دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک
شاپا ٤٦٦٨-٢٠٠٨
http://jer.iau-arak.ac.ir

فصلنامه تخصصی تحقیقات حشره‌شناسی
(علمی- پژوهشی)
جلد ۱۱، شماره۳، سال ۱۳۹۸، (۲٤٤-۲۳۱)

مروری بر کاربرد بیوآکوستیک در شناسایی و کنترل غیر شیمیایی حشرات آفت

A review on the use of Bio-acoustics in the recognition and non-chemical control of insect pests

علی رشادصدقی[1*]

۱- استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران

چکیده

کاربرد بی‌رویه سموم شیمیایی برای کنترل آفات گیاهی باعث آلودگی خاک، هوا و آبهای سطحی و زیرزمینی می‌شود، درنتیجه به گونه‌های غیر هدف و انسان نیز آسیب می‌رساند. روش‌های کنترل غیر شیمیایی آفات شامل کنترل فیزیکی، بیولوژیکی، ژنتیکی و شیوه‌های مدیریت تلفیقی آفت همواره به عنوان روش‌هایی برای کاهش آلودگی ناشی از مصرف سموم شیمیایی موردحمایت عموم قرارگرفته است. ازجمله روش‌های کنترل فیزیکی، به‌کارگیری وسایل الکترونیکی آکوستیک (صوتی یا فرا صوتی) است که به عنوان دافع الکتریکی، عامل اختلال در جفت‌گیری و ترساننده یا آفت‌کش الکترونیکی عمل می‌کنند. دانشمندان با الگوبرداری از سیگنال‌های بیوآکوستیک که حشرات برای ایجاد ارتباط جنسی با یکدیگر تولید کرده و یا برای فرار از شکارچیان نسبت به آن واکنش نشان می‌دهند، گونه‌های مختلف حشرات را شناسایی و طبقه‌بندی نموده‌اند. همچنین با انتشار صدای مصنوعی حشرات، باعث ایجاد اختلال در عمل جفت‌گیری یا جذب جنس مخالف و گرفتار کردن آن‌ها شده و از این روش در جهت کاهش جمعیت آفات استفاده می‌کنند. تحقیقات نشان داده است که روش کنترل آکوستیک می‌تواند به‌عنوان یک مکمل مؤثر و کم‌هزینه برای کنترل شیمیایی آفات به‌کار گرفته شود. در این متن به چند مورد از مطالعات کنترل آکوستیک حشرات آفت اشاره‌شده است.

واژه‌های کلیدی: آفات گیاهی، بیوآکوستیک، صوت، فرا صوت، کنترل غیر شیمیایی آفت

[*] نویسنده رابط، پست الکترونیکی: *a.reshadsedghi@areeo.ac.ir*

تاریخ دریافت مقاله:۹۸/۷/۲۳ - تاریخ پذیرش مقاله:۹۸/۹/۲۷

مقدمه

طی سنوات گذاشته تولید و مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی برای کنترل آفات مختلف که خسارات سنگینی به محصولات کشاورزی وارد می‌کنند، در جهان توسعه‌یافته است. اعتقاد بر این است که اغلب آفت‌کش‌ها بر سیستم عصبی مرکزی آفات اثر گذاشته و موجب مرگ آن‌ها می‌شوند. با وجود این که تاکنون استفاده از سموم آفت‌کش باعث حفظ محصول و ممانعت از زیان‌های اقتصادی شده است، ولی معمولا کاربرد این سموم علاوه بر آفات، به گونه‌های غیر هدف و انسان نیز آسیب وارد می‌کند. عده‌ای معتقدند که ۸۰ درصد آفت‌کش‌های پاشیده شده بر گیاهان، پس از مدتی توسط آب باران و آبیاری شسته شده و به خاک می‌رسند. استفاده بی‌رویه از این سموم باعث آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی و آلودگی خاک و هوا می‌شود. باقی ماندن آفت‌کش‌ها در مواد غذایی در کوتاه مدت و بلندمدت باعث بروز جهش‌های ژنتیکی، سرطان و تولدهای غیرطبیعی در انسان می‌گردد (Igbedioh, 1991; Forget *et al*., 1993). از اینرو روش‌های کنترل غیر شیمیایی آفات به عنوان بهترین روش برای کاهش آلودگی ناشی از مصرف سموم شیمیایی مورد حمایت عموم قرارگرفته است. این روش‌ها شامل کنترل فیزیکی، بیولوژیکی، ژنتیکی و رویکرد وسیع در شیوه‌های مدیریت تلفیقی آفت[1] می‌باشند. در بین این روش‌ها، کنترل فیزیکی آفت بیش‌تر مورد پذیرش واقع شده است. روش فیزیکی ممکن است به صورت ایجاد مانع یا گرفتار کردن آفت در تله و یا با روش دست‌کاری در محیط‌زیست انجام گیرد. روش دوم با عوامل اکولوژیکی ازجمله دما، رطوبت نسبی هوا، کم کردن آب بدن (دی هیدراسیون) و ایجاد صدا در مقابل آفات سروکار دارد (Kurma, 1999).

کنترل الکترونیکی آفت

کنترل الکترونیکی آفت به روش‌هایی از دفع آفات اشاره دارد که در آن از وسایل الکتریکی استفاده می‌شود. این تجهیزات به عنوان دافع الکتریکی آفت، جذب‌کننده جنس مخالف، ترساننده یا بازدارنده الکترونیکی آفت و یا آفت‌کش الکترونیکی شناخته می‌شوند. به‌طورکلی وسایل کنترل الکترونیکی در دو نوع صوتی یا فراصوتی و الکترومغناطیسی در دسترس هستند. وسایل فراصوتی برای انتشار صوت با فرکانس بیش از ۲۰۰۰۰ هرتز طراحی و ساخته‌شده‌اند. حیوانات، پرندگان و حشرات قادر به شنیدن در محدوده فراصوت هستند ولی قابلیت شنوایی انسان به فرکانس ۲۰ تا ۲۰۰۰۰ هرتز محدود می‌شود. امواج فراصوت بدون اینکه بر محیط و موجودات غیر هدف نظیر انسان تأثیری داشته باشند، در محیط تحت پوشش، باعث ایجاد ناراحتی و دفع آفات می‌گردند. مزیت این روش نسبت به روش‌های دیگر کنترل آفت، ارزان بودن، سازگاری با محیط‌زیست و نداشتن خطر برای بشر است (Liroff, 2000).

عملی که در فرستنده‌های فراصوتی صورت می‌گیرد، پدیده پیزوالکتریک است. پیزوالکتریک ماده خاصی است که در اثر ضربه تولید ولتاژ می‌کند و برعکس، یعنی در اثر تحریک الکتریکی تغییر شکل می‌دهد. اگر به کریستال پیزوالکتریک ولتاژ متناوب با فرکانس f وصل کنیم، در اثر انبساط و انقباض از خود امواج فراصوت با فرکانس f تولید می‌کند (Kasraei & Zare-Zadeh, 2013)

در مورد تأثیر آفت‌کش‌های الکترونیکی اختلاف نظرهایی وجود دارد. بعضی معتقدند که دستگاه‌های فراصوت، روی حشراتی مانند جیرجیرک‌ها و سوسک‌ها اثر دفع‌کنندگی دارند ولی بر برخی آفات مانند مورچه و عنکبوت اثر کمی دارند (Brouwer *et al*., 1999). مزیت به‌کارگیری این وسایل با آگاهی داشتن از بیولوژی آفات و واکنش آنها نسبت به اصوات و

[1] The broad based integrated pest management

ارتعاشات مصنوعی، دامنه شنوایی آنها و مهارت‌های الکترونیکی، قابل‌افزایش است (Ibrahim *et al*., 2013). ویژگی خو گرفتن یا عادت کردن انسان و حیوان به عامل محرک، یک واکنش دفاعی محسوب می‌شود. بعضی از کاربران آفت‌کش‌های الکترونیکی مدعی هستند که آفات در ابتدا نسبت به امواج صوتی واکنش نشان داده ولی به تدریج با آن خو گرفته و به فعالیت خود بازمی‌گردند و معتقدند این نوع وسایل تأثیر موقتی و نسبی بر آفات دارند. عادت کردن به‌این‌علت روی می‌دهد که آفات به‌طور مکرر و مداوم در معرض امواج الکتریکی قرار می‌گیرند (Ibrahim *et al*., 2013).

بعضی از نکات طراحی برای تقویت اثرات وسایل الکترونیکی کنترل آفت عبارت است از:

۱- اختصاصی کردن وسیله برای کنترل یک نوع آفت

دامنه شنوایی آفات نسبت به یکدیگر متفاوت است. بنابراین برای افزایش تأثیر کنترلی وسیله بر روی یک آفت، باید آستانه شنوایی آن شناسایی‌شده دستگاه بر اساس آن طراحی شود. محیط زندگی نقش اصلی را در بیولوژی حیوانات با گونه مشابه دارد. بنابراین دستگاه کنترل آفت باید هم مخصوص آفت و هم مخصوص محیط زندگی آن طراحی شود.

۲- تغییرپذیری وسیله

مدت زمان سازگاری آفات نسبت به امواج صوتی و فرا صوت متفاوت است. بنابراین لازم است همیشه عوامل تأثیرگذار به صورت غیرقابل‌پیش‌بینی تغییر کند. به‌طور مثال تغییر در فرکانس، گام، شدت صوت، صوت‌های ترکیبی و غیره. تغییر در محرک‌ها باعث تأخیر در سازگاری می‌شود.

۳- توان انتشار امواج

وسایل الکترونیکی کنترل آفت با یک تقویت‌کننده توان پایین کار می‌کنند. توان خروجی ضعیف، سطح کوچکی را پوشش می‌دهد. امواج فراصوت بسته به فرکانس انتشار تا ۳۰۰ متر قابلیت انتشار در اتمسفر را دارند ولی این مسافت با به‌کارگیری آمپلی‌فایرهای توان بالا قابل‌افزایش است.

٤- استفاده منطقی از وسیله

برای پیشگیری از عادت کردن آفت به امواج، بهتر است بجای استفاده مداوم یا با فواصل زمانی معین از وسایل کنترل الکترونیکی، از این وسایل به صورت منطقی و در زمان حضور فعال آفات در مزرعه استفاده شود. این نوع وسایل کنترل آفت باید قابلیت حس کردن و تشخیص زمان فعالیت آفت و خاموش و روشن شدن در زمان لازم را داشته باشد. مثلاً برای کنترل آفاتی که در شب فعالیت بیشتری دارند، با استفاده از یک حسگر حساس به نور، دستگاه با تاریک شدن هوا روشن‌شده و با روشن شدن هوا از کار بیفتد.

۵- بررسی اولیه مزرعه آلوده به آفت

قبل از استفاده از یک وسیله کنترل آفت، باید مطالعات اولیه در رابطه با ویژگی‌های آفت در مزرعه آلوده انجام گیرد. این مطالعات شامل شناسایی جنس و گونه آفت و آستانه و ظرفیت شنوایی آن، مراحل خسارت‌زای آفت، رفتار و واکنش آفت در برابر عوامل مختلف مانند صدا، نور، بو و مدت زمان لازم برای سازگاری به این عوامل هستند که باید شناسایی شوند. نتایج این بررسی‌ها به طراحی سیستم الکترونیکی کنترل آفت کمک خواهد کرد.

٦- انجام به‌موقع عملیات کنترل

وسایل الکترونیکی کنترل آفت اگر در زمان صحیح بکار گرفته شوند، نتیجه بهتری حاصل می‌گردد. آفات معمولا در مراحل بخصوصی از رشد محصول حمله می‌کنند به‌طور مثال در مرحله میوه دهی، زمان شیری بودن دانه، رسیدگی دانه و غیره. این مراحل باید به عنوان راهنمایی برای زمان به‌کارگیری وسیله کنترل تعریف شوند (Ibrahim *et al*., 2013).

استفاده از بیوآکوستیک[2] در شناسایی و کنترل حشرات آفت

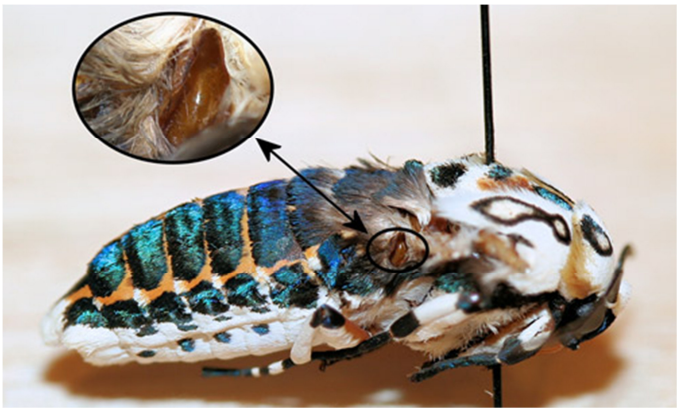
علم بیواکوستیک تلفیقی از دو علم زیست‌شناسی و مهندسی صوت بوده و به‌عنوان مطالعه ارتباطات صوتی حیوانات تعریف شده است. سیگنال‌های صوتی مختص گونه[3] بوده و همانند اثر انگشت در انسان‌ها، برای شناسایی افراد مورداستفاده قرار می‌گیرند (Alexander, 1957; Walker, 1964). ویژگی بیوآکوستیک حشرات (تولید، پخش و دریافت صدا برای فعالیت‌های زیستی) کمک مؤثری به حشره‌شناسان برای شناسایی و طبقه‌بندی گونه‌های مختلف حشرات کرده است. از این ویژگی می‌توان برای کاهش تراکم جمعیت آفات گیاهی به صورت ایجاد اختلال در عمل جفت‌گیری، جذب جنس مخالف و به تله انداختن آن و یا ترساندن و دور کردن آفات استفاده نمود (Zha *et al*., 2009; Hao *et al.*, 2012; Mehdipour *et al.*, 2016).

کنترل حشرات آفت با استفاده از فراصوت

بسیاری از شب‌پره‌ها دارای اندام‌های شنوایی حساس به فراصوت هستند که نقش مهمی در تشخیص و فرار از دست شکارچیانی مثل خفاش، مکان‌یابی و انتخاب جفت مناسب دارند (Skals *et al*. 2003; Waters 2003; Zha, *et al*., 2009). اندام شنوایی شب‌پره‌ها بر اساس محل قرارگیری در بدن، ساختارهای جانبی و تعداد سلول‌های حسی شنوایی، تنوع فراوانی دارند. از نظر ریخت‌شناسی، اندام شنوایی شب‌پره‌ها مشابه گوش میانی با یک غشاء حساس بنام تیمپانال[4] ساده‌ترین اندام شنوایی در حشرات بوده و به فرکانس‌های ۲۰ تا ۵۰ کیلوهرتز که منطبق با فرکانس تولیدی توسط خفاش‌های حشره‌خوار است، حساس می‌باشد (Zha *et al*., 2009) (شکل ۱). شب‌پره‌های تولیدکننده صدا، طیف وسیعی از مکانیزم‌ها را برای انتشار امواج فراصوت بلند و واضح به سمت جفت‌ها، رقبا و شکارچیان بکار می‌برند. ناکانو و همکاران (Nakano *et al*., 2009) به وجود یک مکانیزم تولید صدا در بال و قفسه سینه شب‌پره کرم ساقه خوار آسیایی ذرت[5] (*Ostrinia furnacalis*) پی بردند که حشره نر با ایجاد یک سیگنال فراصوت آرام با جفت خود در فاصله کمتر از ۲ سانتی‌متر ارتباط جنسی برقرار می‌کند. سیگنال آرام این مزیت را دارد که توسط رقیبان و شکارچیان شنیده نمی‌شود. سه نوع آواز فراصوت شب‌پره‌ها برای ارتباط جنسی عبارتند از: ۱- آواز برای جذب جفت، ۲- آواز عاشقانه برای شناخت یا پذیرش جفت، ۳- هم‌نوایی دونفره بین جفت‌ها برای نزدیک شدن جنس نر به ماده پس از جهت‌گیری فرمونی (Nakano *et al*., 2009). تحقیقات نشان داده است در حالتی که ارتباط صوتی بین حشره نر و ماده برقرار شود، عمل جفت‌گیری تا ۹۸ درصد با موفقیت انجام‌گرفته و در شرایط معیوب بودن سیستم شنوایی ماده، قادر نبودن حشره نر برای تولید صدا و باز پخش شدن صدای حشره نر، عمل جفت‌گیری کاهش می‌یابد (Nakano *et al*., 2009). درتحقیقی به منظور بررسی تأثیر امواج فرا صوت بر تولیدمثل شب‌پره هندی (*Plodia interpunctella*)، در دو محفظه شیشه‌ای که یکی مجهز به وسیله تجاری مولد فرا صوت و دیگری فاقد آن بود، پنج جفت حشره بالغ شامل ۱۰ حشره نر تازه ظهور یافته و ۱۰ شب‌پره ماده رها شدند. وسیله مولد صوت، امواجی با حداکثر فرکانس ۲۱، ۲۵ و ۳۵ کیلوهرتز و با شدت صوت ۹٤ دسی‌بل در فاصله ۵۰ سانتی‌متری تولید می‌کرد. نتایج نشان داد شب‌پره‌های ماده که در محفظه دارای امواج فراصوت قرار داشتند، نسبت به شب‌پره‌هایی که در معرض فرا صوت نبودند، پس از جفت‌گیری به‌طور معنی‌داری ۲۷ درصد

[2] Bio acoustic
[3] Species-specific
[4] Tympanal organ
[5] Asian corn borer moth

اسپرماتوفور[6] کمتر داشتند و ۴۸ درصد لارو کمتر تولید کردند.



شکل ۱- گوش شب‌پره (Giant leopard moth) به صورت یک غشاء حساس تیمپانال

Fig. 1- Giant leopard moth ear in the form of a sensitive tympanal organ
Donald W. Hall (Department of Entomology and Nematology UF/IFAS Extension, Gainesville, FL 32611).

همچنین امواج فرا صوت باعث کمتر شدن وزن لاروها شد. علت کاهش وزن لاروها احتمالا تاخیر در عمل جفت‌گیری و تخم‌گذاری شب‌پره‌هایی بود که در معرض امواج قرار داشتند. درنتیجه امواج فرا صوت تأثیر معنی‌داری بر توزیع و تولیدمثل شب‌پره هندی داشته است (Huang *et al*., 2003). در تحقیقی دیگر رفتار و تولیدمثل شب‌پره هندی تحت تاثیر امواج فراصوت با دو نوع مولد با الگوی صوتی ثابت و متغیر بررسی گردید. نتایج نشان داد که رفتار حرکتی روزانه شب‌پره برای جلب جفت و جفت‌گیری در هر دو حالت وجود امواج و عدم وجود آن، مشابه بود و حشرات ماده فقط در فاز تاریکی[7] جفت را می‌خواندند. در هر دو نوع الگوی تولید صوت، دفعات خواندن جفت و جفت‌گیری، تعداد اسپرماتوفور انتقالی از نر به ماده و تخم‌های تولیدی در حشراتی که در معرض امواج فرا صوت بودند به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. البته کاهش جفت‌گیری و تخم‌گذاری حشره تحت امواج فرا صوت به حدی نبود که این روش به عنوان یک استراتژی مستقل برای کنترل آفت پیشنهاد گردد. این روش را می‌توان در ارتباط با راهبردهای مدیریت رفتار مبتنی بر فرومون جنسی برای کاهش تولیدمثل آفت بررسی کرد (Huang & Subramayam, 2004)..

شناسایی و کنترل حشرات آفت مولد صوت

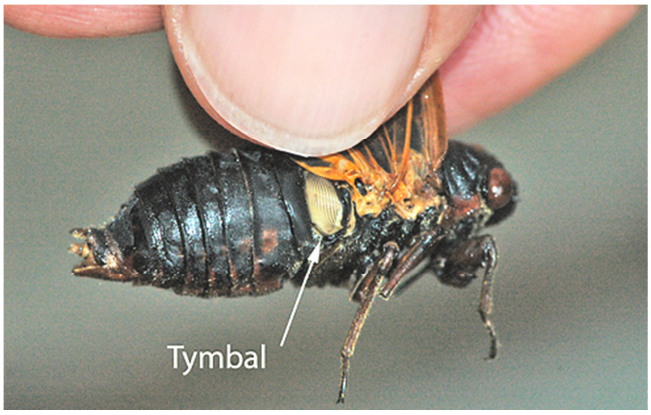
یکی از اهداف مهم حشره شناسان، شناسایی گونه‌های مختلف حشرات برای تحقیقات کاربردی و کنترل آفات کشاورزی است. مهم‌ترین مرحله در بخش مبارزه با آفات، شناخت و تشخیص به‌موقع آنها است که همیشه یک مشکل اساسی بوده است (Mousavi *et al*., 2017). ردیابی و شناسایی حشرات آفت اغلب به‌صورت دستی و با استفاده از روش تله گذاری انجام می‌شود اما با پیشرفت‌های اخیر در پردازش سیگنال و فناوری‌های رایانه‌ای امکان شناسایی خودکار گونه‌های حشرات از طرق مختلف شامل تجزیه و تحلیل تصویر و تشخیص آکوستیک فراهم شده است. اساسا شناسایی آکوستیک حشرات بر پایه توانایی آنها در تولید ارادی صدا برای ایجاد ارتباط و یا صدای حاصل از خوردن، پرواز کردن و جنب و جوش آنها می‌باشد. با توجه به اینکه سیگنال بیوآکوستیک تولیدشده توسط حشرات از یک الگوی منحصربه‌فرد

[6] Spermatophore
[7] Scotophase

برای گونه‌ای خاص پیروی می‌کند، می‌تواند در ردیابی و شناسایی حشرات بکار گرفته شود. کار شناسایی آکوستیک حشرات در دو مرحله اصلی استخراج ویژگی‌های سیگنال صوتی و طبقه‌بندی حشرات بر اساس ویژگی‌های استخراج شده است. لی‌کینگ (Le-Qing, 2011) با استفاده از استخراج ویژگی فرکانسی MFCC[8] نمونه‌های سیگنال صوتی حشرات و طبقه‌بندی آن‌ها به وسیله شبکه عصبی احتمالی[9] قادر به تشخیص و تمایز حشرات با دقت بالاتر از ۹۶ درصد گردید. نودا و همکاران (Noda *et al*., 2016) با پردازش سیگنال صوتی حشرات، موفق به شناسایی و طبقه‌بندی بیش از ۸۸ گونه از زنجره‌ها با دقت ۹۸/۰۸ درصد شدند. یانگ و جوزفسون (Young & Josephson, 1983) برای شناسایی گونه‌های مختلف زنجره، صدای ارتباط آنها برای جفت‌یابی را ضبط و پردازش نموده و الگوی ویژه صدای هریک از گونه‌ها را بدست آوردند. در یک تحقیق برای شناسایی جیرجیرک‌ها، راست بالان، زنجره‌ها و ملخ‌ها، صدای تولیدشده از گونه‌های مختلف دریافت و ضبط گردید. صداهای دریافتی با استفاده از تکنولوژی پیشرفته تشخیص صدا در دسته‌های مختلف راسته، خانواده، زیرخانواده، جنس و گونه طبقه‌بندی شدند. دقت شناسایی در سطح راسته و خانواده بیش از ۹۸ درصد و در سطح گونه ۸۶ درصد گزارش شده است (Ganchev *et al.*, 2007). جعفری و همکاران (Jafari *et al.*, 2016) در تحقیقی آواز فراخوانی ۱۶ گونه از راست بالان شاخک بلند متعلق به خانواده‌های *Gryllidae*، *Gryllotalpidae* و *Tettigoniidae* را بر اساس ویژگی‌های صوتی آنها شناسایی نمودند. شیه و همکاران (Shieh *et al*., 2017) تأثیر مکان‌های جغرافیایی بر تنوع صدای خواندن زنجره‌ها را بررسی نمودند.

زنجره مو *Cicadatra ochreata Melichar* از آفات مهم درخت انگور است که علاوه بر انگور به درختان میوه سردسیری و غیرمثمر نیز صدمه می‌زند. خسارت عمده آفت مربوط به پوره‌های آن است که به مدت نسبتا طولانی روی ریشه درختان مو متمرکز و از شیره نباتی آن تغذیه می‌کنند حشره کامل زنجره مو با تغذیه از شیره درختان خسارت اندکی وارد کرده اما بیش‌ترین خسارت حشره کامل در هنگام تخم‌ریزی روی شاخه‌های جوان انجام می‌شود که باعث قطع آوندهای شاخه و درنهایت خشک شدن آن می‌گردد(Esmaeili, 2011). طبق گزارشات محققان، هنوز روش عملی مناسبی برای کاهش خسارت زنجره مو به دست نیامده است و کاربرد حشره‌کش‌های متداول مانند دیازینون منجر به کنترل قطعی این آفت نشده است (Valizadeh & Farazmand, 2009). در مرحله جفت‌گیری زنجره مو، ابتدا حشره نر و ماده در یک زمان و در یک محل حاضر می‌شوند. در طی این مرحله معمولاً هردو جنس مخالف شروع به تبادل سیگنال‌های شیمیایی، صوتی و ارتعاشی می‌کنند. در بیشتر مواقع، حشره نر سیگنال‌های صوتی با دامنه بلند که اطلاعات خاص تولیدمثل در آن رمزگذاری شده و قابل رمزگشایی توسط جنس مخالف است، تولید می‌کند و بدین ترتیب زنجره ماده را به طرف خود می‌خواند (Sanborn & Philips, 1995; Bradbury & Vehrencamp, 1998; Drosopoulos & Claridge, 2006). زنجره‌های نر به وسیله یک اندام ویژه بر روی شکم بنام تیمبال[10] صدا تولید می‌کنند (شکل ۲). این صدا برای شناساندن موقعیت و جذب جفت هم‌گونه خود برای جفت‌گیری ایجاد می‌شود (Alexander & Moore, 1958). زنجره ماده عضو تیمبال برای تولید صدا ندارد و برای پاسخ به آواز جفت‌خوانی حشره نر، از مکانیزم بال زدن استفاده می‌کند (Cooley & Marshall, 2001; Sueur & Aubin, 2002). گونه‌های مختلفی از زنجره‌ها سیگنال‌های صوتی با فرکانس ۲ تا ۱۵ کیلوهرتز تولید می‌کنند که از نظر الگوی رفتاری و زمانی باهم متفاوتند ولی با آنالیز فرکانس صدایشان می‌توان آن‌ها را شناسایی کرد (Tishechkin, 2003).

[8] Mel-frequency cepstrum coefficient
[9] Probabilistic neural network(PNN)
[10] Tymbal



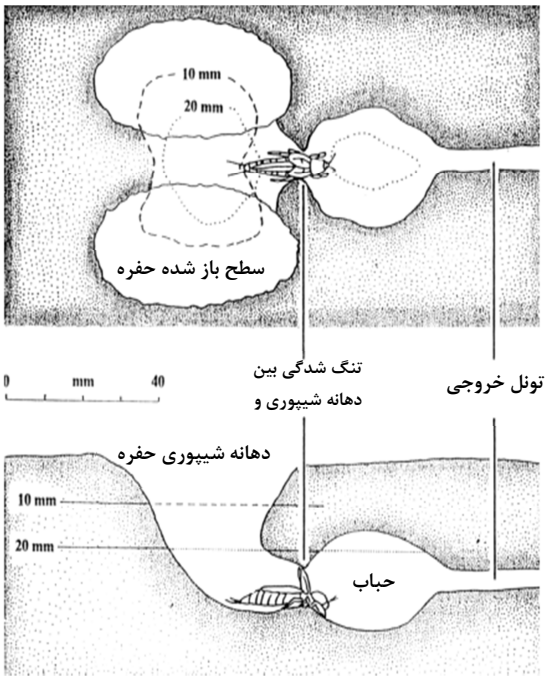
شکل ۲- محل قرارگیری اندام تولیدکننده صدا (تیمبال) در بدن زنجره نر

Fig. 2-The location of male Cicada tymbal organ (M. J. Raupp, university of Maryland, 2013).

زمانیان و پورقاسم با استفاده از پردازش ویژگی‌های سیگنال‌های صوتی زنجره‌ها، یک الگوریتم شناسایی خودکار تهیه کردند که قادر به تشخیص گونه‌های مختلف با دقت ۹۳/۱۳ درصد بود (Zamanian & Pourghassem, 2017). زمانیان و همکاران (Zamanian *et al*., 2008) برای مطالعه و تحلیل رفتار جنسی زنجره مو، صدای حشره نر را ضبط و پردازش کردند و دریافتند که ایجاد صدایی با دامنه ارتعاش ۱ تا ٦ کیلوهرتز، در دو مرحله رسیدگی میوه باعث اختلال در جفت‌گیری و جلب توجه دشمنان طبیعی آفت مانند گنجشک‌ها می‌شود. مشاهدات دیگر در این تحقیق نشان داد که حضور زنجره ماده از گونه دیگر، تأثیری بر صدای زنجره نر نمی‌گذارد ولی به محض احساس حضور زنجره ماده از گونه مشابه در شعاع یک متری، صدای آن برای جذب حشره ماده تغییر می‌کند و این کار تا شروع جفت‌گیری ادامه می‌یابد. بر طبق نتایج این تحقیق، تعداد زنجره‌ها برای فراخوانی جفت در ساعت ۳ بعدازظهر زمانی که هوا بسیار گرم است، به حداکثر می‌رسد. مطالعه خصوصیات مورفولوژیکی و کیفیت آواز فراخوانی (به‌طور مثال خواص طیفی و زمانی صوت) در بعضی از حشرات نشان داده است که بین این دو پارامتر ارتباطی وجود دارد. محمدی مبارکه و همکاران (Mohammadi Mobarakeh *et al*., 2014) آواز فراخوانی (ارتباط صوتی) زنجره از گونه *Chloropsalta smaragdula* و ارتباط آن با ابعاد و وزن بدن حشره را مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق صدای چندین نمونه از زنجره‌های نر ضبط و به‌طور جداگانه پردازش سیگنال گردید. نتایج نشان داد که این‌گونه از زنجره، صوتی با فرکانس غالب[11] ۹/۱۲۱ کیلوهرتز تولید می‌کند که با افزایش عرض بدن و وزن حشره، فرکانس غالب آن نیز افزایش می‌یابد. همچنین در مطالعاتی که بر روی آبدزدک گونه *Gryllotalpa major* انجام گرفت، ارتباط معنی‌داری بین طول بدن حشره نر و نوع صدای تولیدشده و فرکانس غالب صدای آن وجود داشته است (Howard & Hill, 2006). مهدی‌پور و همکاران (Mehdipour *et al*., 2016) برای کنترل آفت زنجره مو، با انتشار سیگنال‌های صوتی در محدوده فرکانس ۰/۵ تا ۱۰ کیلوهرتز، باعث ایجاد اختلال و قطع ارتباط جنسی بین زنجره نر با ماده شدند. با این روش از میزان آلودگی شاخه‌های انگور کاسته شد. با این حال طبق نظر پژوهشگران، از این روش تنها می‌توان به عنوان یک مکمل کم‌هزینه برای کنترل شیمیایی آفت استفاده نمود.

[11] Dominant frequency

از دیگر حشرات آفت مولد صدا، آبدزدک با نام علمی *Gryllotalpa orientalis* است که در مراتع، مزارع و باغات با قطع ریشه گیاهان و جابه‌جا نمودن خاک و نیز حفر کانال و هدر دادن آب، خسارت قابل‌توجهی به بار می‌آورند (Behdad, 1996). بررسی‌های دقیق ریخت‌شناسی و زیست‌شناسی این آفت برای استفاده در شیوه‌های کنترل تلفیقی جهت کاهش تراکم جمعیت و خسارت آفت در مزارع و مراتع مؤثر می‌باشد (Kazemi *et al.*, 2010). آبدزدک نر برای صدازدن و جذب جفت خود، حفره‌ای با طراحی خاص در خاک ایجاد می‌کند. این حفره از دو قسمت اصلی دهانه شیپوری شکل و یک حباب بیضوی داخلی تشکیل شده که با یک تونل تنگ‌شده به هم پیوسته‌اند. طراحی حفره به صورتی است که با به حداقل رسیدن فشار صوت در محل تنگ‌شده و توزیع دامنه و فاز، عمل تشدید صدا در حفره ایجاد می‌شود و حشره نر از این نوع طراحی حفره به منظور تقویت صدای جفت‌یابی استفاده می‌کند (Daws *et al.*, 1996). آبدزدک به هنگام تولید صدا درست در محل تنگ‌شده بین قسمت شیپوری و حباب می‌ایستد به‌طوری‌که سر و سینه حشره در طرف حباب و شکم و بال‌های آن در سمت دهانه شیپوری قرار می‌گیرد (شکل ۳).

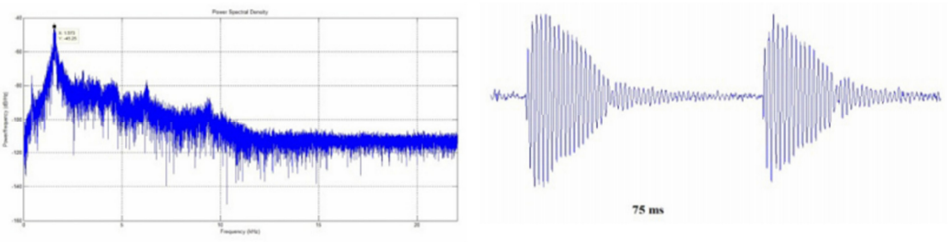


شکل ۳– پروفیل افقی و عمودی از یک نمونه حفره آوازخوانی آبدزدک *Gryllotalpa australis* برای نشان دادن محل قرارگیری حشره در هنگام خواندن جفت.

Fig. 3- Plan and vertical section scale drawings of a typical singing burrow of *Gryllotalpa australis,* to show the position of the singing insect and its position relative to the horn, bulb and constriction (Daws *et al.*, 1996).

محققان با ضبط صدای آبدزدک نر و تقویت و انتشار آن در محیط، آبدزدک‌های ماده را به طرف صدا جذب کرده و با نصب یک تله قیفی شکل در زیر بلندگوی پخش صدا، حشرات را به دام انداختند. فرکانس‌های حامل و میزان پالس‌های امواج صوتی، مشابه صدای طبیعی حشره بودند. طبق مشاهدات، با افزایش شدت صدای پخش‌شده، تعداد بیشتری از آبدزدک‌ها به طرف صدا جذب می‌شدند (Ulagaraj & Walker, 1973, 1975; Ulagaraj, 1975). واکر (Walker, 1982) با

تکمیل و اصلاح این تله صوتی، توانست در یک محل و در طول یک شب، بیش از ۳۲۹۷ آبدزدک را در تله گرفتار کند. در شکل ٤ نمونه‌ای از ویژگی‌های استخراج شده از سیگنال صوتی آوازخوانی آبدزدک نشان داده شده است که محققان از آن برای مدل‌سازی در شناسایی گونه‌های مختلف حشره و به‌کارگیری در تله‌های صوتی استفاده می‌کنند.



(ب) (الف)

شکل ٤ – تجزیه و تحلیل سیگنال‌های صوتی آوازخوانی آبدزدک اروپایی در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد (الف) تغییرات دامنه صوت در طول زمان ۷۵ میلی‌ثانیه، (ب) چگالی طیف توان (PSD) سیگنال صوتی در حوزه فرکانس.

Fig. 4- Analysis the calling song of European mole cricket at 22 °C; (A) wave form in 75 ms (B) Power spectral density of signal in the frequency domain (Jafari *et al*., 2015).

استفاده از روش‌های صوتی برای تشخیص و ردیابی حشرات آفت پنهان

آلودگی محصولات دانه‌ای به حشرات باعث افت کمی و کیفی و درنتیجه کاهش قیمت محصول می‌گردد. حشرات نه‌تنها دانه‌های خوراکی را مصرف می‌کنند بلکه با بجا گذاشتن مواد زائد متابولیکی و قطعات بدنشان در محصولات انباری، آن‌ها را آلوده می‌کنند. همچنین حشرات با فعالیت‌های متابولیکی خود باعث ایجاد گرما و رطوبت شده که می‌تواند منجر به رشد میکروارگانیسم‌ها در دانه شود. با تقویت و فیلتر کردن صدای خوردن و حرکت حشرات پنهان در داخل محصولات دانه‌ای، آلودگی محصول انباری به صورت زودهنگام قابل‌تشخیص است ولی این روش فقط در مورد حشرات زنده کاربرد دارد(Neethirajan *et al.*, 2007). دردو دهه گذشته تحقیقات بسیاری در رابطه با تشخیص و کنترل آلودگی دانه‌های محصولات کشاورزی به آفات انباری با استفاده از سیگنال‌های صوتی انجام‌گرفته است که به دلیل ضعیف بودن حسگرهای صوتی در دریافت سیگنال‌های تولیدشده توسط حشرات، نتایج ضعیفی حاصل شده است (Hagstrum & Flinn, 1993; Hagstrum *et al.*, 1996; Fleurat-Lessard *et al*., 1994, 2006). محققان برای موفقیت بیشتر در شناسایی حشرات ریز انباری از حسگرهای صوتی مختلف شامل: میکروفون‌های حساس(Hickling, 2000)، شتاب سنج، دیسک پیزوالکتریک (Hagstum *et al*., 1996; Mankin *et al*., 2000, 2011) و کریستال‌های پیزوالکتریک برای تشخیص سیگنال‌های فراصوت (Mankin & Fisher, 2001) استفاده کرده‌اند. موسوی و همکاران(Mousavi *et al.*, 2017a) از یک سامانه صوتی مجهز به حسگر پیزوالکتریک برای دریافت سیگنال‌های صوتی آفت شپشه دندانه‌دار برنج و از یک سامانه کنترل دما برای تعیین دمای فعالیت‌های تغذیه‌ای و حرکتی آفت استفاده کردند. طبق نتایج به‌دست آمده، فرکانس صوتی حرکت و تغذیه آفت به ترتیب ۲/۱ و ۲/۸ کیلوهرتز بود. موسوی و همکاران(Mousavi *et al.*, 2017b) با استفاده از یک حسگر صوتی تقویت شده پیزوالکتریک و مدار تشخیص بر اساس پایگاه داده، امکان دریافت سیگنال‌های صوتی با شدت پایین‌تر از حد شنوایی انسان (زیر صفر دسی‌بل) را برای تشخیص آفت شپشه آرد(*Tribium confusum*) در توده گندم به حالت لاروی و حشره کامل (تا فاصله ۳۰ سانتی‌متری از حسگر) فراهم کردند. بانگا و همکاران (Banga *et al.*, 2019) در پژوهشی با

ضبط و آنالیز صدای حرکات خزشی و تغذیه دو حشره آفت *Callosobruchus chinensis* و سوسک لوبیا چشم بلبلی *Callosobruchus maculatus* قادر به تشخیص و شناسایی آنها در داخل توده‌ای از نخود و ماش شدند. دامنه صدای دو حشره در هر دو نوع حبوبات اختلاف معنی‌داری داشتند.

تشخیص و ردیابی حشراتی که در داخل خاک یا قسمت‌های داخلی گیاهان زندگی می‌کنند، کاری سخت و دشوار بوده و معمولاً با برش یا حفاری‌های مخرب و حذف قسمتی از گیاه همراه است. استفاده از روش‌های صوتی برای تشخیص حشرات پنهان می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش برش اندام گیاه باشد. لارو ریشه‌خوار سوسک سرگین غلتان (Scarabaeidae) می‌تواند تهدیدی جدی برای اکوسیستم‌های کشاورزی و جنگل باشد ولی بسیاری از جزئیات بوم‌شناسی این لارو هنوز ناشناخته است. گورس و چسمور (Gorres & Chesmore, 2019) یک روش تجزیه و تحلیل داده‌های صوتی را بر اساس صدای فعال لاروهای این حشره (مانند صدای خش خش) در داخل خاک، برای بدست آوردن بینش جدید در بوم‌شناسی لارو ابداع کردند و برای اولین بار امکان نظارت غیرتهاجمی بر گونه‌های آفت را فراهم نمودند. سوسک‌های پوست خوار کاج[12] (Coleptera: *Curculion idea*) از آفات مهم طبیعی در تخریب جنگل‌ها و اختلال در صنعت چوب می‌باشند. سوسک‌های پوست خوار از سیگنال‌های صوتی برای طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های زیستی خود ازجمله شناسایی و ایجاد ارتباط با جفت، تعیین قلمرو، تشخیص گونه حشره، فرار از شکارچی و انتخاب میزبان استفاده می‌کنند. هوفس‌تیتر و همکاران (Hofstetter *et al*., 2014) با پخش صداهای بیولوژیکی پردازش‌شده سوسک پوست خوار، باعث اختلال در جفت‌گیری و درنتیجه کاهش تولیدمثل آفت شدند. همچنین استفاده از این روش باعث کاهش فعالیت آفت و کاهش عمر حشره بالغ گردید. الحداد و برودی (El-Hadad & Brodie, 2019) با استفاده از ضبط و آنالیز امواج صوتی حاصل از فعالیت‌های موریانه در داخل بلوک‌های چوبی، نشان دادند که فعالیت‌های این حشره در فرکانس‌های ٤/٢ تا ٥ کیلوهرتز قابل شناسایی و ردیابی است.

مطلوبیت روش صوتی برای تشخیص حشرات به چند عامل بیوفیزیکی بستگی دارد که شامل: نسبت توان سیگنال به توان نویز[13] صدای حشرات، اعوجاج[14] و تضعیف[15] صداها به‌هنگام انتقال رسانه‌ای، شباهت‌های بین فرکانس‌ها و الگوهای صدای سایر موجودات و بخش‌های اندازه‌گیری شده سیگنال صوتی می‌شود (Mankin *et al*., 2000).

نتیجه‌گیری

ویژگی بیوآکوستیک حشرات کمک مؤثری به حشره‌شناسان برای شناسایی و طبقه‌بندی گونه‌های مختلف حشرات کرده است. از این ویژگی می‌توان برای کاهش تراکم جمعیت آفات گیاهی به صورت ایجاد اختلال در عمل جفت‌گیری، جذب جنس مخالف و به تله انداختن آن و یا ترساندن و دور کردن آفات استفاده نمود. هرچند این روش همواره به‌عنوان یک مکمل مؤثر و ارزان برای کنترل شیمیایی آفات مدنظر بوده است، ولی با آگاهی بیش‌تر از بیولوژی آفات، واکنش آن‌ها نسبت به اصوات و ارتعاشات مصنوعی و افزایش مهارت‌های الکترونیکی مزیت به‌کارگیری آن در کنترل آفات قابل‌افزایش است.

[12] Bark beetle
[13] Signal-to-noise ratio (SNR)
[14] Distortion
[15] Attenuation

Referance

Alexander, R, D. 1957. Sound production and associated behavior in insects. The Ohio Journal of Science, 57: 101-113.

Alexander, R. D. and Moore, T. E. 1958. Studies on the acoustical behavior of seventeen-year cicadas (Homoptera: Cicadidae). The Ohio Journal of Science, 58: 107-127.

Banga, K.S., Kotwaliwale, N., Mohapatra, D., Giri, S.K. and Babu, V. B. 2019. Bioacoustic detection of *Callosobruchus chinensis* and *Callosobruchus maculatus* in bulk stored chickpea (*Cicer arietinum*) and green gram (*Vigna radiata*). Food Control, 104: 278-287.

Behdad, E. 1996. Iranian Plant Protection Encyclopedia. Yadboud Press. Esfahan. 337 p. [In Persian]

Bradbury, J. W., and Vehrencamp, S. L. 1998. Principles of Animal Communication, Sinauer Associates, Massachusetts, ISBN 0-87893-100-107.

Brouwer A., Longnecker M. P., Birnbaum L. S., Cogliano J., Kostyniak P., Moore J., Schantz S. and Winneke G. 1999. Characterization of potential endocrine related health effects at low dose levels of exposure to PCBs. Environmental Health Perspectives, 107: 639.

Cooley, J. R. and Marshall, D. C. 2001. Sexual signaling in periodical cicadas, magicicada spp. (Hemiptera: Cicadidae). Behavior 138, 827-855.

Daws, A. G., Bennet-clark, H. C. and Fletcher, N. H. 1996. The mechanism of tuning of the mole cricket singing burrow. Bioacoustics, the International Journal of Animal Sound and its Recording. 7: 81-117.

Drosopoulos, S. and Claridge M. 2006. Insect sounds and communication physiology, behavior, ecology, evolution. United State, New York, Taylor, Francis Group.

El-Hadad, S. and Brodie, G. L. 2019. Using acoustic emission technique to detect termite activities in wood: Laboratory experiment. Forest Products Journal, 69(1): 17-25.

Esmaeili, M. 2011. Important Pests of Fruit Trees. Sepehr Press. 5th Edition, 588 p. [In Persian]

Forget, G., Goodman, T. and de Villiers, A. 1993. Impact of pesticide use on health in developing countries. IDRC, Ottawa, 2.

Fleurat-Lessard, F., Andrieu, A. J., Wilkin, D. R. 1994. New trends in stored-grain infestation detection inside storage bins for permanent infestation risk monitoring. In: Highly, E., Wright, E.J., Banks, H.J., Champ, B.R. (Ed.) Proceedings Sixth International Working Conference on Stored Product Protection, Canberra, April 17-23, 1994, vol. I, 397- 402.

Fleurat-Lessard, F., Tomasini, B., Kostine, L. and Fuzeau, B., 2006. Acoustic detection and automatic identification of insect stages activity in grain bulks by noise spectra processing through classification algorithms. In Proceeding 9th international working conference on stored product protection (pp. 15-18).

Ganchev, T., Potamitis, I. and Fakotakis, N. 2007. Acoustic monitoring of singing insects. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 15-20 April 2007, Honolulu, HI, USA.

Gorres, C. M., and Chesmore, D. 2019. Active sound production of scarab beetle larvae opens up new possibilities for species-specific pest monitoring in soils. Scientific Reports, 9: 10115.

Hagstrum, D. W. and Flinn, P. W. 1993. Comparison of acoustical detection of several species of stored-grain beetles (Coleoptera: Curculionidae, Tenebrionidae, Bostrichidae, Cucujidae) over a range of temperatures. Journal of Economic Entomology 86(4): 1271-1278.

Hagstrum, D. W., Flinn, P. W., Shuman, D. 1996. Automated monitoring using acoustical sensors for insects in farm-stored wheat. Journal of Economic Entomology 89, 211- 217.

Hao, Y., Campana, B., and Keogh, E. 2012. Monitoring and mining animal sounds in visual space. Journal of Insect Behavior, 25(6): 1-28.

Hickling, R., Lee, P., Velea, D., Dennehy, T. J. and Patin, A. I., 2000. Acoustic system for rapidly detecting and monitoring pink bollworm in cotton bolls. In 2000 Proceedings Beltwide Cotton Conferences, San Antonio, USA, 4-8 January, 2000: Volume 2. (pp. 984-987). National Cotton Council.

Hofstetter, R. W., Dunn, D. D., McGuire, R. and Potter, K. A. 2014. Using acoustic technology to reduce bark beetle reproduction. Pest Management Science, 70(1): 24-27.

Howard D. R. and Hill PSM. 2006. Morphology and calling song characteristics in Gryllotalpa major Saussure (Orthoptera: Gryllotalpidae). Journal of Orthoptera Research. 15: 53-57.

Huang, F., Subramayam, B. and Taylor, R. 2003. Ultrasound affects spermatophore transfer, larval numbers and larval weight of *Plodia interpunctella* (Hubner) (Lepidoptera: Pyrdidae). Journal of Stored Products Research, 39: 413-422.

Huang, F. and Subramayam, B. 2004. Behavioral and reproductive effects of ultrasound on the Indian meal moth, *Plodia interpunctella*. The Netherlands Entomological Society, 113: 157-164.

Ibrahim, A. G., Oyedum, O. D., Awojoyogbe, O. B. and Okeke, S. S. N. 2013. Electronic pest control devices: A review of their necessity, controversies and a submission of design considerations. The International Journal of Engineering and Science (IJES), 2(9): 26-30.

Igbedioh, S. O. 1991. Effects of agricultural pesticides use on humans, animals and higher plants in developing countries. Archives of Environmental Health, 46(4): 218-224.

Jafari, S., Kazemi, M. H. and Lotfalizadeh, H. 2015. Acoustic burrow structures of European mole crickets, Gryllotalpa gryllotalpa (Orth: Gryllotalpidae) in north western Iran. North-western Journal of Zoology, 11(1): 56-61.

Jafari, S., Kazemi, M. H., Shojaei, M., Lotfalizadeh, H. and Mofidi-Neyestanak, M. 2016. Key to the identification of 16 Ensiferan species (Orthoptera: Ensifera) based on bioacoustic characters. Journal of Entomological Research, 8(1): 11-27. [In Persian]

Kasraei, M. and Zare-Zadeh, M. R. 2013. Design and development of electromechanical system to insect pests repelling. 8th National Congress of Agricultural Machinery Engineering (Biosystems) and Mechanization of Iran. Feb. 9th, 2013, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad. Iran. [In Persian]

Kazemi, M. H., Jafari, S., Lotfalizadeh, H. and Mashhadi-Jafarloo, M. 2010. Evaluation on Morphological Characters of European Mole cricket, Gryllotalpa gryllotalpa (Orth.: Gryllotalpidae) in the North-west of Iran. Journal of Agricultural Sciences, Islamic Azad University, Tabriz Branch, 4(14-1): 63-74. [In Persian]

Kurma, R. 1999. *Insect Pest Control*. Arnold Ltd, Great Britain. 15.

Le-Qing Z. 2011. Insect sound recognition based on MFCC and PNN. International Conference on Multimedia and Signal Processing, pp.: 42-46. 14-15 May 2011. Guilin, Guangxi, China.

Liroff, R.A. 2000. Balancing risks of DDT and Malaria in the global POPs treaty. Pesticide Safety News, 4(3).

Mankin, R. W., Brandhorst-Hubbard, J., Flanders, K. L., Zhang, M., Crocker, R. L., Lapointe, S. L., McCoy, C. W., Fisher, R. and Weaver, D. K. 2000. Eavesdropping on insects hidden in soil and interior structures of plants. Journal of Economic Entomology, 93(4), 1173-1182.

Mankin, R.W. and Fisher, J.R. 2001. Acoustic detection of Otiorhynchus sulcatus (Fabricius) (Coleoptera: Curculionidae) larval infestations in nursery containers. In Proceeding of North American Root Weevil Workshop, Nov. 2001(Vol. 1).

Mankin, R.W., Hagstrum, D.W., Smith, M.T., Roda, A.L. and Kairo, M.T.K. 2011. Perspective and promise: a century of insect acoustic detection and monitoring. American Entomologist, 57(1): 30-44.

Mehdipour, M., Zamanian, H., Farazmand, H. and Hosseini- Gharalari, A. 2016. Disruption of reproductive behavior of grapevine cicada, Cicadatra alhageos, by acoustic signals playback. The Netherlands Entomological Society Entomologia Experimentalis et Applicata, 158: 210-216.

Mohammadi-Mobarakeh, A., Hatami, B., Jalali Zand, A., Amir Fattahi, R. and Zamanian, H. 2014. Dominant frequency characteristics of calling songs in cicada Chloropsalta smaragdula Haupt, 1920 (Hem: Cicadidae) and its relationship with body length, width and weight. Journal of Entomology and Zoology Studies, 2(6): 330-332.

Mousavi, S. F., Abbaspour-Fard, M. H., Aghkhani, M. H., Sadeghi Namaghi, H. and Ebrahimi, E. 2017a. Feasibility of Acoustic detection and examine a range of operating temperature Sawtoothed (Oryzaephilus surinamensis) (Col. Silvanidae). Iranian Journal of Biosystem Engineering, 48(1): 111-117. [In Persian]

Mousavi, S. F., Abbaspour-Fard, M. H., Aghkhani, M. H., Sadeghi Namaghi, H. and Ebrahimi, E. 2017b. Acoustic detection possibility of different stages of the confused flour beetle (*Triboium confusum*) in grain bulks using an audio sensor. Journal of Agricultural Science and Technology, 19: 1551-1563.

Nakano, R., Ishikawa, Y., Tatsuki, S., Skals, N., Surlykke, A. and Takanashi, T. 2009. Private ultrasonic whispering in moths. Communicative & Integrative Biology, 2(2): 123-126.

Neethirajan, S., Karunakaran, C., Jayas, D. S. and White, N. D. G. 2007. Detection techniques of stored-product insects in grain. Food Control, 18: 157-162.

Noda, J. J., Travieso C.M. and Sanchez-Rodriguez D. 2016. Using bioacoustics signals and support vector machine for automatic classification of insects. 3rd International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPJN). 11-12 Feb. 2016, Noida, India.

Sanborn, A. F. and Phillips, P. K. 1995. Scaling of sound pressure level and body size in cicadas (Homoptera: Cicadidae; Tibicinidae). Annals of the Entomological Society of America, 88: 479-484.

Shieh, B. S., Liang, S. H., Liao, C.Y. and Chiu Y. W. 2017. Song frequency correlates with latitude and individual body size in the cicada Mogannia formosana Matsumura (Hemiptera: Cicadidae). Acta ethol. DOI: 101007/s10211-017-0258-3. Online published by Springer.

Skals, N., Plepys, D., El-Sayed, A. M., Löfstedt, C. and Surlykke, A. 2003. Quantitative analysis of the effects of ultrasound from an odor sprayer on moth flight behavior. Journal of Chemical Ecology, 29: 71-82.

Sueur, J. and Aubin, T., 2002. Acoustic communication in the Palaearctic red cicada, Tibicina haematodes: chorus organisation, calling-song structure, and signal recognition. Canadian Journal of Zoology, 80(1): 126-136.

Tishechkin D.Y. 2003. Vibrational communication in Cercopidea and Fulgoroidea (Homoptera: Cicadina) with notes on classification of higher taxa. Russian Entomological Journal, 12(2): 129-181.

Ulagaraj, S. M. and Walker, T. J. 1973. Phonotaxis of crickets in flight: attraction of male and female crickets to male calling songs. Science, 182: 1278-1279.

Ulagaraj, S. M. 1975. Mole cricket: ecology, behavior and dispersal flight (Orthoptera: Gryllotalpidae: *Scapteriscus*). Environmental Entomology, 4: 265-273.

Ulagaraj, S. M. and Walker, T. J. 1975. Response of flying mole crickets to three parameters of synthetic song broadcast outdoors. Nature, 253: 530-532.

Valizadeh, H. and Farazmand, H. 2009. Study on the efficacy of different control methods of vine cicada, Psalmocharias alhageos (Hem. Cicadidae) in Qom province. Journal of Entomological Research, 1(3): 261-268. [In Persian]

Walker, T. J. 1964. Cryplic species among sound producing Ensiferan Ortoptera (Gryllidae and Tettigoniidae). The Quarterly Review of Biology, 39: 345-355.

Walker, T. J. 1982. Sound traps for sampling mole cricket flights (Orthoptera: Gryllotalpidae: *Scapteriscus*). The Florida Entomologist, 65(1): 105-110.

Waters D. A. 2003. Bats and moths: what is there left to learn? Physiological Entomology, 28: 237-250.

Young, D. and Josephson, R.K. 1983. Pure tone songs in cicadas with special reference to the genus Magicicada. Journal of Comparative Physiology, 152: 197-207.

Zamanian, H., Mehdipour, M. and Ghaemi, N. 2008. The study and analysis of the mating behavior and sound production of male cicada Psalmocharias alhageos (kol.)(Homoptera: Cicadidae) to make disruption in mating. Pakistan Journal of Biological Sciences, 11(17): 2062-2072.

Zamanian, H. and Pourghassem, H. 2017. Insect identification based on bioacoustics signal using spectral and temporal features. 25th Iranian Conference on Electrical Engineering. 2-4 May, 2017. Toosi University, Tehran, Iran.

Zha, Y., Chen, Q. and Lei, C. 2009. Ultrasonic hearing in moths. Annales- Societe Entomologique de France, 45(2): 145-156.

Journal of Entomological Research

Volume 11, Issue 3, pages: 231-244

Islamic Azad University, Arak Branch
ISSN 2008-4668
http://jer.iau-arak.ac.ir

A review on the use of Bio-acoustics in the recognition and non-chemical control of insect pests

A. Reshadsedghi[1*]

1- Assistant professor of Agricultural Engineering Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran

Abstract

The application of chemical pesticides to control plant pests causes contamination of soil, air and surface and underground water, resulting in damage to non-target species and humans. Non-chemical pest control methods included physical, biological and genetic control and the broad based integrated pest management have been advocated as the ways to reduce pesticide contamination in environment. One of the physical pest control methods is the use of acoustic (sound or ultrasound) electronic devices that act as pest repellers, pest chasers, pest deterrents, disruptors of pest mating and pesticides. Scientists have identified and classified different species of insects by patterning of the bio acoustic signals that insects produce for sexual communication or react to them for escaping from the predators. Also, by emission of synthetic sound of insects, they cause disruption in the mating of insects or attract the opposite sex and capture them to reduce the population of pests. Research has shown that acoustic control can be used as an effective and low cost supplement to chemical control of pests. Some studies of acoustic control of insect pests are mentioned in this review.

Key words: Bio acoustics, Non-chemical pest control, Plant pests, Sound, Ultrasound.

* Corresponding Author, E-mail: a.reshadsedghi@areeo.ac.ir
Received:15 Oct. 2019– Accepted:18 Dec 2019