ها با ایجاد یک مانع فیزیکی در مقابل آفات زمینی می‌توانند در کنترل جمعیت این آفات نیز نقش داشته باشند. شکل ۱۷ یک مزرعه سویا را نشان می‌دهد که با خاک‌پوش نقره‌ای پوشیده شده است.

شکل ۱۷- مزرعه سویای پوشیده شده با خاک‌پوش نقره‌ای برای کنترل آفات (شیمودا و هوندا، ۲۰۱۳)

۱- Ohta

۲- Kitamura

۳- Nguyen

تأثیر نور بازتاب شده از سطوح نقره‌ای رنگ بر کنترل حشرات باعث شده است تا در توری‌های رنگی که اخیراً برای محافظت محصولات کشاورزی در برابر تنش‌های محیطی غیر زنده (مانند آفتاب‌سوختگی، تگرگ، سرمازدگی) و زنده (مانند آفات و پرندگان) استفاده می‌شود، توری‌های رنگ نقره‌ای نیز به‌کاربرده شود. توری‌های خاکستری نقره‌ای (شکل ۱۸) علاوه بر جلوگیری از ورود آفات به محیط کشت در دفع آنها نیز مؤثرند و آفاتی مانند شته را بهتر کنترل می‌کنند.

شکل ۱۸- توری نقره‌ای برای کنترل آفات (شیمودا و هوندا، ۲۰۱۳)

توصیه‌های کاربردی برای افزایش کارآیی استفاده از تله‌های نوری

- تله‌های دارای صفحه‌های چسبناک (کارت‌ها و نوارهای چسبنده) که حشره را به‌طور کامل شکار می‌کنند، نسبت به ابزاری که حشره را به‌طور مثال با تخلیهٔ الکتریکی منفجر می‌کنند، برای پایش شیوع آفت مناسب‌تر هستند. زیرا با استفاده از این ابزار، امکان شناسایی آفت و تخمین جمعیت آن آسان‌تر است.

– توصیه می‌شود در کشت محصولات دارای بوته بلند مانند خیار، گوجه‌فرنگی و فلفل، کارت‌ها و نوارهای چسبندهٔ زرد درست در بالای گیاه قرار گیرند و در حین رشد گیاهان تنظیم شوند.

– برای گیاهان با کانوپی کم توصیه می‌شود که تله‌های چسبان با سیم یا هر نوع ابزار پشتیبانی دیگر، حداکثر ۳۰ سانتی‌متر بالای گیاه نصب شود.

– تراکم تله‌ها در مناطقی مانند درهای ورودی و منافذ و دریچه‌های تهویه، که احتمال حملهٔ آفات بیشتر است، بیشتر در نظر گرفته شود.

– زمانی که تعداد قابل توجهی از حشرات در تله گرفتار شدند، تله باید تعویض شوند.

– برای به‌دام انداختن حشرات در روز (به‌ویژه برای حشراتی مانند سفید بالک و مگس مینوز)، حداکثر فاصلهٔ نصب کارت‌های چسبندهٔ زرد از یکدیگر باید حد اکثر ۷ متر باشد.– پیش از انتخاب منابع نوری به عنوان تله، توصیه می‌شود اثر نور منبع بر فیزیولوژی گیاه یا محصولِ مورد نظر بررسی شود و طیف نوری مناسبی انتخاب شود که ضمن تاثیر بر فعالیت حشرات، محدودیتی در رشد گیاه ایجاد نکند.

برای استفاده از منابع نوری به عنوان تله، شرایط نوری محیط بر کارآیی تله مؤثر است. در صورت مناسب بودن منبع نور تله و نبود نور محیطی دیگر، حشره یا آفت شب‌پرواز در فاصله بیشتر جذب تله خواهد شد. معمولاً اغلب حشرات در فاصله بیشتر از ۳۰ متر جذب منبع نور نمی‌شوند.

– لامپ‌های تله‌های الکتریکی پس از کارکردن به‌مدت معین، کارآیی خود را از دست می‌دهند و بدین ترتیب لامپ تله باید برابر توصیه سازنده تعویض شود حتی اگر به‌نظر برسد با تمام قدرت کار می‌کند.

– توصیه می‌شود تاریخ تعویض لامپ تله الکتریکی با استفاده از یک برچسب در پایین تله چسبانده شود.

– سیم‌ها و اتصالات الکتریکی معیوب، عایق‌بندی‌های شکسته شده و مشکلاتی از این قبیل در تله‌های الکتریکی از موارد معمول هستند و نیاز به رفع دارند.

– شبکهٔ خارجی تلهٔ الکتریکی باید تمیز باشد و پس از بررسی دوره‌ای آن، با مادهٔ شوینده و آب گرم تمیز و پس از آن خشک شود.

خلاصه و جمع‌بندی

در مدیریت تلفیقی آفات، استفاده از واکنش آفات نسبت به نور می‌تواند به‌عنوان روش-های جایگزین یا مکمل روش‌های شیمیایی استفاده شود. واکنش‌های آفات گیاهی به نور به عوامل مختلفی مانند شدت و طول موج نور، ترکیب طول موج‌های مختلف، مدت زمان قرارگیری آفت در معرض نور، کنتراست نور، برهمکنش نور با رنگ محیط، نوع منبع نور و مواد به کار رفته در آن بستگی دارد. با توجه به اینکه گیاهان نیز پاسخ‌های متنوعی به کمیت، کیفیت، جهت و مدت زمان نشانه‌های نور در محیط خود می‌دهند، توصیه می‌شود پیش از کاربرد منابع نور به منظور کنترل آفات، تاثیر آنها بر رشد و نمو گیاه بررسی شود. در این نوشتار برای آگاهی بیشتر کارشناسان گیاه‌پزشکی و کارشناسان فنی تولید در گلخانه‌ها، ضمن بیان مبانی کنترل نوری آفات به عنوان یک فناوری موثر و سازگار با محیط‌زیست، روش‌ها و فناوری‌های کاربردی موجود در این زمینه معرفی و مزایای استفاده از آنها با هدف کمک به مدیریت و کنترل آفات بیان شد که امید است مورد توجه بهره‌برداران قرار گیرد.

منابع

آزادشهرکی، ف.، جوادی‌مقدم، ج. و زارعی، ق. ۱۴۰۰. شناخت و شرایط کاربرد پوشش‌های گلخانه‌ای. دستنامه فنی، شماره ثبت: ۵۹۸۰۳، انتشارات مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. ۷۰ ص.

ارده، م. ج. و رضابیگی، م. ۱۴۰۰. استفاده از تله‌های نوری در مدیریت آفات گلخانه. مجله ترویجی سبزیجات گلخانه‌ای. جلد ۴، شماره ۱. صفحات ۱۵–۱۱.

جمشیدی، ب. ۱۳۹۸. نقش طیف‌سنجی به عنوان یک فناوری غیرمخرب اپتیکی در توسعه کشاورزی هوشمند. فناوری آزمون‌های غیرمخرب. دوره ۲، شماره ۵. صفحات ۹۲–۸۳.

کریمی، ک.، شریفی، ک. و شیخی، ع. ۱۳۹۹. موازین و اصول بهداشت گیاهی و نحوه کنترل آفات در گلخانه‌ها. دستورالعمل شماره ۹۹۰۸۱۰۳، انتشارات سازمان حفظ نباتات کشور.

کریمی، ک. و شریفی، ک. ۱۳۹۹. دستورالعمل اجرایی مدیریت تلفیقی بیماری‌های محصولات سبزی و جالیز در گلخانه. دستورالعمل شماره ۹۹۱۲۱۱، انتشارات سازمان حفظ نباتات کشور.

Abd El-Wahab, R. A. 2018. Drone with embedded light emitting diodes (leds) against insects and mites in greenhouses. Current Trends in Natural Sciences. 7(14), 236-244.

Antignus, Y. 2000. Manipulation of wavelength-dependent behaviour of insects: An IPM tool to impede insects and restrict epidemics of insect-borne viruses. Virus Res. 7:213–220.

Antignus, Y., Nestel, D., Cohen, S., & Lapidot, M. 2001. Ultraviolet-deficient greenhouse environment affects whitefly attraction and flight-behavior. Environmental Entomology, 30(2), 394-399.

Aoki, S., & Kuramitsu, O. 2007. Development of insect-attracting lighting fixture and evaluation of insect attractiveness by a new index. J Illum Engng Inst Jpn, 91, 195-198.

Chakraborty, S. 2018. Physical Methods of Pest Control in Stevia Farming. https://www.steviashantanu.com/physical-methods-of-stevia-pest-control.

Costa, H. S., Newman, J., & Robb, K. L. (2003). Ultraviolet-blocking greenhouse plastic films for management of insect pests. HortScience, 38(3), 465-465.

Cowan, T., & Gries, G. 2009. Ultraviolet and violet light: attractive orientation cues for the Indian meal moth, *Plodia interpunctella*. Entomologia Experimentalis et Applicata, 131(2), 148-158.

Esker, P. D., Obrycki, J., & Nutter Jr, F. W. 2004. Trap height and orientation of yellow sticky traps affect capture of *Chaetocnema pulicaria* (Coleoptera: Chrysomelidae). Journal of Economic Entomology, 97(1), 145-149.

Fraser, J. L., Abram, P. K., & Dorais, M. (2023). Supplemental LED lighting improves plant growth without affecting biological control in a tri-trophic greenhouse system. bioRxiv, 2023-04.

Jensen, A. 2021. AphidTrek, Aphid travels and research. https://aphidtrek.org/?page_id=1295.

Harris, T. 2021. How Black Lights Work. https://science.howstuffworks.com/innovation/everyday-innovations/black-light.htm.

Kinoshita, M., & Arikawa, K. 2000. Colour constancy of the swallowtail butterfly *Papilio xuthus*. Journal of Experimental Biology, 203(23), 3521-3530.

Koshitaka, H., Kinoshita, M., Vorobyev, M., & Arikawa, K. 2008. Tetrachromacy in a butterfly that has eight varieties of spectral

receptors. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 275(1637), 947-954.

Kim, M. G., Yang, J. Y., & Lee, H. S. 2013. Phototactic behavior: Repellent effects of cigarette beetle, *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae), to light-emitting diodes. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 56, 331-333.

Peitsch, D., Fietz, A., Hertel, H., de Souza, J., Ventura, D. F., & Menzel, R. 1992. The spectral input systems of hymenopteran insects and their receptor-based colour vision. Journal of Comparative Physiology A, 170, 23-40.

Land, M. F., Nilsson, D. E. 2002 Animal eyes. Oxford University Press, Oxford, p 271.

Legarrea, S., Karnieli, A., Fereres, A., & Weintraub, P. G. 2010. Comparison of UV-absorbing nets in pepper crops: Spectral Properties, effects on plants and pest control. Photochemistry and Photobiology, 86(2), 324-330.

Mainali, B. P., & Lim, U. T. 2010. Circular yellow sticky trap with black background enhances attraction of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). Applied Entomology and Zoology, 45(1), 207-213.

Makama, J. D., Emmanuel, A., Daniel, T. O., & Salaudeen, I. T. 2016. Design and Construction of a Tripler Circuit for a Mosquito Zapper. American Journal of Engineering Research (AJER), 5(8), 256-260.

Nowinszky, L. 2023. The Past, Present and Future of Light Trapping of Insects. JSM Environ Sci Ecol. 11(1): 1085

Meyer-Rochow, V. B., Kashiwagi, T., & Eguchi, E. 2002. Selective photoreceptor damage in four species of insects induced by experimental exposures to UV-irradiation. Micron, 33(1), 23-31.

Nguyen, T. H. N., Borgemeister, C., Max, J., & Poehling, H. M. 2009. Manipulation of ultraviolet light affects immigration behavior of *Ceratothripoides claratris* (Thysanoptera: Thripidae). Journal of Economic Entomology, 102(4), 1559-1566.

Ohta, I., & Kitamura, T. 2006. Insect pest control by ultraviolet-absorbing plastic films for greenhouse crops. Crop Prod Plast Film, 232, 3-8.

Raviv, M., & Antignus, Y. 2004. UV radiation effects on pathogens and insect pests of greenhouse-grown crops. Photochemistry and Photobiology, 79(3), 219-226.

Saunders, D. S. (2012). Insect photoperiodism: seeing the light. Physiological Entomology, 37(3), 207-218.

Shimoda, M. 2018. Recent advances in the optical control of insect pests using light and color. In Proceedings of the 2018 International Symposium on Proactive Technologies for Enhancement of Integrated Pest Management of Key Crops.

Shimoda, M., & Honda, K. I. 2013. Insect reactions to light and its applications to pest management. Applied Entomology and Zoology, 48, 413-421.

Shimoda, M., & Kiguchi, K. 1995. The sweet potato hornworm, Agrius convolvuli, as a new experimental insect: behavior of adult moths in a rearing cage. Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology, 39(4), 321-328.

Stukenberg, N., Gebauer, K., & Poehling, H. M. 2015. Light emitting diode (LED)-based trapping of the greenhouse whitefly (T rialeurodes vaporariorum). Journal of Applied Entomology, 139(4), 268-279.

Yang, E. C., Lee, D. W., & Wu, W. Y. 2003. Action spectra of phototactic responses of the flea beetle, *Phyllotreta striolata*. Physiological entomology, 28(4), 362-368.

Yamada, M. 2006. Insect control lighting for reduced and insecticide-free agriculture. Matsushita Electr. Works Tech. Rep., 53, 30-35.

Yase, J., Nagaoka, O., Futai, K., Izumida, T., & Kosaka, S. 2004. Control of cabbage webworm, *Hellula undalis* Fabricius (Lepidoptera: Pyralidae) using yellow fluorescent lamps. Applied Entomology and Zoology, 46, 29-37.

Zhang, J., Li, H., Liu, M., Zhang, H., Sun, H., Wang, H. & Qin, Q. 2020. A greenhouse test to explore and evaluate light-emitting diode (LED) insect traps in the monitoring and control of Trialeurodes vaporariorum. Insects, 11(2), 94.

Zhang, C. Y., Meng, J. Y., Wang, X. P., Zhu, F., & Lei, C. L. 2011. Effects of UV-A exposures on longevity and reproduction in *Helicoverpa armigera*, and on the development of its F1 generation. Insect Science, 18(6), 697-702.