مقاله علمی ترویجی

مروری بر امکان دفع حشره مگس سفید با استفاده از تله‌های آکوستیکی

ستار قاسمی گنیرانی
دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک بیوسیستم
دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
sattarghasemigoneyrani@gmail.com

علی ملکی*
دانشیار و عضو هیأت علمی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم،
دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
maleki@sku.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۱۱

چکیده

مگس سفید یکی از آفاتی است که همواره خسارت‌های زیادی را به محصولات کشاورزی وارد کرده، و روش‌های رایج مبارزه با این حشره مبتنی بر استفاده از سموم شیمیایی است. استفاده مکرر از سموم شیمیایی باعث مقاوم شدن حشرات به این دسته از سموم و افزایش هزینه‌های مربوط به دفع این حشره شده است. از طرفی، مشکلات زیست محیطی ناشی از استفاده از سموم شیمیایی و افزایش تقاضا برای تولید محصولات سالم، باعث شده تا محبوبیت روش‌های رایج مبارزه با آفات کاهش یابد و نیاز به روش‌های کم خطر و کم هزینه بیش از پیش احساس شود. از جمله روش‌های جدید می‌توان روش‌های بیولوژیک، نوری، پرتو گاما و آکوستیکی را نام برد. در این مطالعه مروری در ابتدا هر یک از روش‌های مذکور شرح داده شده‌اند، سپس، چگونگی عملکرد، مزایا و معایب هر روش در مقایسه با دیگر روش‌ها مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. نتایج مطالعه منابع حاکی از آن است که روش آکوستیک به دلیل عملکرد مؤثر، هزینه کمتر نسبت به سایر روش‌ها و قابلیت کاربرد مکانیزه، این امکان را فراهم می‌کند که در سطح گسترده‌تری نسبت به سایر روش‌ها بتوان از آن استفاده کرد، بر این اساس و با توجه به اینکه کارایی تله آکوستیکی وابسته به استفاده از اصوات تولید شده هنگام فرایند جفت‌یابی است، امکان ساخت یک تله اکوستیکی با استفاده از اصوات جذاب برای این حشره طبق نتایج حاصل از مطالعات میسر است. همچنین می‌توان به منظور افزایش توان به دام انداختن حشره، از عواملی مثل نور در جهت افزایش جذابیت و بازده تله آکوستیکی استفاده کرد.

واژگان کلیدی: آکوستیک، پایش[1]، تله خودکار ، مگس سفید ، آفت

۱. مقدمه

مگس سفید یکی از مهم‌ترین آفات در کشاورزی به شمار می‌آید. در جهان بیش از ۱۵۰۰ گونه مگس سفید وجود دارد [۱]. دو گونه‌ی عسلک پنبه[2] و مگس سفید گلخانه[3] از این حشره در کشاورزی مشکل ایجاد می‌کنند. عسلک پنبه توانایی هجوم به بیش از ۹۰۰ گیاه میزبان را دارد و بیش از ۱۱۱ نوع ویروس را حمل می‌کند. طول چرخه زندگی مگس سفید در شرایط آزمایشگاهی از تولد تا مرگ حدود ۲۶ روز محاسبه می‌شود و تحت تأثیر تغییرات دما است و

دارای ۶ مرحله‌ی تخم، پوره سن اول، پوره سن دو، پوره سن سه، شفیره و بالغ است [۲].

یک مگس سفید ماده می‌تواند حدود ۳۰۰ تا ۴۰۰ تخم در مدت حدودا ۴ هفته‌ای عمر خود بگذارد. این مگس بر روی برگ گیاهان تولید مثل کرده و با مکیدن شیره گیاه از آن تغذیه می‌کند. مگس‌های سفید از چهار طریق می‌توانند به گیاه آسیب برسانند: تغذیه‌ی مستقیم از شیره گیاه که مانع رسیدن محصول می‌شود، تولید عسلک[۴] که باعث کاهش فتوسنتز و غیرجذاب شدن ظاهر گیاه می‌شود، تزریق زهرابه[۵] به گیاه در حین تغذیه و حمل و انتقال ویروس‌های گیاهی.

مگس سفید هر ساله بیش از ۱ میلیارد دلار خسارت در آمریکا به بار می‌آورد که این میزان شامل خسارت‌های ناشی از افت کیفیت محصول و هزینه‌های دفع آفات هستند [۳]. علاوه‌بر این، افزایش تقاضای مشتریان برای محصولات سالم و لزوم حفاظت از محیط زیست باعث شده تا روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی به‌طور گسترده برای کنترل این حشره به‌کار گرفته شوند. افزایش قیمت آفت‌کش‌ها و افزایش مقاومت حشرات به آفت‌کش‌ها باعث کاهش بازده روش‌های رایج مبارزه با این آفات و افزایش قابل توجه هزینه‌ها شده است، در نتیجه برای تولید محصول سالم، بدون استفاده از مواد شیمیایی در عین حفظ جذابیت و بازارپسندی محصول، نیاز به گسترش روش‌های دیگری برای مبارزه با این آفات است. روش‌های مرسوم مبارزه با این حشره شامل روش‌های شیمیایی، استفاده از تله‌های فرومونی و تله‌های چسبنده هستند. در این بین استفاده از فناوری نشر صوتی و گسترش تله‌های آکوستیکی برای این حشرات، به دلیل دارا بودن قابلیت‌هایی مثل جهت‌یابی[۶]، پایش غیرمخرب، سریع، خودکار و از راه دور، عدم انتشار مواد شیمیایی در محیط و افزایش سلامت غذایی یکی از مناسب‌ترین راه‌ها برای مبارزه با این آفت است [۴]. هدف اصلی این مقاله مروری بر پیشرفت‌های فناوری نشر صوتی در مقابله با مگس سفید به عنوان یکی از زیان‌بارترین آفات محصولات کشاورزی است. در ادامه، انواع روش‌های مقابله با این حشره به اختصار بیان شده است و پس از آن روش‌های مختلف استفاده از صوت و کارایی آن در مقابل حشرات مطالعه شده است.

۲. نقش صوت در فرایند تولید مثل مگس سفید و روش‌های رایج مبارزه

مگس سفید نر همیشه آغازگر فرایند تولید مثل است و سعی در جذب جنس مخالف دارد. نرهای بالغ مگس‌های سفید حرکات مختلفی را حین جفت‌گیری به نمایش می‌گذارند و به وسیله این حرکات سعی در جذب مگس سفید ماده دارند. نرهای بالغ مگس سفید گلخانه در حین فرایند جفت‌یابی فرکانس‌هایی را با حرکات سریع و ریتمیک شکم به بالا و پایین تولید می‌کنند. این ارتعاشات توسط لایه‌های هوا به مگس ماده منتقل می‌شوند. همچنین مگس‌های سفید از ارتعاشات تولید شده برای برقراری ارتباطات روزمره نیز استفاده می‌کنند [۵].

عسلک پنبه دارای دو زیست‌گونه[۷] بی[۸] و کیو[۹] است و هر زیست‌گونه صدای مشخصی که از دیگری متفاوت است هنگام جفت‌گیری تولید می‌کند. شایان ذکر است در این حشرات ارتباط صوتی نقش مهمی در فرایند جفت‌یابی دارد [۶].

این‌طور به‌نظر می‌رسد که صداهای آکوستیکی تولید شده حین فرایند جفت‌یابی تحت کنترل ژنتیکی هستند [۷]. صداهای تولید شده حین فرایند جفت‌یابی مگس سفید ضبط شده و نقش این اصوات مشخص شده است. این صداها عامل جاذب ماده برای فرایند جفت‌یابی هستند و هر زیست‌گونه صداهای خاص خود را تولید می‌کند ولی بین یک زیست‌گونه و زیست‌گونه دیگر، مثلا بی و کیو، هیچ‌گونه دورگه‌ای گزارش نشده است [۶]. این درحالی

است که مگس‌های سفید بعضی از زیست‌گونه‌ها به دیگر زیست‌گونه‌ها جذب می‌شوند اما معمولاً یک جفت‌گیری موفق رخ نمی‌دهد [۸].

در گونه عسلک پنبه که دو زیست‌گونه بی و کیو دارد، مثل دیگر گونه‌ها نوعا نرها به دنبال ماده‌ها برای جفت‌گیری هستند [۹] و فقط ۱۲٪ جفت‌های زیست‌گونه بی که جفت‌یابی را آغاز می‌کنند، موفق به جفت‌گیری می‌شوند [۱۰].

تله‌های گسترش داده شده برای به دام انداختن حشرات بسته به هدف تله‌گذاری، حشره هدف و عادت‌هایی که حشرات دارند متفاوت هستند. گاهی تله‌ها برای ردیابی هجوم حشرات، تخمین مسافت مورد هجوم و یا کنترل سطح مورد هجوم به‌کار می‌روند. عواملی مثل هزینه به ازای هر تله، احتیاج به سرویس کردن مداوم و توانایی بالای تولید مثل حشرات مانع استفاده گسترده از تله‌ها به عنوان یک راه مستقل کنترل آفات می‌شود.

سیستم‌های خودکار پایش، اطلاعات تله را به یک ایستگاه موازی مخابره می‌کنند. تعداد کمی طرح پایه وجود دارد که همه تله‌ها را می‌توان بر اساس این طرح‌ها ساخت. برای حشراتی که پرواز می‌کنند طرح‌های کلی به قرار زیر هستند:

۱. تله‌های بازدارنده[۱۰] که به‌طور گسترده در مطالعات اکولوژیک به‌کار می‌روند.
۲. تله‌های چسبناک[۱۱] رایج‌ترین نوع تله‌ها در مطالعات کشاورزی هستند.
۳. تله‌های مثلثی سه بعدی[۱۲] تله‌هایی ارزان به همراه یک عامل جذاب برای حشرات هستند.
۴. تله‌های مملو از آب[۱۳] که حشرات پروازی نزدیک سطح فوقانی آن به سطح آب جذب می‌شوند.
۵. تله‌های سطلی[۱۴]
۶. تله‌های سطلی به همراه قیف
۷. تله‌های مخروطی[۱۵]تله‌هایی سطلی به همراه قیف هستند، که در آنها اندازه قیف نسبت به سطل بسیار بزرگ است.

در این تله‌ها انواع عوامل جذاب برای حشرات را می‌توان استفاده کرد. مثل جذابیت‌های بصری که شامل رنگ، شکل و نور هستند. یا جذابیت‌های شیمیایی مثل غذا یا بوی میزبان (فرومون). همچنین عوامل جذاب آکوستیکی نیز در تله ها قابل استفاده هستند [۱۱].

با توجه به آسیب‌هایی که مگس سفید با انتقال ویروس‌های گیاهی و ایجاد بیماری به گیاهان مختلف وارد می‌کند، باعث کاهش تولید محصولات غذایی می‌شود و لازم است تا جهت جلوگیری از این‌گونه خسارات با این حشره مقابله شود. روش‌های متداول مبارزه با مگس سفید بیشتر مبتنی بر استفاده از سموم شیمیایی هستند ولی فعالیت‌هایی در زمینه مبارزه بیولوژیک (استفاده از دیگر حشرات و گیاهان)، استفاده از اشعه فرابنفش (برای جذب حشرات به سمت تله‌ها)، استفاده از پرتو گاما (ایجاد ناباروری) و آکوستیک (برای جذب حشره به سمت تله) انجام شده است.

۳. روش‌های مقابله با مگس سفید

۳-۱. روش‌های بیولوژیک

در این روش از دیگر حشرات و گیاهان برای نابودی حشره آفت استفاده می‌شود، ولی همه آفات به‌طور کامل نابود نمی‌شوند و باید بسته به گونه مگس سفید و شرایط نگهداری آن بهترین دشمن طبیعی توسط متخصصین مشخص شود [۲]. در این روش از حشرات شکارگر[۱۶]، انگل‌واره[۱۷] و بیماری‌زا برای کنترل آفت استفاده می‌شود [۴] که عوامل محیطی بر جستجو توسط حشرات شکارکننده و بازده شکار آنها مؤثر هستند [۱۲]. همچنین امکان استفاده از بعضی گیاهان حشره‌خوار مثل باسیانا ام ۱۳۰[۱۸]برای مقابله با مگس سفید وجود دارد [۱۳]. افزایش

مقاومت گیاه میزبان به هجوم آفت یکی از دیگر راه‌های مقابله با آفات به صورت بیولوژیکی است [۱۴].

۳-۲. روش‌های شیمیایی

سموم مختلف مورد استفاده برای دفع آفات بسته به نوع گیاه میزبان، روش آسیب به حشره و بازده متفاوت هستند [۲]. مزایای کنترل شیمیایی عبارتند از: حفاظت کافی از محصولات، روش‌های به‌کارگیری ساده و قابلیت اعتماد کافی. معایب آن عبارتند از: خطر برای انسان و محیط زیست و افزایش مقاومت به سموم توسط حشرات. مقاومت به سموم هنگامی ایجاد می‌شود که به‌طور مداوم از سمومی با روش آسیب یکسان (به عنوان مثال استفاده از سمومی که صرفا دستگاه گوارش حشره را مختل می‌کنند) استفاده شود. به منظور جلوگیری از این مسأله بهتر است تا از سمومی با عملکرد متفاوت استفاده شود [۱۲].

مقاومت زیست‌گونه‌های مختلف مگس سفید در برابر آفت‌کش‌های شیمیایی با یکدیگر متفاوت است [۶]. از طرفی تقاضا برای تولید محصولات ارگانیک افزایش یافته [۱۵]، پس بهتر است تا از روش‌های مبارزه غیرشیمیایی در مقابل آفات استفاده شود.

۳-۳. استفاده از نور

عسلک پنبه در محدوده طول موج دو نور فرابنفش و زرد واکنش نشان می‌دهد که نور زرد باعث انتخاب گیاه میزبان و نور فرابنفش باعث حرکت به سمت آن می‌شود [۱۶]. مگس سفید گلخانه نیز همه اشیاء در محدوده بازتاب نور سبز-زرد (۵۰۰-۶۰۰ نانومتر[۱۹]) و بازتاب کم در محدوده بنفش-آبی (۴۰۰-۵۰۰ نانومتر) را به عنوان گیاه میزبان درنظر می‌گیرد [۱۷]. براساس نتایج تحقیقات، موج با طول ۴۰۰ نانومتر باعث جذب سریع‌تر و تعداد بیشتر مگس سفید به سمت منبع نور می‌شود [۱۸] و بخشی از طول موج‌های بین ۴۰۰ تا ۴۹۰ نانومتر مانع فرود مگس سفید گلخانه بر روی گیاه می‌شود [۱۹].

می‌توان از نورهایی که برای مگس سفید جذاب هستند (محرک‌های بصری) به منظور جذب مگس سفید به تله‌ها استفاده کرد و به‌طورکلی راه‌کارهایی مثل استفاده از محرک‌های بصری جذاب، محرک‌های بصری مخل در تشخیص گیاه و پرتوافکنی با طول موج‌های آسیب‌زا یا کشنده، برای استفاده از نور در مقابل آفات مطرح هستند [۲۰]. با استفاده از این راه‌کارها سعی در گسترش یک تله برای به دام انداختن مگس سفید با استفاده از نور زرد و فرابنفش شد. نتایج نشان می‌دهد که نور فرابنفش با شدت بالا باعث جذب بیشتر مگس‌های سفید می‌شود [۲۱].

۳-٤. پرتو گاما

پرتوافکنی یک عملیات پس از برداشت است که استفاده از آن در سراسر دنیا در حال گسترش است. از اشعه گاما تولید شده توسط پرتوافکنی ایزوتروپ کبالت-۶۰[۲۰] با چهار شدت[۲۱] ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ گری[۲۲] برای مشخص کردن اثرات آن روی تخم‌های حشره، پوره سن دو و شفیره مگس سفید گلخانه استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که تاباندن پرتو گاما با شدت ۱۰۸ گری می‌تواند باعث از دست دادن توانایی تولید مثل آنها شود و در عملیات قرنطینه کردن به‌کار گرفته شود [۲۲]. البته استفاده از این روش به علت هزینه بسیار بالا و فراهم نبودن امکانات برای ایجاد پرتو گاما در همه مناطق مقدور نیست.

۳-۵. روش‌های آکوستیکی

سال‌های زیادی است که فناوری آکوستیک در مطالعه روابط بین حشرات، پایش آنها و به‌دست آوردن توزیع جغرافیایی آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۳]. از دستگاه‌های آکوستیکی به عنوان تله و برای به دام انداختن حشرات نیز استفاده می‌شود. تله‌های آکوستیکی با پخش صوت جذاب برای نر یا ماده یک گونه حشره خاص، آنها را به سمت تله اصلی جذب می‌کند، جذابیت تله‌های

آکوستیکی به رفتار، حالت فیزیولوژیکی، سن حشره هدف و فاکتورهای محیطی دیگر مثل هزینه‌های تولید و نگهداری وابسته است. اثر تله‌گذاری آکوستیکی با قرار دادن موارد جذاب برای حشره مثل نور و فرومون می‌تواند افزایش یابد. اولین استفاده‌ها از صوت برای به دام انداختن حشرات برای حشره پشه انجام شد [۲۴]. همچنین تله‌های آکوستیکی برای به دام انداختن، کشتن حشرات و یا استرلیزه کردن به‌کار می‌روند [۲۵] و از آنها برای جمع‌آوری نمونه‌های زنده برای مطالعات بیولوژیک استفاده می‌شود [۲۶].

روش‌های آکوستیکی برای بررسی جمعیت [۲۷] و توزیع جغرافیایی نیز به‌کار می‌روند [۲۸]. یکی از بزرگترین معایب تجهیزات آکوستیک که برای ردیابی جمعیت حشرات در مجموعه غلات طراحی شده بودند حساسیت کم آنها بود [۲۹] و سیستم‌های آکوستیکی در انبارهای غلات قادر به تشخیص تعداد کم حشرات در غلات نبودند [۳۰]. در قرن اخیر فناوری کامپیوترهای مدرن و پردازش طیف آکوستیک پیشرفت‌های قابل توجه تجهیزات آکوستیکی را فراهم کرد و حساسیت این روش را تحت تأثیر قرار داد. امروزه با استفاده از حسگرهای پیزوالکتریک می‌توان صوت این حشرات را ضبط کرده و با پردازش این صوت توسط کامپیوتر و به‌دست آوردن شکل موج سینوسی آن، شکل موج صوت خاص هرگونه از حشرات که با گونه دیگر متفاوت است را تعیین کرد [۳۱].

تجهیزات آکوستیکی قابلیت پایش غیرمخرب، خودکار و از راه دور را دارند. اثر تجهیزات آکوستیکی در پیدا کردن حشرات، تخمین تراکم جمعیت و به‌دست آوردن توزیع جمعیت بستگی به عوامل زیادی مثل نوع حسگر، دامنه فرکانس، نوع سازه، فاصله‌ی بین حسگر و سازه، اندازه و نوع رفتار حشره و فاصله‌ی بین حشره و حسگر دارد [۲۳]. در مقایسه با دیگر روش‌ها فقط روش آکوستیکی است که پتانسیل خودکار شدن را دارد [۳۲]. عملکرد خودکار باعث کاهش هزینه‌های لازم برای به‌کارگیری نیروی کار و استفاده از سیستم به‌طور پیوسته در همه ساعات شبانه روز می‌شود. علی‌رغم همه‌ی مزایای ذکر شده برای تله‌های خودکار، توسعه این نوع تله‌ها را یک سری عوامل مثل هزینه بالای ساخت، پیچیدگی زیاد، عدم قطعیت فناوری جهت‌یابی خودکار، دانش فنی بالای لازم برای نصب و راه‌اندازی و سرویس آنها محدود کرده است [۳۳].

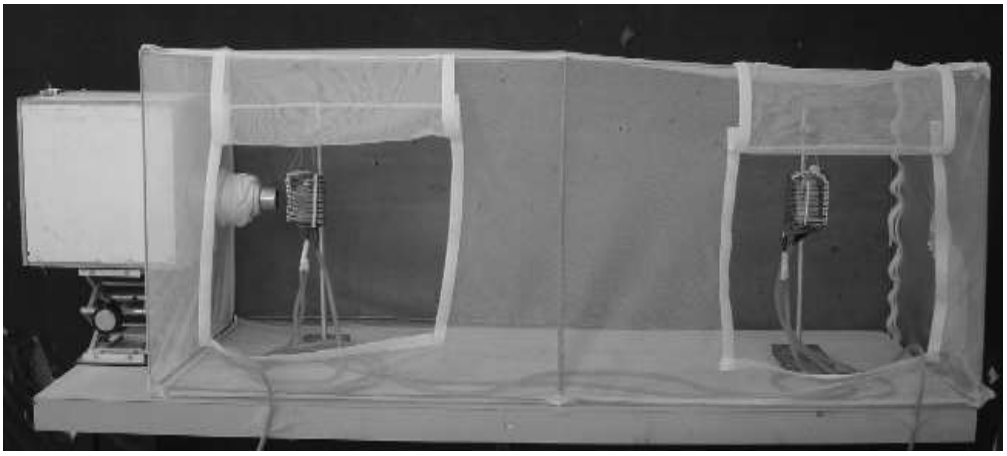
سیگنال‌های آکوستیکی تولید شده حین فرایند جفت‌یابی ویژگی‌های مشخصی از سیستم تشخیص جفت هستند و به‌طور مرتب به عنوان بخشی از فرایند جفت‌یابی مگس‌های سفید، سیگنال‌های صوتی توسط این حشرات تولید می‌شوند. زیرا هرگونه از حشرات با ژن‌های متفاوت صداهای متفاوتی تولید می‌کنند که خاص همان گونه است، این‌طور به‌نظر می‌رسد که ویژگی‌های آکوستیکی تحت کنترل ژنتیکی هستند. با توجه به مطالب ذکر شده برای ایجاد یک تله آکوستیکی برای مگس سفید لازم است تا ابتدا صوت تولید شده توسط این حشره ضبط گردد.

هر ساله بیش از ۸۰۰ میلیون دلار صرف پایش و کنترل مگس مدیترانه‌ای در آمریکا و اسرائیل می‌شود. با استفاده از جذابیت صدای ارتباطی مگس نر برای مگس مدیترانه‌ای ماده یک تله ساخته شد. رفتار تولید مثلی مگس ماده در حضور و غیاب نر مشاهده شد. صدای ارتباطی مگس‌های نر، برای مگس‌های ماده پرورش داده شده و وحشی در دو نوبت صبح و عصر که هنگام اوج فعالیت جنسی آنهاست پخش شد. نتایج این پژوهش نشان داد که مگس‌های ماده به مکان‌های نزدیک بلندگو پخش‌کننده صوت نر بیشتر از مکان‌های بدون صوت جذب می‌شوند که در شکل ۱ قابل مشاهده است. قوی‌ترین اثر را تله‌هایی با سیگنال ۱۵۰ هرتز و شدت صوت ۶۷ دسی‌بل داشتند که باعث جذب ۲۸٪ تعداد ماده بیشتر نسبت به تله‌های بدون صوت شد. این مطالعه نشان می‌دهد که امکان استفاده از صوت برای افزایش جذابیت تله‌ها برای ماده‌هایی که به دنبال جفت هستند وجود دارد [۳۴].

با استفاده از صدایی که از دو زیست‌گونه قبلا ضبط شده بود، یک سیستم تشخیص زیست‌گونه با استفاده از میکروفون برای ضبط صدا و یک کامپیوتر برای پردازش داده‌ها ساخته شد.

به این صورت که از هر کدام از دو زیست‌گونه یک حشره را انتخاب و صدای آن را ضبط کرده و از شکل موج سینوسی این صوت به عنوان مرجعی برای تعیین زیست‌گونه حشرات در دسترس استفاده می‌شد. آزمایشی به مدت ۲۸۰ دقیقه انجام شد و در هر ۵ دقیقه یک زیست‌گونه مشخص شد.

نتایج نشان می‌دهد که تشخیص زیست‌گونه عسلک پنبه با دقت ۹۲٪ انجام شده است [۶].



شکل ۱. تله آکوستیکی ساخته شده توسط میرزاچ و همکاران [۳۴]

سیگنال‌های تولید شده حین فرایند جفت‌یابی مگس سفید برای اولین بار ضبط شد. سیگنال‌ها از مجموعه‌ای از صداهای گسسته تشکیل شده بودند که به هر کدام از آنها یک صدای جیرجیر[۲۳] گفته می‌شود. یک صدای جیرجیر ترکیبی از سری‌های امواج سینوسی بود که به چندین قسمت تقسیم شده و به هر کدام از این قسمت‌ها یک پالس[۲۴] گفته می‌شود. بازه‌های پالس‌ها از ۱۹/۹ تا ۲۵/۸ میلی‌ثانیه تغییر می‌کند. یک صدای جیرجیر از ۱۰ تا ۲۰ پالس تشکیل شده، طول مدت صداهای جیرجیر ۰/۶۲ تا ۱/۴۴ میلی‌ثانیه است و با توجه به تعداد پالس تغییر می‌کند [۵].

پس از بررسی صدای ۳۲ گونه مگس سفید در ژاپن، به این نتیجه رسیدند که از نظر مدت زمان تولید صدا، صداهای تولید شده در دو دسته اصلی قرار می‌گیرند:

۱. واحد صوت تشکیل شده از پالس‌هایی با مدت زمان یکسان.
۲. واحد صوت تشکیل شده از پالس‌هایی با مدت زمان متفاوت.

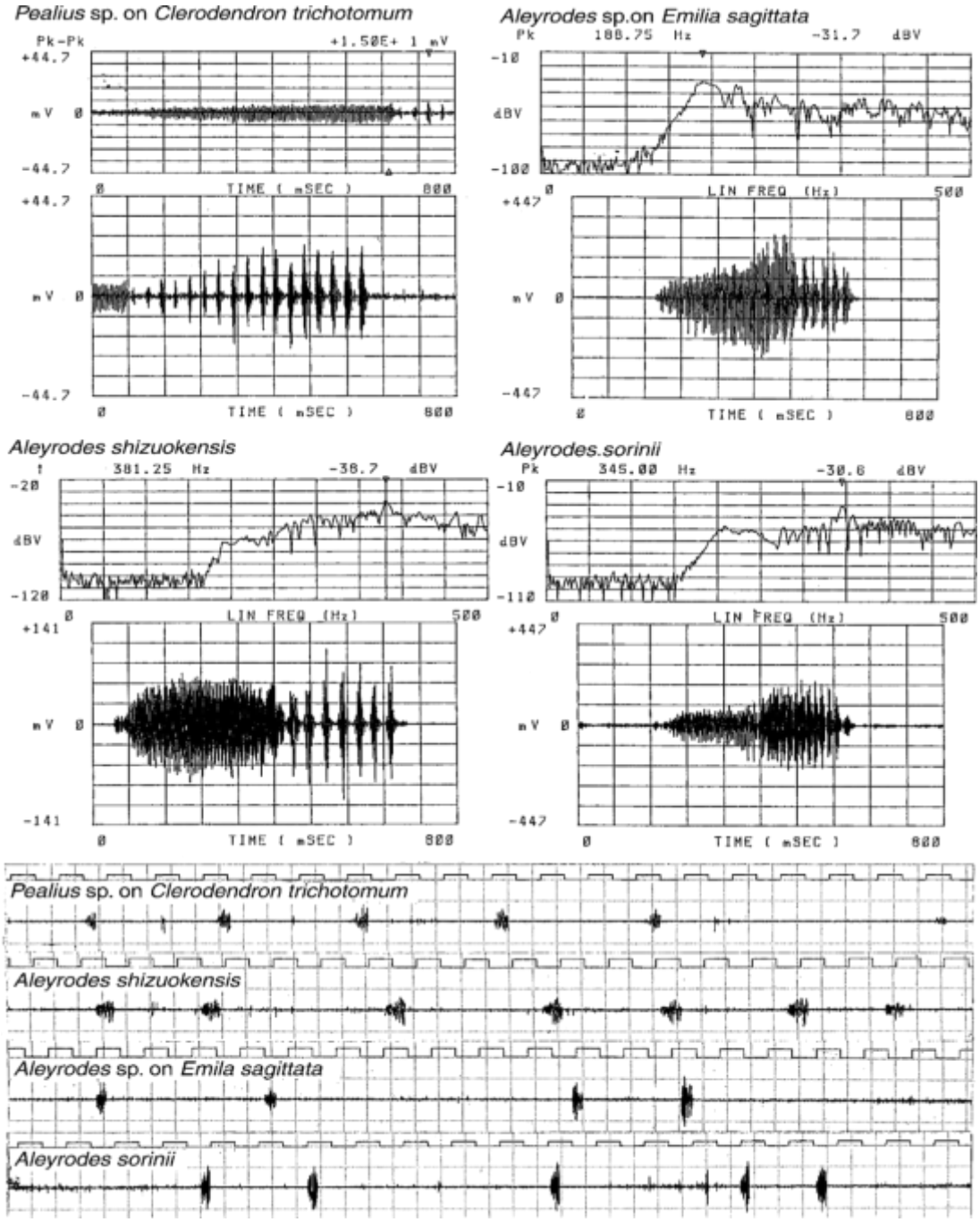
از نظر بازه زمانی نیز صداهای ارتعاشی در دو دسته قرار می‌گیرند:

۱. یک پالس مستقل با بازه‌های درون پالسی طولانی.
۲. مجموعه‌ای از پالس‌های کوتاه با بازه‌های منظم.

لذا براساس ویژگی‌های آکوستیکی دامنه زمانی، صوت ۳۲ گونه مگس سفید ژاپنی در ۸ گروه کلی قرار می‌گیرند. به عنوان مثال، همانند شکل ۲، در گروه هفتم واحد صوت از مجموعه‌ای از پالس‌های متناوب تشکیل شده که از یک شدت صوت اولیه شروع شده و پس از طی بالاترین شدت صوت در نقطه اوج، مجددا از شدت آن کاسته می‌شود. با توجه به این ویژگی، صوت چهار مگس سفید ژاپنی در

گروه هفتم قرار می‌گیرند. در شکل ۲ تصاویر مربوط به واحد صوت چهار مگس مذکور (در دامنه زمان و دامنه فرکانس) و شکلی از صوت کلی آنها (مجموعه‌ای از واحدها) قرار گرفته است [۷].

خزیدن و صدای خراشیدن سه نوع آفت محصولات انباری و امکان آشکارسازی آنها با سنسورهای فروسرخ، میکروفون‌ها و یک سنسور پیزوالکتریک در یک محدوده کوچک به‌طور مجزا بررسی شد و توانایی تجهیزات ارزان ساخته شده برای آشکارسازی حشرات و تمایز بین گونه‌های مختلف بررسی شد. بالغ همه گونه‌ها هنگامی‌که در حال خزیدن و تولید صدای خراشیدن بودند، مشخص می‌شدند [۳۳].



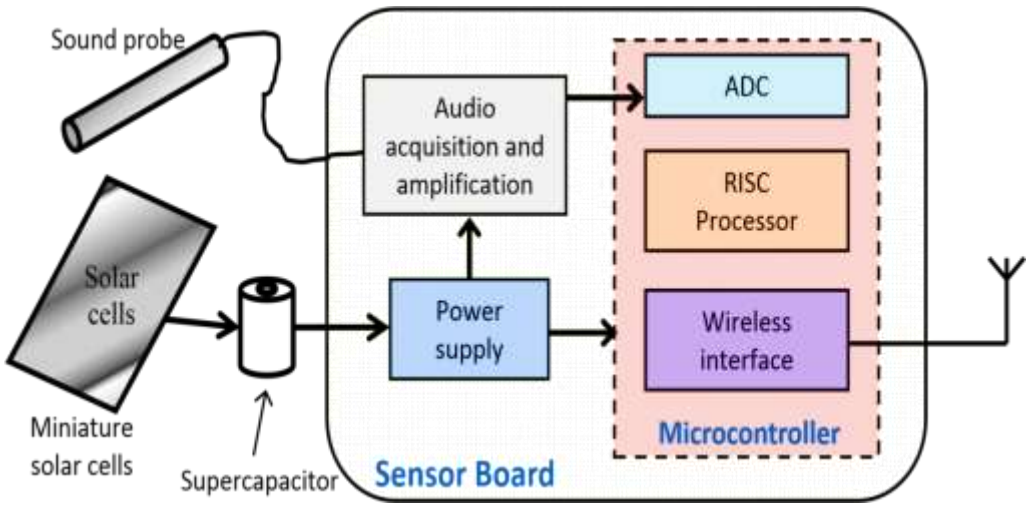
شکل ۲. ویژگی‌های صدای ارتعاشی مگس سفید نر در گروه هفتم [۷]

بسیاری از گونه‌ها برای برقراری ارتباطات خود از صوت استفاده می‌کنند و میکروفون‌ها حسگرهای مفیدی برای اندازه‌گیری این اصوات هستند. مشکلات موجود در تمایز صدای حشره هدف از دیگر صداها مانع استفاده از تجهیزات آکوستیکی شده، اما تجهیزات جدیدی که مجهز به قابلیت پردازش سیگنال هستند قابلیت ردیابی را تا حد زیادی افزایش داده‌اند. میکروفون‌ها برای سیگنال‌هایی که توسط هوا منتقل می‌شوند مفید هستند و برای سیگنال‌هایی که توسط حشرات در خاک، چوب و دیگر سازه‌های جامد تولید می‌شود چندان مفید نیستند [۲۳].

تکنیک‌های مختلفی مثل نمونه‌گیری و الک کردن، شناوری، تکنیک‌های رادیوگرافیک، تکنیک‌های آکوستیکی و تشدید مغناطیس هسته‌ای برای آشکارسازی حشرات در غلات وجود دارند. دو روش نمونه‌گیری و الک کردن مخرب بوده و سایر روش‌ها به جز روش آکوستیکی قابلیت خودکار شدن را ندارند. در روش آکوستیکی تکیه بر یافتن صدای تولید شده حین حرکت و تغذیه حشره در غلات است [۳۵].

یک سنسور بیوآکوستیک خودکار طراحی شد که می‌تواند روی هر درخت نخلی نصب شده و سیگنال‌های صوتی را در دوره‌های بسیار طولانی زمان ضبط و تحلیل کند. نتایج تحلیل صوتی بدون سیم به ایستگاه کنترل فرستاده شده و در آنجا عمل پردازش و ذخیره داده‌ها انجام می‌گیرد.

ایستگاه کنترل با اینترنت در دسترس است و طوری برنامه‌نویسی شده که هنگام مشاهده صوت ناشی از هجوم حشرات که از قبل برای آن تعریف شده است، هشدار لازم را ارسال کند که در شکل ۳ دیده می‌شود. پس از انجام چندین آزمایش مشاهده شد که میانگین نرخ ردیابی بیش از ۹۰٪ است. طراحی این سنسور بیوآکوستیک به گونه‌ای انجام شد که برای تأمین انرژی خود از نور خورشید بهره ببرد و پس از نصب به هیچ‌گونه نگهداری نیاز نداشته باشد [۳۶].



شکل۳. تصویر شماتیک حسگر طراحی شده برای آشکارسازی آفات درختان نخل [۱۱]

نیاز به آشکارسازی حشرات پنهان در دانه‌ها و به‌دست آوردن داده‌ها به صورت خودکار باعث گسترش دستگاه‌های تشخیص صوت الکترونیکی شد. صدای حشرات در نوع خودش شدت کمی دارد و در غلات صدا ضعیف‌تر هم می‌شود. سطح فشار صوت میانگین تولید شده توسط آفات برنج تنها ۲۳ دسی‌بل است که ۲۰ میکروپاسکال فشار ایجاد می‌کند. اگر این صدا ۱۰ دسی‌بل کاهش یابد دیگر قابل ضبط نخواهد بود. برای کاهش صدای محیط اطراف و

فراهم شدن امکان ضبط صدای حشره هدف، با ساختن یک محوطه چند لایه صداهای محیط اطراف را کاهش دادند [۳۷].

ساختار سیگنال ارتعاشی تولید شده توسط نر هنگام جفت‌یابی اغلب تحت تأثیر سن حشره است. با افزایش سن چندین ویژگی از این صداها تغییر می‌کند. با این وجود ماده‌ها پاسخ‌های مشابهی به صدای ارتعاشی نرها در سنین مختلف می‌دهند و تغییرات سنی در انتخاب ماده‌ها اثری ندارد [۳۸].

سیگنال‌های ارتعاشی مرتبط با رفتار جنسی، هشدار و رفتار دفاعی حشرات هستند و اغلب برای اعمال گروهی متوسط و روابط اجتماعی پیچیده توسط حشرات استفاده می‌شوند. سیگنال‌های ارتعاشی در سیستم خاص تشخیص جفت که خاص هرگونه است نقش مهمی را ایفا می‌کنند. اصوات تولید شده توسط بعضی از حشرات برای انسان نیز قابل شنیدن هستند اما برای ضبط این اصوات باید از وسایل حساس استفاده شود [۳۹].

صداهایی که توسط حشره در حضور و یا غیاب دیگر حشرات تولید می‌شوند صدای ارتباطی[۲۵] و صداهایی که پیش از مرحله جفت‌گیری تولید می‌شوند، صدای پیش از جفت‌گیری[۲۶] نامیده می‌شوند. در مگس مدیترانه‌ای توسط حرکت بال‌ها صداهای ارتعاشی تولید می‌شوند. و معمولا فرکانس ۱۴۰ تا ۱۵۰ هرتز دارند. تله‌های چسبنده همراه با صدای ارتباطی تعداد بیشتری ماده نسبت به تله‌های بدون صوت جذب کردند اما نرخ جذابیت صوت نامعلوم است. صدای پیش از جفت‌گیری بخاطر طبیعت پیوسته‌ای که دارد با صدای ارتباطی متفاوت است و فرکانس طبیعی بیشتری نسبت به صدای ارتباطی دارد [۴۰].

٤. نتیجه‌گیری

روش مبارزه بیولوژیک مستلزم صرف هزینه‌های بسیار زیاد اعم از هزینه‌های لازم برای پرورش حشرات و گیاهان و اختصاص زمین و نهاده‌های کشاورزی به گیاهان است. از طرفی به علت ضعف فناوری لازم در بعضی زمینه‌ها (مثل تقویت گیاه میزبان) و احتمال بیمار شدن گیاه و حشره مبارز، بهتر است تا روش‌های قابل اجرا و کم هزینه مدنظر قرار داده شوند.

روش استفاده از پرتو گاما به تجهیزات و نیروی متخصص جهت تولید پرتو و امکانات حفاظتی و بهداشتی نیازمند است، لذا استفاده از این روش به علت فراهم نبودن امکانات در همه مکان‌ها، بسیار محدود است.

سموم شیمیایی به‌طور گسترده در دسترس هستند و مشکلات زیادی را برای محیط زیست ایجاد کرده‌اند و سلامت انسان را نیز به خطر می‌اندازند، لذا لازم است تا روش‌های بدون خطر و یا کم خطر مدنظر قرار داده شوند.

روش‌های نوری‌ای که از نور مرئی استفاده می‌کنند صرفا هنگام تاریکی قابل استفاده هستند و این مشکل را به همراه دارند که در روز و ساعات روشنایی قابلیت استفاده ندارند و در این ساعات هجوم مگس سفید خسارات قابل توجهی به بار خواهد آورد، پس لازم است تا روش مبارزه‌ای ابداع شود که در تمام ساعات شبانه روز قابلیت کاربرد داشته باشد.

به علت ناکارآمدی‌ها و مشکلات موجود در روش‌های بیولوژیک، شیمیایی، نوری و پرتو گاما و با توجه به اینکه صوت یک مشخصه ذاتی مگس سفید هنگام جفت‌گیری است [۳۷] و صرفا دو گونه از مگس سفید بیشترین خسارت را به محصولات کشاورزی وارد می‌کنند و از طرفی نتایج ساخت تله‌ها بر پایه صوت نیز موفقیت‌آمیز بوده است [۳۴]، پس می‌توان یک تله آکوستیکی که از صوت دو گونه اصلی به عنوان عامل محرک استفاده می‌کند، ساخت.

۵. پیشنهاد

می‌توان با استفاده از صدای تولید شده توسط مگس سفید نر هنگام جفت‌یابی و استفاده از این صوت مگس‌های سفید ماده را جذب کرد و با قرار دادن تعدادی تله چسبنده

مگس‌های سفید را به دام انداخت. از طرف دیگر در تله مذکور می‌توان از تعدادی لامپ تولید کننده اشعه فرابنفش برای افزایش جذابیت تله استفاده کرد. بهتر است تا به جهت اینکه این صدا و نور برای انسان مزاحمتی ایجاد نکنند، این سیستم در ساعاتی استفاده شود که در آن محل رفت و آمد، و حضور اشخاص بسیار کم باشد. از طرف دیگر این امکان نیز وجود دارد که از صوت با استفاده از میکروفون تنها در جهت شناسایی مناطق مورد هجوم توسط حشره استفاده کرد و با دیگر روش‌های مبارزه مثل تله فرومونی در آن محل به مقابله با حشره پرداخت.

۶. مآخذ

[1] Evans, G. A., "The whiteflies (Hemiptera: Aleyrodidae) of the world and their host plants and natural enemies. 715p, " *USDA/Animal Plant Health Inspection Service (APHIS), Riverdale, Maryland, USA*, 2007.

[2] White, Jen, "Whiteflies in the greenhouse", *Cooperative Extension Service, College of Agriculture, University of Kentucky. Entfact-456, Available on: http://www2.ca.uky.edu/entomology/entfacts/ entfactpdf/ f456. pdf [Accessed: February 2, 2016]*, 2014.

[3] Czosnek, Henrik. Brown, Judith, "The witefly genome- white paper: A proposal to sequence multiple genomes of benicia tabaci." In *Bemicia: Bionomics and Management of a Global Pest*, Springer, Dordrecht, 2009, pp 503-532.

[4] Liu, Tong-Xian, Philip A. Stansly, and Dan Gerling, "Whitefly parasitoids: distribution, life history, bionomics, and utilization", *Annual review of entomology*, Vol.60, 2015, pp.273-292.

[5] Kanmiya, K. "Discovery of male acoustic signals in the greenhouse whitefly, trialeurodes vaporariorum (Westwood) (Homoptera: Aleyrodiadae)", *Applied Entomology and Zoology*, 1996, vol.31 (2), pp.255-262.

[6] Nakabayashi, Hiroki, Koichi Mizutani, Tadashi Ebihara, Naoto Wakatsuki, Hiroyuki Uga, Kenji Kubota, and Masahisa Ishii, "Biotype identification of Bemisia tabaci by acoustical method", *J. Agric. Informatics*, Vol.8, 2017, pp.11-22.

[7] Drosopoulos, Sakis, and Michael F. Claridge, eds. "*Insect sounds and communication: physiology, behaviour, ecology, and evolution*". CRC press, 2005.

[8] Perring, Thomas M., and Emily J. Symmes, "Courtship behavior of Bemisia argentifolii (Hemiptera: Aleyrodidae) and whitefly mate recognition", *Annals of the Entomological Society of America*, Vol.99, no.3, 2006, pp.598-606.

[9] Zang, Lian-Sheng, and Shu-Sheng Liu, "A comparative study on mating behaviour between the B biotype and a non-B biotype of Bemisia tabaci (Hemiptera: Aleyrodidae) from Zhejiang, China", *Journal of insect behavior*, Vol.20, no.2, 2007, p.157.

[10] Walker, Gregory P., Thomas M. Perring, and Thomas P. Freeman, "Life history, functional anatomy, feeding and mating behavior", In *Bemisia: Bionomics and management of a global pest*, Springer, Dordrecht, 2009, pp.109-160.

[11] Epsky, N. D. Morrill, W. L. Mankin, R. W., "*Encyclopedia of Entomology*", 2nd edition., Springer, 2008.

[12] Van Roermund, H. J. W., *"Understanding biological control of greenhouse whitefly with the parasitoid Encarsia Formosa*", PhD diss. Wageningen Agricultural University, 1995.

[13] Kim, Chang-Su, Jung-Bok Lee, Beam-Soo Kim, Young-Ho Nam, Kee-Sun Shin, Jin-Won Kim, Jang-Eok Kim, and Gi-Seok Kwon, "A technique for the prevention of greenhouse whitefly (Trialeurodes vaporariorum) using the entomopathogenic fungus Beauveria bassiana M130" , *J. Microbiol Biotechnol*, Vol.24, no.1, 2014, pp.1-7.

[14] Lucatti, A. F., "*Whitefly resistance in tomato: from accessions to mechanisms*", PhD diss. Wageningen university, 2014.

[15] Eriksson, A. Anfora, G. Lucchi, A. Lanzo, F. Virant-Doberlet, M. Mazzoni, V., "Exploitation of insect vibrational signals reveals a new method of pest management", *PLOS ONE*, Vol.7, 2012, pp.1-5.

[16] Mound, Laurence A.” Studies on the olfaction and colour sensitivity of Bemisia tabaci (Genn.) (Homoptera, Aleyrodidae”, *Entomología experimentalis et applicate,* Vol.5, no.2, 1962, pp.99-104.
[17] Stukenberg, Niklas, and Hans-Michael Poehling, "Blue–green opponency and trichromatic vision in the greenhouse whitefly (Trialeurodes vaporariorum) explored using light emitting diodes", *Annals of Applied Biology,* Vol.175, no.2, 2019, pp.146-163.
[18] Coombe, P. E., “Wavelength specific behaviour of the whiteflyTrialewodes vaporariorum (Homoptera: Aleyrodidae)”, *Journal of Comparative Physiology*, Vol.144, no.1, 1981, pp.83-90.
[19] Affeldt, H. A., R. W. Thimijan, F. F. Smith, and R. E. Webb, “Response of the greenhouse whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) and the vegetable leafminer (Diptera: Agromyzidae) to photospectra”, *Journal of Economic Entomology,* Vol.76, no.6, 1983, pp.1405-1409.
[20] Johansen, N. S., Irene Vänninen, Delia M. Pinto, A. I. Nissinen, and L. Shipp, “In the light of new greenhouse technologies: 2.Direct effects of artificial lighting on arthropods and integrated pest management in greenhouse crops”, *Annals of Applied Biology,* Vol.159, no.1, 2011, pp.1-27.
[21] Mutwiwa, Urbanus N., and Han J. Tantau, “Suitability of a UV lamp for trapping the greenhouse whitefly Trialeurodes vaporariorum Westwood (Hom: Aleyrodidae)”, *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 2005.
[22] Van Nieuwenhove, Guido A., Andrea VF Oviedo, Yesica M. Dalto, Juliana Perez, Celina I. Horak, Gerardo A. Gastaminza, Eduardo Willink, and Guy J. Hallman, “Gamma radiation phytosanitary treatment against Trialeurodes vaporariorum (Hemiptera: Aleyrodidae) ”, *Florida Entomologist*, Vol.99, 2016, pp. 130-133
[23] Mankin, Richard W., “Applications of acoustics in insect pest management”, *CAB Rev,* Vol.7, no.1, 2012, pp.1-7.
[24] Kahn, Morton C., and William Offenhauser Jr., “The First Field Tests of Recorded Mosquito Sounds used for Mosquito Destruction1, 2”, *The American journal of tropical medicine and hygiene*, Vol.1, no.5, 1949, pp.811-825.
[25] Paur, Jennifer, and David A. Gray, “Individual consistency, learning and memory in a parasitoid fly, Ormia ochracea”, *Animal behavior,* Vol.82, no.4, 2011, pp.825-830.
[26] Frank, J. H. “Biological control of pest mole crickets”, *Pest Management in the Subtropics: Biological Control a Florida Perspective. D. Rosen, FD Bennett and JL Capinera (eds.). Intercept Ltd. Andover, UK*, 1994, pp.343-352.
[27] Forrest, T. G., “Using insect sounds to estimate and monitor their populations”, *Florida Entomologist*, 1988, pp.416-426.
[28] Cooley, John R., Gene Kritsky, Marten J. Edwards, John D. Zyla, David C. Marshall, Kathy BR Hill, Gerry Bunker et al., “Periodical cicadas (Magicicada spp.): A GIS-based map of Broods XIV in 2008 and “XV” in 2009”, *American Entomologist,* Vol.57, no.3, 2011, pp.144-151.
[29] Fleurat-Lessard, Francis, “Monitoring insect pest populations in grain storage: the European context”, *Stewart Postharvest Rev,* Vol.3, no.4, 2011, pp.1-8.
[30] Shuman, D., D. K. Weaver, and R. W. Mankin, “Quantifying larval infestation with an acoustical sensor array and cluster analysis of cross-correlation outputs”, *Applied Acoustics,* Vol.50, no.4, 1997, pp.279-296.
[31] Schwab, L., P. Degoul, F. Fleurat-Lessard, A. Ndiaye, and J. D. Knight, “Automatic acoustical surveillance system of grains in silos”, *Stored malting barley: management of quality using an expert system, INRA-Editions, Paris, France,* 2005, pp.203-218.
[32] Njoroge, Anastasia Wanjiru, “*Acoustic detection of insect pests of stored grains in Kenya*”, PhD diss., 2017.
[33] Mankin, Richard W., R. D. Hodges, H. T. Nagle, C. Schal, R. M. Pereira, and P. G. Koehler, “Acoustic indicators for targeted detection of stored product and urban insect pests by inexpensive infrared, acoustic, and vibrational detection of movement”, *Journal of economic entomology,* Vol.103, no.5, 2010, pp.1636-1646.

[34] Mizrach, Amos, Amots Hetzroni, Michal Mazor, R. W. Mankin, Timea Ignat, Joseph Grinshpun, N. D. Epsky, Dennis Shuman, and R. R. Heath, "Acoustic trap for female Mediterranean fruit flies", *Transactions of the Asae*, Vol.48, no.5, 2005, pp.2017-2022.
[35] Moffat K., Njoroge, D. L. Mutisya, D. W. Miano, and D. C. Kilalo. "Whitefly species efficiency in transmitting cassava mosaic and brown streak virus diseases", *Cogent Biology*, no.3 (2017): 1311499.
[36] Rach, Miguel Martínez, Héctor Migallón Gomis, Otoniel López Granado, Manuel Perez Malumbres, Antonio Martí Campoy, and Juan José Serrano Martín, "On the design of a bioacoustic sensor for the early detection of the red palm weevil", *Sensors*, Vol.13, no.2, 2013, pp.1706-1729.
[37] Mankin, R. W., Dennis Shuman, and J. A. Coffelt, "Noise shielding of acoustic devices for insect detection", *Journal of economic entomology*, Vol.89, no.5, 1996, pp.1301-1308.
[38] De Luca, Paul A. and Reginald B. Cocroft, "Age-related changes in an insect mating signal have no effect on female choice", *Behavioral Ecology and Sociobiology*, Vol.63, no.12, 2009, pp.1787-1798.
[39] Virant-Doberlet, Meta, and Andrej Cokl, "Vibrational communication in insects", *Neotropical Entomology*, Vol.33, no.2, 2004, pp.121-134.
[40] Aluja, Martín, Jaime Piñero, Isabel Jácome, Francisco Díaz-Fleischer, and John Sivinski, "Behavior of flies in the genus Anastrepha (Trypetinae: Toxotrypanini)", In *Fruit Flies (Tephritidae)*, CRC Press, 1999, pp.393-424.

پی‌نوشت:

1. Monitoring
2. Bemicia Tabaci
3. Trialeurodes Vaporaiorum
4. Honey dew
5 . Toxin
6. Orientation
7. Biotype
8. B
9. Q
10. Interception
11. Sticky
12. Three Dimensional Triangular Traps
13. Water Pan Traps
14. Bucket Trap
15. Cone Traps
16. Predator
17. Parasitoid
18. Bassiana M130
19. Nanometer
20. Cobalt-60
21. Dose
22. GY
23. Chirp
24. Pulse
25. Calling Song
26. Precopulatory Song