Archive of SID

Iranian Journal of Plant Protection Science
Vol 49, No 2, Autumn & Winter 2018-2019 (243-254)
DOI: 10.22059/ijpps.2018.253360.1006831

دانش گیاهپزشکی ایران
دورهٔ ۴۹، شمارهٔ ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۷ (ص ۲۵۴-۲۴۳)

شناسایی ترکیب‌های آلی فرّار برگ پسته و نقش آن‌ها در جلب پسیل معمولی پسته *Agonoscena pistaciae* (Hemiptera: Aphalaridae)

محبوب قمری[۱]، وحید حسینی نوه[۲*]، خلیل طالبی جهرمی[۲]، جاماسب نوذری[۳] و حسین الهیاری[۲]

۱، ۲ و ۳. دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار، گروه گیاهپزشکی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۵ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/٤/۱۳)

چکیده

پسیل معمولی پسته (*Agonoscena pistaciae*) آفت کلیدی باغ‌های پسته در ایران به شمار می‌رود. در حال حاضر ترکیب‌های حشره‌کش علیرغم تأثیرات منفی خود بر سلامت انسان و محیط‌زیست، بیشتر تنها و واپسین گزینهٔ ممکن در مهار پسیل معمولی پسته هستند. بااین‌حال فشار گزینشی آفت‌کش‌ها باعث به وجود آمدن جمعیت‌های بسیار مقاوم از پسیل معمولی پسته شده است. امروزه ترکیب‌های آلی فرّار گیاهان امیدواری‌هایی را در گسترش روش‌های پایدار مدیریت آفت‌ها ایجاد کرده‌اند. در این راستا، ترکیب‌های آلی فرّار از برگ درختان پستهٔ رقم‌های اوحدی (Ohadi) و کله قوچی (Kale ghoochi) جمع‌آوری شده و با روش کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی (GC-MS) شناسایی شدند. به ترتیب ۴۳ و ۳۷ ترکیب آلی فرّار ازجمله ترکیب‌های مونوترپن، استری، اسیدی، الکلی، آلدهیدی و آروماتیک در دو رقم اوحدی و کله قوچی شناسایی شدند. در میان ترکیب‌های، سه ترکیب (E)- β-Ocimene، Limonene و Methyl benzoate به ترتیب با ۳۲/۵، ۱٤/۸ و ۱۲/۱ درصد در رقم اوحدی و سه ترکیب (E)- β-Ocimene، Limonene و α-Thujene به ترتیب با ۲۹/۲، ۲۰/۱ و ٦/٦ درصد در رقم کله قوچی بیشترین مقدار را به خود اختصاص دادند. بررسی پاسخ بویایی حشره‌های بالغ پسیل معمولی پسته در بو سنج Y شکل (Olfactometer) نشان داد که حشره‌های نر (P<۰/۰۳) و ماده (P<۰/۰۰۱) به‌طور معنی‌داری به بوی برگ درختان پسته (رقم اوحدی) جلب می‌شوند. نتیجه‌های برآمده از این پژوهش می‌تواند در گسترش روش‌های مهاری بر پایهٔ به‌کارگیری مواد رابط شیمیایی همانند شکار انبوه و یا دور کردن پسیل معمولی پسته و یا جلب دشمنان طبیعی آن مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: استر، بویایی‌سنجی، پسته، ترکیب‌های آلی فرّار، مونوترپن.

Identification of volatile organic compounds of pistachio trees and their role in attraction of common pistachio psyllid, *Agonoscena pistaciae* (Hemiptera: Aphalaridae)

Mahboob Ghamari[1], Vahid Hosseininaveh[2*], Khalil Telebi Jahromi[2], Jamasb Nozari[3] and Hossein Allahyari[2]
1, 2, 3. Ph. D. Candidate, Professor and Associate Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agricultural Science and Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
(Received: Feb. 24, 2018 - Accepted: Jul. 4, 2018)

ABSTRACT

The common pistachio psyllid (CPP: *Agonoscena pistaciae*) is the key pest of pistachio orchards in Iran. At the moment, insecticides despite their known adverse effects on human health and environment, are the only and the last option for controlling CPP in most cases. However, selection pressure of insecticides has resulted in establishing highly resistant populations of CPP. Nowadays, volatile organic compounds (VOCs) of plants presenting opportunities for sustainable plant protection. In this regard, VOCs of pistachio trees (Ohadi and Kaleh ghoochi cultivars) were collected by headspace method in the pistachio orchards and identified chromatographically (GC–MS). VOCs, including monoterpenes, esters, acids, alcohols, aldehydes, and aromatics, were identified in both cultivars, numbering 43 in the Ohadi cultivar and 37 in the Kaleh ghoochi. The quantitatively dominant constituents were (E)-β-Ocimene (32.5%), limonene (14.8%) and methyl benzoate (12.1%) in the Ohadi cultivar and (E)-β-Ocimene (29.2%), limonene (20.1%) and α-Thujene (6.6%) in the Kaleh ghoochi. To study whether olfactory cues elicit responses in adult CPP, the odor of pistachio leaves (Ohadi cultivar) were offered in a Y-tube olfactometer to field-collected populations. Significant positive responses to volatiles of leaves were found in both males (P<0.03) and females (P<0.001). These data may be useful in semiochemically-based management strategies in the pistachio orchards such as mass trapping or deter of CPP or attraction of natural enemies.

Keywords: Ester, Monoterpene, Olfactometery, Pistachio, Semiochemical.

* Corresponding author E-mail: vnaveh@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

پستهٔ اهلی *Pictacia vera* L. یکی از باارزش‌ترین فرآورده‌های کشاورزی کشور است که ارزش اقتصادی بسیار بالایی دارد. نقشی که پسته در اقتصاد کشاورزی کشور دارد، سبب گردیده است که تا منطقه‌های فراوانی که آمادهٔ کشت این محصول هستند به پرورش آن اختصاص یابند. سازگاری با شرایط نامساعد محیطی ازجمله شوری آب و خاک و مقاومت به خشکی و کم‌آبی سبب گردیده است که پرورش پسته جایگاه ویژه‌ای در ایران داشته باشد (Neshat & Zeinadini, 2014). بر پایهٔ آمارها در سال ۲۰۱۶ میلادی، ایران با تولید بیش از ۳۱۵ هزار تن پسته مقام دوم تولید این محصول را در جهان به خود اختصاص داده است (FAO, 2016). این در حالی است که برای سال‌های بسیار ایران جایگاه نخست تولید پستهٔ جهان را در اختیار داشت (Amirteimoori & Chizari, 2008). در حال حاضر تولید پسته در ایران بر پایهٔ میزان عملکرد در واحد سطح، پایین‌تر از میانگین جهانی است (FAO, 2016). عوامل گوناگونی در پایین بودن عملکرد درختان پسته در ایران نقش دارند که آفت‌های درختان پسته به‌ویژه پسیل معمولی پسته (*Agonoscena pistaciae* Burckhardt & Lauterer, Hemiptera: Psyllidae) از مهم‌ترین آن‌ها هستند (Mehrnejad & Copland, 2005).

در حال حاضر مهار آفت‌ها در باغ‌های پسته، وابسته به به‌کارگیری آفت‌کش‌های شیمیایی است. بااین‌حال گسترش مقاومت آفت‌ها به آفت‌کش‌ها و نیز تأثیرات ناپسند این ترکب‌ها بر محیط‌زیست و سلامت انسان، کاربرد آن‌ها را با چالش‌هایی روبرو کرده است (Alizadeh *et al*., 2011; Amirzade *et al*., 2014). کاربرد آفت‌کش‌ها در باغ‌های پسته در سال‌های پسین به‌اندازه‌ای افزایش یافته است که سبب ناپایدار شدن زیست‌بوم باغ‌های پسته و طغیان گستردهٔ پسیل معمولی پسته گشته است (Rouhani & Samih, 2013). در حال حاضر یافتن راه‌های جایگزین در مهار پسیل معمولی پسته به یکی از چالش‌های متخصصین فعال در این زمینه تبدیل گشته است. به نظر می‌رسد توجه به ویژگی‌های درونی درختان پسته و ارتباط‌های شیمیایی میان آن‌ها و آفت‌ها می‌تواند بستر شایسته‌ای را برای گسترش روش‌های مدیریت تلفیقی و زیست سازگار، فراهم آورد. درختان پسته همانند دیگر گیاهان، طیف گسترده‌ای از ترکیب‌های آلی فرّار را تولید می‌کنند که سبب ایجاد شبکه‌ای از ارتباط‌های شیمیایی میان آن‌ها و موجودات پیرامون مانند گیاه‌خواران و دشمنان طبیعی می‌شود. در حال حاضر مهار رفتاری آفت‌ها با تأکید بر ترکیب‌های رابط (سمیوکمیکال) جایگاه ویژه‌ای در برنامه‌های مدیریت تلفیقی دارد (Dicke & Baldwin, 2010; Dudareva *et al*., 2013) و ترکیب‌های آلی فرّار به‌عنوان بخش برجسته‌ای از این گروه نیازمند توجه بیش‌ازپیش هستند.

ترکیب‌های آلی فرّار (Volatile Organic Compounds)، موادی هستند که در دمای اتاق دارای فشار بخار بالا و دمای جوش پایین بوده و طی فرایند فرّاریت (Volatility) از مواد مایع و جامد وارد هوای مجاور شوند (Tholl *et al*., 2006). طی این پدیده گیاهان ترکیب‌های بی‌شماری با وزن مولکولی پایین و چربی‌دوست پخش می‌کنند که به‌عنوان ترکیب‌های آلی فرّار شناخته می‌شوند (Tholl *et al*., 2006). بسیاری از گیاهان این ترکیب‌ها را در اندام‌هایی مانند تریکوم‌های غده‌ای و مجراهای رزینی اندوخته می‌کنند (Gershenzon, 2000) و بیشتر آن‌ها را بر پایهٔ یک الگوی وابسته به زمان پراکنده می‌کنند (Loughrin *et al*., 1990). برخی از این ترکیب‌ها در اثر تغذیه حشره‌های گیاهخوار نیز به محیط رها می‌شوند و می‌توانند به‌عنوان پیام‌هایی در جلب حشره‌های شکارگر و پارازیتوئید نقش ایفا کنند (Pare & Tumlinson, 1997).

ترکیب‌های آلی فرّار که بیشتر آن‌ها درواقع متابولیت‌های ثانویهٔ فرّار هستند، می‌توانند به‌عنوان ترکیب‌های کارآمد در دفاع مستقیم (دورکننده یا بازدارنده) عمل نمایند یا در دفاع غیرمستقیم (جلب دشمنان طبیعی) نقش ایفا کنند (Pickett & Khan, 2016) یا حامل پیام‌های شیمیایی باشند که گیاهان مجاور را تحریک به پاسخ‌های دفاعی کنند (Engelberth *et al*., 2004). ترکیب‌های فرّار در اثر

www.SID.ir

Archive of SID

دگرگونی‌های نور و رطوبت و دیگر تنش‌های محیطی مانند خشکی و غرقاب شدن نیز از سطح گیاهان پراکنده می‌شوند (Holzinger *et al*., 2000) و بنابراین می‌توانند داده‌هایی را دربارهٔ شرایط فیزیولوژیک و پدیده‌شناختی (فنولوژیک) گیاه میزبان در اختیار حشره‌های گیاهخوار یا حشره‌های دیگر ازجمله شکارگرها و پارازیتوئیدها قرار دهند (Dudareva *et al*., 2013). افزایش توجه علمی به بیوشیمی، فیزیولوژی و بوم‌شناسی ترکیب‌های آلی فرّار در گیاهان، باعث گسترش روش‌های گوناگون فضای فوقانی (Headspace)، جهت جمع‌آوری و آنالیز ترکیب‌های فرّار گیاهی شده است. این روش‌ها باعث نمایاندن تصویر بهتر و واقعی از ترکیب‌های فرّار در گیاهان در برابر روش‌های سنتی ازجمله استخراج افشُره، اسانس‌گیری و ریزاستخراج شده است (Tholl *et al*., 2006). باید توجه کرد در روش اسانس‌گیری با تقطیر آب، ساختار برخی از ترکیب‌های فرّار به دلیل کاربرد حرارت دگرگون می‌شود. همچنین روش ریزاستخراج (microextraction)، گنجایش کمابیش پایینی در استخراج ترکیب‌های فرّار دارد (Talebpour *et al*., 2013).

روش فضای فوقانی پویا (Dynamic Headspace) یک روش معمول و غیر ویرانگر بسیار سودمند است که در پژوهش‌های بوم‌شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. تاکنون پژوهش‌های گسترده‌ای در این زمینه بر روی درختان سیب (Bengtsson *et al*., 2001)، انجیر (Grison-Pigé *et al*., 2002)، انگور (Tasin *et al*., 2005)، مرکبات (Patt & Sétamou, 2010; Robbins *et al*., 2012)، بادام (Beck *et al*., 2014b)، گلابی (Scutareanu *et al*., 1997)، چای (Zhang *et al*., 2013) و بسیاری از گیاهان و درختان دیگر انجام شده است. شناسایی این ترکیب‌ها و بررسی اثرهای رفتاری آن‌ها به‌صورت الکتروفیزیولوژیک، بویایی‌سنجی و یا روش‌های مزرعه‌ای روی آفت‌های فعال روی این گیاهان، سبب گسترش ترکیب‌های دورکننده و یا جلب‌کننده در مهار آفت‌ها شده است.

تاکنون پاسخ بویایی پسیل معمولی پسته به بو و به‌طورکلی ترکیب‌های آلی فرّار درختان پسته مورد بررسی قرار نگرفته است. این در حالی است که پژوهش‌های گسترده‌ای دربارهٔ پاسخ بویایی گونه‌های دیگر پسیل‌ها انجام شده‌اند (Scutareanu *et al*., 1997; Horton & Landolt, 2007; Patt & Sétamou, 2010; Robbins *et al*., 2012). در این پژوهش برای نخستین بار ترکیب‌های فرّار برگ درختان پسته در شرایط باغ به روش فضای فوقانی پویا جمع‌آوری و شناسایی شد. همچنین پاسخ بویایی حشره‌های نر و ماده پسیل معمولی پسته به بوی برگ درختان پسته در سامانهٔ بویایی‌سنجی (Olfactometery) بررسی شد.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری ترکیب‌های آلی فرّار

جمع‌آوری ترکیب‌های آلی فرّار به روش فضای فوقانی پویا انجام شد. در این روش بخش‌های از گیاه یا یک گیاه کامل و یا بخش‌های از شاخه و برگ درختان درون محفظه‌ای شیشه‌ای یا پلاستیکی (Stewart-Jones & Poppy, 2006) قرار داده می‌شود و سپس در طول مدتی مشخص ترکیب‌های فرّار منتشرشده به‌وسیلهٔ یک جریان پیاپی هوا در درون یک میله جاذب جمع‌آوری می‌شوند (Raguso & Pellmyr, 1998; Tholl *et al*., 2006). در گام پسین مواد جذب‌شده با یاری حلال شسته شده و با روش‌های کروماتوگرافی شناسایی می‌شوند.

جمع‌آوری ترکیب‌های فرّار از درختان پسته (رقم‌های اوحدی و کله قوچی)، از باغی به گسترهٔ ۳ هکتار واقع در شریف‌آباد شهرستان رفسنجان (۳۰°۳۴′۱۴/۱۸N، ۵۵°۳۶′۵۳/۱۹E) که دارای رقم‌های اوحدی و کله قوچی پسته با عمر ۲۵ سال، فاصله کاشت ۳ متر و بلندی کمابیشی ۲/۵ متر بودند، انجام شد. در این باغ همگی عملیات کشاورزی به‌صورت معمول انجام می‌گرفت. برای جمع‌آوری ترکیب‌های آلی فرّار با توجه به پژوهش‌های پیشین در این مورد (Bengtsoon *et al*., 2001; Tasin *et al*., 2005)، بخشی مشخصی از شاخ و برگ‌های انتهایی درختان پسته در ارتفاع ۱/۵ متری در درون کیسهٔ پلاستیکی ویژه (Oven bag, Reynolds®) در اندازهٔ ۶۰×۴۰ سانتی‌متر قرار داده شده و دهانهٔ کیسه با

www.SID.ir

Archive of SID

به‌کارگیری بست پلاستیکی به‌طور کامل و محکم بسته شد تا هیچ‌گونه هوایی وارد کیسه نشود. به‌منظور گردش یافتن هوا درون محفظهٔ پلاستیکی، دو عدد شلنگ سیلیکونی از جای بسته شدن دهانهٔ کیسه وارد شد که یکی برای اندر رفت هوا و دیگری برای برون‌رفت هوا تعبیه شده بودند. در ابتدای دهانهٔ شلنگ خروجی (درون کیسه)، فیلتر جاذب ترکیب‌های فرّار (Tenax®) قرار داده شد تا هوای خروجی دربرگیرندهٔ ترکیب‌های آلی فرّار، نخست از فیلتر گذر کند. برون‌رفت هوا از درون فیلتر سبب پیوستن مولکول‌های ترکیب‌های فرّار به مادهٔ پلیمری، درون فیلتر می‌شود. گردش هوای ورودی و خروجی با یک عدد پمپ مینیاتوری هوا از نوع دیافراگمی ۱۲ ولتی به جریان انداخته شد (۰/۵ لیتر در دقیقه). جمع‌آوری ترکیب‌های فرّار برای زمانی برابر ۲۴ ساعت ادامه یافت. پس‌ازاین زمان فیلتر جاذب از درون محفظه بیرون آورده شده و سریعاً با درپوش‌های ویژه خود از دو سمت بسته شد. فیلترها در دمای ۲۰- درجهٔ سلسیوس نگهداری شدند (Bengtsoon *et al*., 2001; Tasin *et al*., 2005). جمع‌آوری ترکیب‌های آلی فرّار برای هر رقم از روی سه درخت کمابیش همسان در سه روز پشت سر هم انجام شد.

استخراج ترکیب‌های آلی فرّار

در گام پسین، ترکیب پلیمری درون فیلتر جاذب شیشه‌ای با یک میلی‌لیتر هگزان نرمال شسته شد. بدین منظور با به‌کارگیری یک پیپت پاستور شیشه‌ای از یک انتهای فیلتر، هگزان به درون فیلتر تزریق شده و هگزان خروجی از انتهای دیگر فیلتر جمع‌آوری گردید. درون‌مایه‌ها به ویال‌های شیشه‌ای ۲ میلی‌لیتری انتقال داده شدند و به آزمایشگاه آنالیز دستگاهی به‌منظور انجام کروماتوگرافی و شناسایی ترکیب‌ها منتقل گردید (Bengtsoon *et al*., 2001; Tasin *et al*., 2005).

کروماتوگرافی گازی همراه با طیف‌سنجی جرمی (GC-MS)

برای شناسایی ترکیب‌های فرّار از روش کروماتوگرافی گازی همراه با طیف‌سنجی جرمی استفاده گردید. بدین منظور، نخست حجم محلول برآمده از ترکیب‌های شست‌وشو شده با هگزان در دمای اتاق به نزدیک ۱۰۰ میکرولیتر کاهش داده شده و سپس به میزان ۰/۵ میکرولیتر به دستگاه کروماتوگرافی تزریق شد. سامانهٔ کروماتوگرافی دربرگیرندهٔ دستگاه GC مدل ۷۸۹۰A (Agilent Technologies) مجهز به آشکارساز مدل ۵۹۷۵C (Agilent Technologies) دارای ستون مدل Rtx 5 MS (Restek Corporation) با طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و نیز ضخامت فیلم ۲۵ میکرومتر بود. دماهایی آشکارساز و محفظه تزریق به ترتیب برابر با ۲۳۰ و ۲۵۰ درجهٔ سلسیوس بودند و برنامهٔ دمایی از ۴۰ درجهٔ سلسیوس (یک دقیقه ثابت) با نسبت ۳ درجهٔ سلسیوس بر دقیقه آغاز شده و در پایان به ۲۵۰ درجهٔ سلسیوس (۱۰ دقیقه ثابت) رسید. از گاز هلیم (۹۹/۹۹۹ درصد) به‌عنوان حامل با سرعت جریان ۱ میلی‌لیتر بر دقیقه و انرژی یونیزاسیون برابر با ۷۰ الکترون-ولت استفاده شد. داده‌های خروجی با برنامهٔ Agilent MSD Chemstation تجزیه‌وتحلیل شدند.

جمع‌آوری حشره‌های

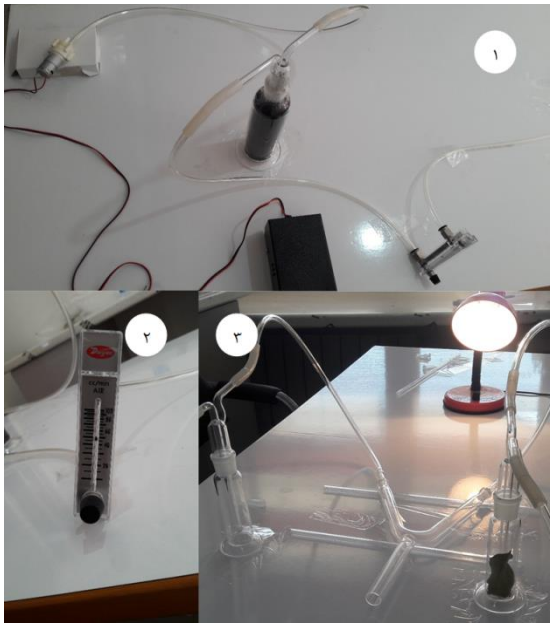
برای آزمایش‌های بویایی‌سنجی و بررسی پاسخ جمعیت مزرعه‌ای پسیل معمولی پسته به بوی برگ درختان پسته، نیاز به جمع‌آوری حشره‌های بالغ پسیل معمولی پسته بود. بدین منظور حشره‌ها از باغ ذکرشده در بخش پیشین (جمع‌آوری ترکیب‌های فرّار) در تابستان سال ۱۳۹۶ جمع‌آوری شدند. برای جمع‌آوری شاخه‌های آلوده (رقم اوحدی) به پسیل در درون کیسه‌های پلاستیکی تکان داده شده و حشره‌ها سریعاً به آزمایشگاه منتقل می‌شدند. در طی روزهای انجام آزمایش بویایی‌سنجی، حشره‌های بالغ در ساعات نخستین روز جمع‌آوری و در همان روز در ساعات مشخص پاسخ آن‌ها در بو سنج (الفکتومتر) مورد سنجش قرار می‌گرفت (Zaka *et al*., 2010). حشره‌های نر و ماده در آزمایشگاه با توجه به دو شکلی جنسی مربوط به تخم‌ریز حشره‌های ماده جداسازی شدند.

www.SID.ir

Archive of SID

بویایی‌سنجی

آزمون بویایی‌سنجی بر پایهٔ پژوهش‌های پیشین انجام‌شده روی پسیل گلابی (Horton & Landolt, 2007; Guédot *et al.*, 2010) با دگرگونی‌هایی انجام شد. برای این منظور از یک بو سنج Y شکل (شکل ۱) (طول هر بازو ۱۷/۵ سانتی‌متر، قطر درونی لوله ۲/۵ سانتی‌متر) برای برآورد پاسخ حشره‌های نر و ماده در برابر پیام‌های بویایی استفاده شد. گردش هوا در سامانهٔ بو سنج با به‌کارگیری یک پمپ هوای مینیاتوری ۱۲ ولتی، با شدت ۵۰ میلی‌لیتر در دقیقه ایجاد شد. برای هماهنگی جریان از یک جریان‌سنج (فلومتر) (Dwyer®) استفاده شد که در گذر جریان هوا قرار داده شده بود. جریان هوای پمپ شده به‌منظور پالایش و از میان بردن مولکول‌های ناخواسته نخست از درون محفظهٔ ذغال فعال (یک شیشهٔ گازشور ۲۵۰ میلی‌لیتری) رد شده و پس از گذر از درون جریان‌سنج، دوشاخه و هر یک از شاخه‌ها به یک شیشه گازشور ۱۰۰ میلی‌لیتری متصل شد. لوله‌های خروجی از محفظه‌ها به بازوهای لولهٔ Y شکل متصل شدند. در یکی از محفظه‌ها ۳ گرم برگ سالم درختان پسته (رقم اوحدی) قرار داده شد و از محفظهٔ دیگر به‌عنوان تیمار شاهد (هوا) استفاده شد. برای انجام آزمایش هر یک از حشره‌های بالغ نخست به درون یک میکروتیوب ۱/۵ میلی‌لیتری منتقل شده و پس از آشکار ساختن جنسیت وارد لولهٔ اصلی بو سنج شدند. برای هر یک از حشره‌ها ۳ دقیقه زمان داده شد تا یکی از بازوها را برگزینند (۳ سانتی‌متر حرکت در لولهٔ فرعی). پسیل‌هایی که پس ۳ دقیقه وارد هیچ‌یک از بازوها نشدند، حذف شده و در آنالیزهای آماری لحاظ نگردیدند. هر تکرار دربرگیرندهٔ ۱۶ عدد پسیل بالغ از یک جنس بود. برای هر تکرار پس از سنجش پاسخ ۸ پسیل، لولهٔ Y شکل ۱۸۰ درجه به‌صورت افقی چرخانده شده و ۸ حشرهٔ دیگر آزمایش شدند. پس از هر تکرار لولهٔ Y و محفظه‌ها در آب داغ و مادهٔ شوینده غوطه‌ور شده و سپس با آب و هگزان مورد شسته شدند. آزمایش‌های بویایی‌سنجی در ۵ تکرار انجام گرفت و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با آزمون ناپارامتری مربع کای (Chi square) انجام شد (Zaka *et al.*, 2010; Diaz-Montano & Trumble, 2013). این آزمایش تنها با برگ رقم اوحدی انجام شد؛ زیرا هدف تنها آشکار کردن پاسخ بویایی پسیل معمولی پسته در سامانهٔ بویایی‌سنجی به بوی برگ درختان پسته بود.



شکل ۱. دستگاه بو سنج (الفکتومتر) و بخش‌های آن: ۱- پمپ هوا، محفظهٔ ذغال فعال و جریان‌سنج. ۲- جریان‌سنج. ۳- محفظه‌های دربردارندهٔ بوی برگ یا شاهد به همراه لولهٔ Y شکل.

Figure 1. Olfactometer and its parts: 1- Air pump, active charcoal flask and flowmeter. 2- Flowmeter. 3- Flasks containing odor source or control with Y tube.

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج

ترکیب‌های آلی فرّار درختان پسته

ترکیب‌های آلی فرّار شناسایی‌شده از رقم‌های اوحدی و کله قوچی به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ آمده‌اند. بر پایهٔ نتیجه‌های GC-MS در رقم اوحدی ۴۳ ترکیب شناسایی شد که از این شمار، ۱۵ ترکیب ساختار استری، ۱۲ ترکیب ساختار مونوترپنی، ۶ ترکیب ساختار الکلی، ۳ ترکیب ساختار اسیدی، ۴ ترکیب ساختار آلدهیدی، ۲ ترکیب ساختار آروماتیک و ۱ ترکیب ساختار سزکوئی‌ترپن داشتند (جدول ۱). به‌طورکلی در نمونهٔ تزریق‌شده (بدون در نظر گرفتن حلال) ۲۹/۷ درصد حجم کل متعلق به ترکیب‌های استری و ۵۹/۴ درصد از حجم کل به ترکیب‌های مونوترپن تعلق داشته است. همچنین ترکیب (E)- β-Ocimene با ۳۲/۵ درصد، ترکیب Limonene با ۱۴/۸ درصد، ترکیب Methyl benzoate با ۱۲/۱ درصد و ترکیب Methyl Salicylate با ۸/۹ درصد، اجزای اصلی ترکیب‌های فرّار شناسایی‌شده در رقم اوحدی بودند.

در ترکیب‌های آلی فرّار رقم کله قوچی ۳۷ ترکیب شناسایی شد. از این شمار، ۱۲ ترکیب ساختار استری، ۱۳ ترکیب ساختار مونوترپنی، ۵ ترکیب ساختار الکلی، ۳ ترکیب ساختار اسیدی، ۳ ترکیب ساختار آروماتیک و ۲ ترکیب ساختار آلدهیدی داشتند (جدول ۲). به‌طورکلی در نمونهٔ تزریق‌شده (بدون در نظر گرفتن حلال) ۱۲/۷ و ۶۸/۷ درصد از حجم کل به ترتیب متعلق به ترکیب‌های استری و مونوترپن بوده است. همچنین ترکیب (E)- β-Ocimene با ۲۹/۲، ترکیب Limonene با ۲۰/۱ و α-Thujene با ۶/۶ درصد بیشترین درصد تشکیل‌دهندهٔ ترکیب‌های آلی فرّار در این رقم را به خود اختصاص داده بودند.

بر پایهٔ نتیجه‌های به‌دست‌آمده ۳۲ ترکیب همسان در مجموعه ترکیب‌های آلی فرّار هر دو رقم موردبررسی وجود داشته‌اند؛ اما شمار ۱۱ ترکیب در رقم اوحدی و شمار ۵ ترکیب در رقم کله قوچی به‌صورت ویژه وجود داشتند که در جدول‌های ۱ و ۲ آشکار گردیده‌اند.

جدول ۱. ترکیب‌های آلی فرّار در رقم اوحدی پسته

Table 1. Volatile organic compounds in Ohadi cultivar of pistachio

No.	Compound	Class	RT** (min)	Relative percent (%)
1	Ethyl butyrate	ester	5.06	0.27
2	(E)-2-Hexenal	aldehyde	6.60	4.05
3	(Z)-3-hexen-1-ol	alcohol	6.77	0.99
4	(E)-2-hexen-1-ol	alcohol	7.15	2.01
5	1-Hexanol	alcohol	7.24	0.74
6	2-Propenoic acid	acid	8.17	0.18
7	α-Thujene	monoterpene	9.26	3.25
8	α-Pinene	monoterpene	9.52	2.43
9	(E)-Ethyl tiglate	ester	9.93	0.21
10	Camphene	monoterpene	10.12	0.27
11	(E)-2-Hexenoic acid	acid	11.02	0.34
12	Sabinene	monoterpene	11.23	0.12
13	β-pinene	monoterpene	11.33	0.20
14	β-myrcene	monoterpene	12.05	0.82
15	**E-2-Methyl-1,3-pentadiene ***	ester	12.86	0.97
16	**n-Hexyl acetate ***	ester	13.16	0.25
17	E-2-Hexen-1-ol acetate	alcohol	13.30	1.57
18	1-methyl-4-(1-methylethyl)benzene	aromatic	13.55	1.11
19	Limonene	monoterpene	13.73	14.80
20	**2-Ethylhexanol ***	alcohol	13.95	0.25
21	(E)-α-Ocimene	monoterpene	14.23	0.73
22	(E)- β-Ocimene	monoterpene	14.75	32.5
23	γ-Terpinene	monoterpene	15.15	0.63
24	α-Terpinolene	monoterpene	16.52	0.45
25	1-methyl-4-(1-methylethenyl)benzene	aromatic	16.62	0.41
26	Methyl benzoate	ester	16.94	12.13
27	**(Z)-3-hexenyl-2-methylbutanoate ***	ester	17.18	0.38
28	**Nonanal ***	aldehyde	17.35	0.33
29	(E)-2-Hexen-1-ol, propanoate	ester	17.63	0.45
30	**(E)-4,8-Dimethyl-1,3,7-nonatriene ***	monoterpene	17.89	0.18
31	2-Ethylhexyl acetate	ester	19.55	0.27
32	(E,Z)-2,6-nonadienal	aldehyde	19.66	0.33
33	Ethyl benzoate	ester	20.49	1.10
34	(Z)-3-hexenyl butyrate	ester	21.21	1.82
35	Isobutyric acid	acid	21.47	0.37
36	**Methyl salicylate ***	ester	21.59	8.86
37	**Decanal ***	aldehyde	22.07	0.30
38	**Isooctyl acrylate ***	ester	23.20	1.15
39	Z-3-hexenyl-2-methylbutanoate	ester	23.29	0.52
40	E-2-Hexenyl Isovalerate	ester	23.57	0.90
41	1,7,7-trimethyl-, acetate	ester	25.67	0.38
42	**Hexanoic acid ***	acid	30.18	0.31
43	**(E,E)-α-Farnesene ***	Sesquiterpene	35.01	0.25

* Exclusive compounds in the VOCs of Ohadi cultivar, ** RT: Retention time

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. ترکیب‌های آلی فرّار در رقم کله قوچی پسته

Table 2. Volatile organic compounds in Kaleh Ghoochi cultivar of pistachio

No.	Compound	Class	RT** (min)	Relative percent (%)
1	Ethyl butyrate	ester	5.06	0.55
2	(E)-2-Hexenal	aldehyde	6.16	6.29
3	(Z)-3-hexen-1-ol	alcohol	6.78	1.44
4	**(**E)-2-hexen-1-ol	alcohol	7.15	3.75
5	1-Hexanol	alcohol	7.24	1.00
6	2-Propenoic acid	acid	8.17	0.53
7	**Tricyclene ***	aromatic	9.03	0.17
8	α-Thujene	monoterpene	9.26	6.60
9	α-Pinene	monoterpene	9.52	5.26
10	(E)-Ethyl tiglate	ester	9.93	0.19
11	Camphene	monoterpene	10.13	0.80
12	(E)-2-Hexenoic acid	acid	11.03	0.34
13	Sabinene	monoterpene	11.24	0.19
14	β-pinene	monoterpene	11.34	0.51
15	β-myrcene	monoterpene	12.07	1.31
16	**δ-3-carene ***	monoterpene	12.86	1.22
17	**α-Terpinene ***	monoterpene	13.17	0.41
18	E-2-Hexen-1-ol acetate	alcohol	13.31	1.96
19	1-methyl-4-(1-methylethyl)benzene	aromatic	13.56	1.30
20	Limonene	monoterpene	13.74	20.12
21	(E)-α-Ocimene	monoterpene	14.23	0.63
22	(E)- β-Ocimene	monoterpene	14.74	29.19
23	γ-Terpinene	monoterpene	15.15	1.37
24	α-Terpinolene	monoterpene	16.52	1.08
25	1-methyl-4-(1-methylethenyl)benzene	aromatic	16.62	0.30
26	Methyl benzoate	ester	16.94	4.76
27	(E)-2-Hexen-1-ol, propanoate	alcohol	17.63	0.39
28	2-Ethylhexyl acetate	ester	19.55	0.22
29	(E,Z)-2,6-nonadienal	aldehyde	19.67	0.27
30	Ethyl benzoate	ester	20.49	0.49
31	(Z)-3-hexenyl butyrate	ester	21.21	1.16
32	Isobutyric acid	acid	21.47	0.31
33	**(E)-2-Hexenyl butyrate ***	ester	21.62	3.14
34	**2-Ethylhexyl acrylate ***	ester	23.20	0.78
35	Z-3-hexenyl 2-methylbutanoate	ester	23.29	0.37
36	E-2-Hexenyl Isovalerate	ester	23.57	0.81
37	1,7,7-trimethyl-, acetate	ester	25.67	0.24

* Exclusive compounds in the VOCs of Kaleh ghoochi cultivar, ** RT: Retention time

بویایی‌سنجی

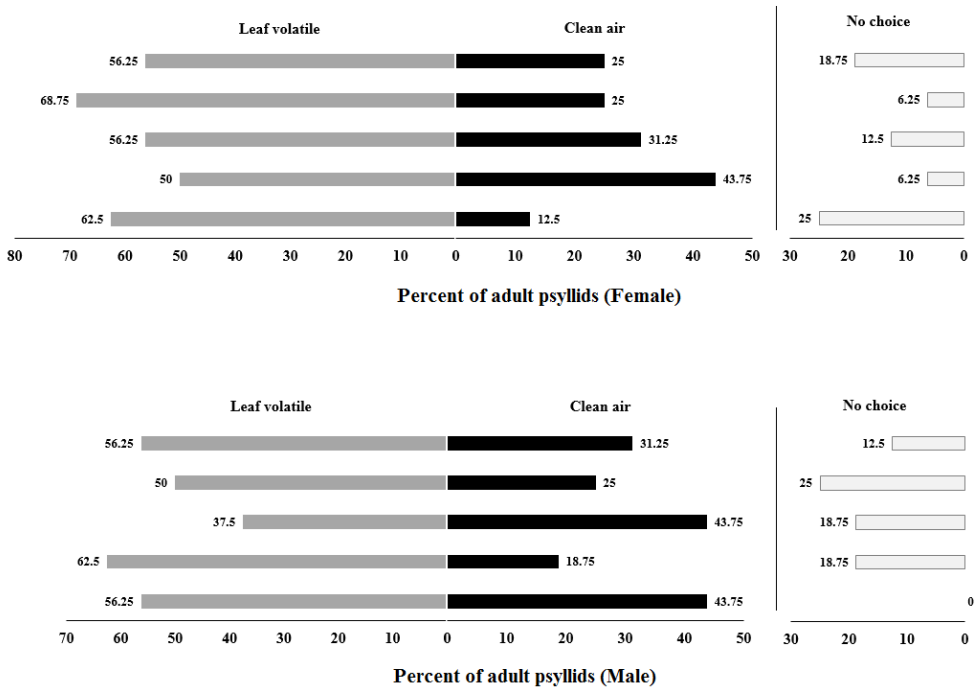
پاسخ بویایی حشره‌های نر و ماده پسیل معمولی پسته در شکل ۲ نشان داده شده است. بر پایهٔ نتیجه‌های حشره‌های ماده (X^2 = ۱۱/۰۴ و df =۱ و P<۰/۰۰۱) و نر (X^2 = ۴/۶ و df =۱ و P<۰/۰۳) به‌طور معناداری به بازویی گرایش داشتند که دربرگیرندهٔ برگ درخت پسته بود. درمجموع ۵ تکرار ۵۸/۷۵ درصد از حشره‌های ماده به سوی بازوی دربرگیرندهٔ برگ پسته، ۲۷/۵ درصد به سوی بازوی شاهد و ۱۳/۷۵ درصد از حشره‌ها نیز هیچ‌یک از بازوها را برنگزیدند. همچنین درمجموع ۵ تکرار، ۵۲/۵ درصد از حشره‌های نر به سوی بازوی دربرگیرندهٔ برگ، ۳۲/۵ درصد به سوی بازوی شاهد و ۱۵ درصد نیز هیچ‌یک از بازوها را برنگزیدند. نتیجه‌های کلی نشان‌گر این بود که بوی برگ درخت پسته در سامانهٔ بویایی‌سنجی توانایی جلب هر دو جنس حشره‌های بالغ پسیل معمولی پسته را دارد.

بحث

ترکیب‌های شناسایی‌شده در این پژوهش، همسو با دیگر پژوهش‌های انجام‌شده روی ترکیب‌های فرّار درخت پسته بود و بیشتر آن‌ها پیش‌تر در رقم‌ها و یا گونه‌های دیگر جنس پسته مورد شناسایی قرار گرفته‌اند. البته باید توجه کرد در برخی از این پژوهش‌ها از روش اسانس‌گیری (Chahed *et al.*, 2008; Sonmezdag *et al.*, 2018) و در برخی از روش ریزاستخراج با فاز جامد (SPME) (Georgiadou *et al.*, 2015; Ling *et al.*, 2016) و یا روش تبخیر بو به کمک حلال (SAFE) (Sonmezdag *et al.*, 2017) استفاده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. پاسخ بویایی حشره‌های ماده (X^2 = ۱۱/۰۴ و df =۱ و P<۰/۰۰۱) و نر (X^2 = ۴/۶ و df =۱ و P<۰/۰۳) پسیل معمولی پسته به بوی برگ درخت پسته (رقم اوحدی) در بو سنج Y شکل. هر ستون افقی نماینده یک تکرار مستقل با ۱۶ عدد حشره بالغ پسیل معمولی پسته است.

Figure 2. Olfactory responses of females (X^2 = 11.04, df = 1, P<0.001) and males (X^2=4.6, df = 1, P<0.03) of the pistachio common psyllid to leaf volatiles of pistachio (Ohadi cultivar) in a Y tube olfactometer. Each vertical bar represents one independent replicate with 16 adults of the common pistachio psyllid.

همچنین در پژوهش‌هایی که از روش فضای فوقانی پویا استفاده کرده‌اند (Roitman *et al.*, 2011; Beck *et al.*, 2014a,b,c)، جمع‌آوری ترکیب‌ها از بافت‌های گیاهی در آزمایشگاه انجام شده است؛ بنابراین نتیجه‌های به‌دست‌آمده در این پژوهش‌ها نمی‌توانند به‌خوبی نشان‌دهندهٔ نوع و نسبت ترکیب‌های آلی فرّار در درخت پسته که در یک محیط طبیعی قرار گرفته است باشند؛ زیرا هر گونه ایجاد آسیب و دگرگونی ظاهری در بافت‌های گیاهی باعث دگرگونی‌ها آنزیمی و شیمیایی در گیاه شده و درنتیجه میزان و الگوی پراکندگی ترکیب‌های فرّار تغییر خواهد کرد (Smart & Blight, 1997). همچنین عامل‌های زنده و غیر موجود در شرایط طبیعی و تعاملات آن‌ها با گیاهان در نوع و نسبت ترکیب‌های فرّار گیاهی تأثیرگذار هستند (Holzinger *et al.*, 2000).

در این پژوهش بر پایهٔ نتیجه‌ها، ترکیب‌های آلی فرّار در دو رقم تفاوت‌هایی را ازنظر کمی و کیفی باهم داشتند. همچنین ترکیب‌های (E)-β-Ocimene، Limonene و Methyl benzoate اجزای عمده ترکیب‌های فرّار شناسایی‌شده در رقم اوحدی و ترکیب‌های (E)-β-Ocimene، Limonene و α-Thujene در رقم کله قوچی مقدار بیشتری را به خود اختصاص داده بودند. تفاوت‌های مشاهده‌شده در نوع و کمیت ترکیب‌های آلی فرّار گونه‌های گوناگون پسته و ارقام تجاری آن در پژوهش‌های دیگر نیز به‌خوبی نشان داده شده‌اند (Roitman *et al.*, 2011; Sonmezdag *et al.*, 2018). همچنین دو ترکیب (E)-β-Ocimene، Limonene به‌عنوان یکی از اجزای اصلی ترکیب‌های فرّار در درختان مرکبات شناخته شده و نقش اصلی را در جلب پسیل آسیایی مرکبات (*Diaphorina citri* Kuwayama) ایفا می‌کنند (Patt & Sétamou, 2010; Robbins *et al.*, 2012). نقش این دو ترکیب در جذب پسیل هویج (*Trioza apicalis* Forster) نیز مورد تأکید قرار گرفته است (Nissinen *et al.*, 2005).

بررسی و هم سنجی ترکیب‌های آلی فرّار موجود

www.SID.ir

Archive of SID

در برگ‌ها و میوهٔ گونه‌های وحشی پسته مانند بنه (*Pistacia atlantica* Desf.)، پستهٔ مصطکی (*Pistacia lentiscus* L.)، پستهٔ چینی (*Pistacia chinensis* Bunge)، پستهٔ کوهی (*Pistacia terebinthus* L.)، *Pistacia palaestina* L.؛ و رقم‌ها تجاری پسته مانند اوحدی، کرمانی و ممتاز نشان داده است که میان ترکیب‌های آلی فرّار در گونه‌ها و رقم‌های گوناگون علیرغم ناهمسانی‌های کمی و کیفی، همانندی‌های فراوانی وجود داشته و ترکیب‌هایی مانند Limonene، β-Ocimene و دیگر مونوترپن‌ها در بیشتر گونه‌ها و رقم‌های پسته کمیت بالای دارند (Roitman *et al.*, 2011). در پژوهش‌های انجام شدهٔ مشابه روی پسته، ترکیب‌های مونوترپن و استری ازنظر کمی و کیفی بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند (Chahed *et al.*, 2008; Roitman *et al.*, 2011; Beck *et al.*, 2014b). البته میزان کمیت یک ترکیب مشخص نمی‌تواند بیان‌کنندهٔ اهمیت بیشتر آن باشد زیرا در یک زیست‌بوم طبیعی هر ترکیب می‌تواند به‌تنهایی و یا در کنار دیگر ترکیب‌ها، نقشی بنیادی در ایجاد ارتباط‌های شیمیایی میان گیاهان و موجودات دیگر ایفا کند.

حشره‌های گیاهخوار و دشمنان طبیعی آن‌ها از ترکیب‌های آلی فرّار برای یافتن میزبان خود استفاده می‌کنند. البته باید توجه داشت یک گونه بخصوص بیشتر از میان ده‌ها ترکیب منتشرشده از سطح گیاهان، تنها به شماری از آن‌ها واکنش نشان می‌دهد و همگی ترکیب‌ها توانایی ایجاد پاسخ در حشره گیاهخوار یا دشمن طبیعی را ندارند (Fraser *et al.*, 2003)؛ بنابراین هر ترکیب ممکن است در یک حشره یا موجود دیگر پاسخ درخور را ایجاد کند. این پاسخ در همهٔ حشره‌ها لزوماً همسان نیست و می‌تواند کاملاً متفاوت باشد. به‌طور نمونه متیل سالیسیلات (Methyl salicylate) که در ترکیب‌های فرّار رقم اوحدی مورد شناسایی قرار گرفته است، با توجه به گیاه تولیدکننده و حشره‌های دریافت‌کننده می‌تواند نقش‌های گوناگونی را ایفا کنند. پژوهش‌های بویایی‌سنجی با به‌کارگیری این ترکیب نشان داده است که بندپایان شکارگر مانند کنه‌های Phytoseiidae، سن‌های Anthocoridae، بالتوری *Chrysopa nigricor*nis Burmeister و برخی از کفشدوزک‌ها به آن جلب می‌شوند. درعین‌حال این ترکیب روی شتهٔ *Aphis fabae* Scop. و *Sitobion avenae* Fabricus ویژگی دورکنندگی داشته است (James, 2003). اثرات جلب‌کنندگی متیل سالیسیلات روی حشره‌های *Manduca sexta* Johannson نیز گزارش شده است (Fraser *et al.*, 2003). نمونهٔ دیگر ترکیب (E)-4,8-Dimethyl-1,3,7-nonatriene است. بررسی‌ها نشان می‌دهند این ترکیب درعین‌حال که برای حشره‌های*Spodoptera litoralis* Boisduval جلب‌کننده است (Borrero-Echeverry *et al.*, 2015)، سبب جلب عامل‌های مهار زیستی نیز می‌شود (James, 2003). این ترکیب در کشت برنج سبب دور شدن آفت‌هایی همانند زنجره قهوه‌ای برنج (*Nilaparvata lugens* Stal) و هم‌زمان باعث جلب دشمنان طبیعی آفت‌ها می‌شود. در حال حاضر این ترکیب به‌صورت تجاری در مهار این زنجره قهوه‌ای برنج (Pickett & Khan 2016) و کرم سیب (Knight *et al.*, 2011) مورد استفاده قرار می‌گیرد. البته نقش برخی از ترکیب‌های آلی فرّار، همچون Nonanal، α-Farnesene، Limonene و β-Ocimene بیشتر در جلب گیاهخواران به گیاهان مورد تأکید قرار گرفته است (Ansebo *et al.*, 2004; Tholl *et al.*, 2006; Borrero-Echeverry *et al.*, 2015). دربارهٔ ترکیب‌های استری که بیشتر با نام GLVs (Green Leaf Volatiles) نیز شناخته می‌شوند باید گفت بیشتر از سطح بسیاری از گیاهان سبز پراکنده می‌شوند ولی در هنگام آسیب گیاهخواران یا به‌طورکلی آسیب‌های مکانیکی گسترش آن‌ها به‌شدت افزایش می‌یابد (Scutareanu *et al*., 1997; Toll *et al*., 2006).

اثرات ترکیب‌های آلی فرّار در درختان پسته بر روی پسیل معمولی پسته و حتی دیگر حشره‌های گیاهخوار و نیز عوامل مهار زیستی پویا در باغ‌های پسته کمابیش ناشناخته مانده است. تنها در یک پژوهش انجام‌شده در این زمینه، پاسخ الکتروفیزیولوژیک حشره‌های نر و ماده شب‌پره *Amyelois transitella* Walker به ترکیب‌های آلی فرّار درختان پسته مورد بررسی قرار گرفته و آشکار

www.SID.ir

Archive of SID

شده است که ترکیب‌های الکلی، آلدئید، کتون، آلکیل و آروماتیک بیشتر برای حشره‌های نر جلب‌کننده هستند؛ درحالی‌که حشره‌های ماده بیشتر به ترکیب‌های مونوترپن، سزکوئی‌ترپن، بنزوئید و الکل‌های با زنجیره کوتاه واکنش نشان می‌دهند (Beck *et al*., 2014a). البته پژوهش‌های گوناگونی در ارتباط با بویایی‌سنجی بر روی دیگر پسیل‌ها، ازجمله پسیل آسیایی مرکبات، پسیل‌های گلابی و پسیل سیب‌زمینی (*Bactericera cockerelli* Sulc) انجام شده است. همگی این پژوهش‌ها روشنگر این نکته هستند که پیام‌های بویایی نقش بنیادی در رفتار میزبان‌یابی این گروه از حشره‌ها دارند (Scutareanu *et al*., 2003; Soroker *et al*., 2004; Horton & Landolt, 2007; Patt & Sétamou, 2010; Robbins *et al*., 2012).

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش ترکیب‌های آلی فرّار پسته از برگ درختان دو رقم تجاری پسته (اوحدی و کله قوچی) به روش فضای فوقانی پویا در باغ پسته جمع‌آوری و مورد شناسایی قرار گرفت. در هر دو رقم ترکیب‌های مونوترپن و استری از نظر کمی و کیفی مهم‌ترین اجزای تشکیل‌دهندهٔ ترکیب‌های فرّار بودند. بر پایهٔ نتیجه‌ها، ترکیب‌های آلی فرّار در دو رقم علیرغم همانندی فراوان، ناهمگونی‌هایی را ازنظر کمی و کیفی باهم داشتند. این ناهمگونی‌ها می‌توانند یکی از دلایل حساسیت متفاوت رقم‌های پسته به پسیل معمولی پسته بوده و نیز نوع و شمار دشمنان طبیعی موجود روی رقم‌های گوناگون را تحت تأثیر قرار دهند. همچنین پژوهش‌های بویایی‌سنجی نشان داد که بوی برآمده از برگ درختان پسته سبب جلب حشره‌های نر و ماده پسیل معمولی پسته می‌شود. پژوهش و بررسی اثرات ترکیب‌های آلی فرّار درختان پسته بر روی رفتار پسیل معمولی پسته می‌تواند در گسترش روش‌های مهار پسیل معمولی پسته بر پایهٔ راهبرد Push-Pull کارآمد واقع شود. به‌طورکلی آشکار شدن نقش دقیق هر یک از این ترکیب‌ها (جلب‌کننده یا دورکننده برای پسیل معمولی پسته یا دشمنان طبیعی آن) در پژوهش‌های پسین می‌تواند در پیشبرد راهکارهایی همانند برپایی تله‌های شکار انبوه و ساخت ترکیب‌های دورکنندهٔ پسیل یا جلب‌کنندهٔ دشمنان طبیعی قابل‌استفاده در باغ‌های پسته (کاربرپسند) بر روی درختان پسته دارای اهمیت بسیار باشد.

سپاسگزاری

این پژوهش در چارچوب طرح صندوق حمایت از پژوهشگران و نخبگان کشور با شماره ۸۰۶۶۰۰۶۹ به انجام رسیده است.

REFERENCES

1. Alizadeh, A., Talebi, K., Hosseininaveh, V. & Ghadamyari, M. (2011). Metabolic resistance mechanisms to phosalone in the common pistachio psyllid, *Agonoscena pistaciae* (Hem.: Psyllidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 101, 59-64.
2. Amirteimoori, S. & Chizari, A. H. (2008). An investigation of comparative advantage of pistachio production and exports in Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 10, 395-403.
3. Amirzade, N., Izadi, H., Jalali, M. A. & Zohdi, H. (2014). Evaluation of three neonicotinoid insecticides against the common pistachio psylla, *Agonoscena pistaciae*, and its natural enemies. *Journal of Insect Science*, 14, 1-8.
4. Ansebo, L., Coracini, M., Bengtsson, M., Liblikas, I., Ramírez, M., Borg-Karlson, a-K., Tasin, M. & Witzgall, P. (2004). Antennal and behavioural response of codling moth *Cydia pomonella* to plant volatiles. *Journal of Applied Entomology*, 128, 488-493.
5. Beck, J. J., Light, D. M. & Gee, W. S. (2014a). Electrophysiological responses of male and female *Amyelois transitella* antennae to pistachio and almond host plant volatiles. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 153, 217-230.
6. Beck, J. J., Mahoney, N. E., Cook, D., Gee, W. S., Baig, N. & Higbee, B. S. (2014b). Comparison of the volatile emission profiles of ground almond and pistachio mummies: Part 1 - Addressing a gap in knowledge of current attractants for navel orange worm. *Phytochemistry Letters*, 9, 102-106.
7. Beck, J. J., Mahoney, N. E., Higbee, B. S., Gee, W. S., Baig, N. & Griffith, C. M. (2014c). Semiochemicals to monitor insect pests-future opportunities for an effective host plant volatile blend to attract navel orangeworm in pistachio orchards. *ACS Symposium Series*, 1172, 191-210.

www.SID.ir

Archive of SID

8. Bengtsson, M., Bäckman, A. C., Liblikas, I., Ramirez, M. I., Borg-Karlson, A. K., Ansebo, L., Anderson, P., Löfqvist, J. & Witzgall, P. (2001). Plant odor analysis of apple: Antennal response of codling moth females to apple volatiles during phenological development. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 3736-3741.
9. Borrero-Echeverry, F., Becher, P. G., Birgersson, G., Bengtsson, M., Witzgall, P. & Saveer, A. M. (2015). Flight attraction of *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera, Noctuidae) to cotton headspace and synthetic volatile blends. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 3, 1-7.
10. Chahed, T., Dhifi, W., Hosni, K., Msaada, K., Kchouk, M. E. & Marzouk, B. (2008). Composition of Tunisian pistachio hull essential oil during fruit formation and ripening. *Journal of Essential Oil Research*, 20, 122-125.
11. Diaz-Montano, J. & Trumble, J. T. (2013). Behavioral responses of the potato psyllid (Hemiptera: Triozidae) to volatiles from dimethyl disulfide and plant essential oils. *Journal of Insect Behavior*, 26(3), 336-351.
12. Dicke, M. & Baldwin, I. T. (2010). The evolutionary context for herbivore-induced plant volatiles: beyond the 'cry for help'. *Trends in Plant Science*, 15(3), 167-175.
13. Dudareva, N., Klempien, A., Muhlemann, J. K. & Kaplan, I. (2013). Biosynthesis, function and metabolic engineering of plant volatile organic compounds. *New Phytologist*, 198, 16-32.
14. Engelberth, J., Alborn, H. T., Schmelz, E. & Tumlinson, J. H. (2004). Airborne signals prime plants against insect herbivore attack. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101, 1781-1785.
15. Food and Agriculture Organization. (2016). *FAOSTAT*. Retrieved February 2, 2018, from http://www.fao.org/faostat.
16. Fraser, A. N. N. M., Mechaber, W. L. & Hildebrand, J. G. (2003). Electroantennographic and behavioral responses of the sphinx moth *Manduca sexta* to host plant headspace volatiles. *Journal of Chemical Ecology*, 29. 1813-1833.
17. Georgiadou, M., Gardeli, C., Komaitis, M., Tsitsigiannis, D.I., Paplomatas, E. J., Sotirakoglou, K. & Yanniotis, S. (2015). Volatile profiles of healthy and aflatoxin contaminated pistachios. *Food Research International*, 74, 89-96.
18. Gershenzon, J. (2000). Regulation of monoterpene accumulation in leaves of peppermint. *Plant Physiology*, 122, 205-214.
19. Grison-Pigé, L., Hossaert-McKey, M., Greeff, J. M. & Bessière, J. M. (2002). Fig volatile compounds - A first comparative study. *Phytochemistry*, 61, 61-71.
20. Guédot, C., Millar, J. G., Horton, D. R. & Landolt, P. J. (2010). Identification of a sex attractant pheromone for male winterform pear psylla, *Cacopsylla pyricola*. *Journal of Chemical Ecology*, 35, 1437-1447.
21. Holzinger, R., Rottenberger, S., Crutzen, P. J. & Kesselmeier, J. (2000). Emissions of volatile organic compounds from *Quercus ilex* L. measured by proton transfer reaction mass spectrometry under different environmental conditions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 105, 573-580.
22. Horton, D. R. & Landolt, P. J. (2007). Attraction of male pear psylla, *Cacopsylla pyricola*, to female-infested pear shoots. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 123, 177-183.
23. James, D. G. (2003). Synthetic herbivore-induced plant volatiles as field attractants for beneficial insects. *Environmental Entomology*, 32, 977-982.
24. Knight, A. L., Light, D. M. & Trimble, R. M. (2011). Identifying (E)-4,8-dimethyl-1,3,7-nonatriene plus acetic acid as a new lure for male and female codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Environmental Entomology*, 40, 420-430.
25. Ling, B., Yang, X., Li, R. & Wang, S. (2016). Physicochemical properties, volatile compounds, and oxidative stability of cold pressed kernel oils from raw and roasted pistachio (*Pistacia vera* L. Var Kerman). *European Journal of Lipid Science and Technology*, 118, 1368-1379.
26. Loughrin, J. N., Hamilton-Kemp, T. R., Andersen, R. A. & Hildebrand, D. F. (1990). Volatiles from flowers of *Nicotiana sylvestris*, *N. otophora* and *Malus domestica*: headspace components and day/night changes in their relative concentrations. *Phytochemistry*, 29, 2473-2477.
27. Mehrnejad, M. R. & Copland, M. J. W. (2005). The seasonal forms and reproductive potential of the common pistachio psylla, *Agonoscena pistaciae* (Hem., Psylloidea). *Journal of Applied Entomology*, 129(6), 342-346.
28. Neshat, A. & Zeinadini, A. (2014). Investigation effect of the developing salinity water on the quality of irrigation water and soils physicochemical characteristics of pistachio cultivation of Sirjan area. *Journal of Environmental Science and Technology*, 15(2), 13-22. (in Farsi)
29. Nissinen, A., Ibrahim, M., Kainulainen, P., Tiilikkala, K. & Holopaine, J. K. (2005). Influence of carrot psyllid (Trioza apicalis) feeding or exogenous limonene or methyl jasmonate treatment on composition of carrot (*Daucus carota*) leaf essential oil and headspace volatiles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 8631-8638.

www.SID.ir

Archive of SID

30. Pare, P. W. & Tumlinson, J. H. (1997). De Novo Biosynthesis of Volatiles Induced by Insect Herbivory in Cotton Plants. *Plant Physiology*, 114, 1161-1167.
31. Patt, J. M. & Sétamou, M. (2010). Responses of the Asian citrus psyllid to volatiles emitted by the flushing shoots of its rutaceous host plants. *Environmental Entomology*, 39, 618-624.
32. Pickett, J. A. & Khan, Z. R. (2016). Plant volatile-mediated signalling and its application in agriculture: successes and challenges. *New Phytologist*, 212, 856-870.
33. Robbins, P. S., Alessandro, R. T., Stelinski, L. L. & Lapointe, S. L. (2012). Volatile profiles of young leaves of *Rutaceae spp*. varying in susceptibility to the Asian citrus psyllid (Hemiptera: Psyllidae). *Florida Entomologist*, 95, 774-776.
34. Roitman, J. N., Merrill, G. B. & Beck, J. J. (2011). Survey of ex situ fruit and leaf volatiles from several Pistacia cultivars grown in California. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91, 934-942.
35. Rouhani, M. & Samih, M. A. (2013). The effect of once spring application of calcium, zinc and urea on population density of common pistachio psylla *Agonoscena pistaciae* (Hem: Psyllidae) in pistachio orchards of Rafsanjan. *Plant Pests Research*, 2(4), 35-44.
36. Scutareanu, P., Bruin, J., Posthumus, M. A. & Drukker, B. (2003). Constitutive and herbivore-induced volatiles in pear, alder and hawthorn trees. *Chemoecology*, 13(2), 63-74.
37. Scutareanu, P., Drukker, B., Bruin, J., Posthumus, M. A. & Sabelis, M. W. (1997). Volatiles from Psylla-infested pear trees and their possible involvement in attraction of anthocorid predators. *Journal of Chemical Ecology*, 23, 2241-2260.
38. Smart, L. E. & Blight, M. M. (1997). Field discrimination of oilseed rape, *Brassica napus* volatiles by cabbage seed weevil, *Ceutorhynchus assimilis*. *Journal of Chemical Ecology*, 23, 2555-2567.
39. Sonmezdag, A. S., Kelebek, H. & Selli, S. (2017). Characterization and comparative evaluation of volatile, phenolic and antioxidant properties of pistachio (*Pistacia vera* L.) hull. *Journal of Essential Oil Research*, 29, 262-270.
40. Sonmezdag, A. S., Kelebek, H. & Selli, S. (2018). Pistachio oil (*Pistacia vera* L. cv. Uzun): Characterization of key odorants in a representative aromatic extract by GC-MS-olfactometry and phenolic profile by LC-ESI-MS/MS. *Food Chemistry*, 240, 24-31.
41. Stewart-Jones, A. & Poppy, G. M. (2006). Comparison of glass vessels and plastic bags for enclosing living plant parts for headspace analysis. *Journal of Chemical Ecology*, 32, 845-864.
42. Talebpour, Z., Najafi, S., Sonboli, A., Firozy, M. & Khosroshahi, M. (2013). Comparison of Chemical Compositions of the *Tanacetum sonbolii* essential oils using head space sorptive extraction and hydrodistillation methods. *Journal of Medicinal Plants*, 4(48), 150-159.
43. Tasin, M., Anfora, G., Ioriatti, C., Carlin, S., Cristofaro, A. De, Schmidt, S., Bengtsson, M., Versini, G. & Witzgall, P. (2005). Antennal and behavioral responses of grapevine moth *Lobesia botrana* females to volatiles from grapevine. *Journal of Chemical Ecology*, 31, 77-87.
44. Tholl, D., Boland, W., Hansel, A., Loreto, F., Röse, U. S. R. & Schnitzler, J. P. (2006). Practical approaches to plant volatile analysis. *Plant Journal*, 45, 540-560.
45. Zaka, S. M., Zeng, X. N., Holford, P. & Beattie, G. A. C. (2010). Repellent effect of guava leaf volatiles on settlement of adults of citrus psylla, *Diaphorina citri* Kuwayama, on citrus. *Insect Science*, 17(1), 39-45.
46. Zhang, Z. Q., Sun, X. L., Xin, Z. J., Luo, Z. X., Gao, Y., Bian, L. & Chen, Z. M. (2013). Identification and field evaluation of non-host volatiles disturbing host location by the tea geometrid, *Ectropis obliqua*. *Journal of Chemical Ecology*, 39, 1284-1296.

www.SID.ir