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

فصلنامه تخصصی تحقیقات حشره‌شناسی
(علمی- پژوهشی)
جلد ۱۳، شماره۱، سال ۱٤۰۰، (۳٤-۲۱)

بررسی سمیت و اثرات زیرکشندگی اسانس پنج‌انگشت به‌عنوان یک ترکیب شبه هورمون جوانی روی لمبه گندم

علیرضا رحیم‌زاده[۱]، سیاوش تیرگری[۱]، سهراب ایمانی[۱]، یعقوب فتحی‌پور[۲]

۱- گروه حشره شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی تهران، تهران، ایران
۲- گروه حشره شناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

لمبه گندم، *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae)، یک آفت مهم غلات از قبیل گندم می‌باشد. در مطالعه حاضر، اثرات کشندگی و زیرکشندگی اسانس روغنی *Vitex agnus-castus* L. علیه لاروهای سن اول *T. granarium* بررسی شد. برای بررسی اثرات زیرکشندگی، لاروهای سن اول در معرض غلظت LC_{30} اسانس قرار گرفتند و پارامترهای زیستی حشرات زنده مانده بررسی شد. اسانس پنج‌انگشت سمیت تنفسی بالایی برای لاروهای سن اول *T. granarium* داشت (LC_{50}: ۱۳۲/۱٤ میکرولیتر بر لیتر هوا). به‌علاوه، زمان کشندگی *V. agnus-castus* L. پایین بود (LT_{50}: ۱۷/۲۷ ساعت) که نشان‌دهنده تاثیرات سریع ترکیب می‌باشد. دوره‌ی لاروی افراد حاصل از لاروهای سن یک قرارگرفته در معرض اسانس پنج‌انگشت به‌طور معنی‌داری طولانی‌تر از افراد شاهد بود. همچنین، در معرض قرارگیری با غلظت زیرکشنده اسانس آزمایش شده به‌طور معنی‌داری زنده‌مانی مراحل نابالغ، طول دوره بالغین و زادآوری افراد ماده بالغ را کاهش داد. نرخ خالص تولیدمثل (R_0)، نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) و نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) در جمعیت حاصل از لاروهای در معرض با اسانس پنج‌انگشت به‌ترتیب ٤/۰۲ تخم بر فرد، ۰/۰۱٦ بر روز و ۱/۰۱٦ بر روز به‌دست آمد که به‌طور معنی‌داری کمتر از جمعیت شاهد بود (به‌ترتیب ۲۷/۵۵ تخم بر فرد، ۰/۰۵۵ برروز و ۱/۰۵٦ بر روز). همچنین، میانگین طول یک نسل در جمعیت تیمار شده با اسانس حدودا ۲۲ روز بیشتر از جمعیت شاهد بود. مطابق با یافته‌های ما، اسانس پنج‌انگشت سمیت بالایی برای لاروهای *T. granarium* دارد و به نظر می‌رسد ترکیبات شبه هورمون جوانی دارد که قابلت دارد برای کنترل مؤثر جمعیت *T. granarium* در انبارها مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: لمبه گندم، اسانس روغنی، محتوای شیمیایی، سمیت تنفسی، پارامترهای جدول زندگی.

* نویسنده رابط، پست الکترونیکی: *siavashtirgari@gmail.com*

تاریخ دریافت مقاله:۹۹/۱۱/۳ - تاریخ پذیرش مقاله:۱٤۰۰/۱/۱۵

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.; Poaceae) از گیاهان گل‌دار تک‌لپه‌ای، یکی از محصولات زراعی عمده جهان است که در ایران به‌عنوان محصولی استراتژیک کشت شده و مصرف عمده آن در تهیه آرد و پختن نان است (Keshavarz, 2000). لمبه گندم، *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae)، یکی از آفات مهم محصولات انباری می‌باشد که در درجه‌ی اول از گندم و جو تغذیه می‌کند و به محصولات دیگر مانند چاودار، یولاف، برنج، فندق، بادام زمینی و دانه‌های روغنی نیز خسارت می‌زند (Shaaya *et al*., 1997). خسارت این حشره فقط مربوط به مرحله لاروی می‌باشد که ابتدا جوانه بذر و سپس تمام محتویات آن را مورد تغذیه قرار داده و با بالا رفتن مراحل رشدی تمایل آن‌ها برای تغذیه افزایش می‌یابد. مرغوبیت محصولات آفت زده به‌علت آمیخته شدن با مدفوع، پوسته‌های لاروی و موهای جدا شده از بدن لاروها به‌شدت کاهش می‌یابد. در صورتی‌که از آرد آلوده به موهای بدن لارو، نان تهیه شود در دستگاه گوارش انسان می‌تواند اختلالاتی‌ایجاد نماید (Rajabi, 2000؛ Jood & Kapoor, 1993).

کشاورزان برای کنترل خسارت ناشی از آفات انباری گندم شامل لمبه گندم از آفت‌کش‌های شیمیایی تدخینی به‌ویژه قرص فستوکسین و گاز متیل بروماید استفاده می‌کنند (Jood *et al.*, 1996). در چند دهه اخیر، به‌دلیل آگاهی از مضرات ناشی از مصرف این آفت‌کش‌ها در انبار، خاصیت تجمعی آن‌ها درون دانه‌های ذخیره‌ای و اثرات سوء آن‌ها روی کسانی که در معرض سموم هستند، استفاده از فستوکسین و متیل بروماید در سرتاسر جهان ممنوع شده است. بنابراین، با توجه به محدودیت‌های استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی و همچنین مقاوم شدن آفت به حشره‌کش‌های موجود، استفاده از روش‌های جدید برای کنترل آفت ضروری به‌نظر می‌رسد (Zettler *et al.*, 1989; Chaudhry, 1997; Mohandass et al., 2007). امروزه اولویت نخست در کنترل آفات، حتی پیش از جنبه‌های اقتصادی روش‌های کنترل، کم‌خطر بودن آن‌ها برای محیط‌زیست و انسان می‌باشد (Mohammadzadeh & Izadi, 2018). در سال‌های اخیر، یکی از راه‌کارهای کم‌خطر پیشنهاد شده برای کنترل آفات، استفاده از اسانس‌های گیاهی می‌باشد. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد بسیاری از ترکیب‌های گیاهی از جمله اسانس‌های روغنی می‌توانند بدون ایجاد خطرات جانبی برای انسان، محیط‌زیست و زنجیره غذایی، محصولات انباری را از خسارت آفات حفظ نمایند (Choi *et al.*, 2008).

اسانس‌های گیاهی طبقه‌ای از روغن‌ها هستند که در بسیاری از تیره‌های گیاهان آلی یافت می‌شوند و وجود آن‌ها باعث بوی خوش و مزه در گیاهان می‌شوند. اسانس‌ها از نظر ترکیبات شیمیایی سازنده همگن نیستند؛ با این‌حال، اسانس‌ها عمدتا از دو گروه ترکیب شیمیایی ترپن‌ها و فنیل پروپن‌ها تشکیل می‌شوند (Enan, 2001). از نظر تاریخی، بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از گیاهان معطر و اسانس‌های گیاهی برای کشتن یا دور کردن حشرات آفت از محصولات کشاورزی سابقه‌ای دیرینه دارد (Isman, 2006). گیاه پنج‌انگشت (*Vitex agnus-castus* L.; Lamiaceae) درختچه‌ای چندساله، دارای برگ‌ها متقابل با دم‌برگ بلند و گل‌های به‌صورت گل آذین سنبله به‌رنگ آبی مایل به بنفش هستند. میوه‌ها به‌صورت شفت و درون سخت می‌باشد. این گیاه به‌صورت خودرو در نواحی مختلف ایران از جمله دامنه‌های البرز، تهران، کرج، خراسان، خرمشهر، کازرون، بعضی نقاط جنوبی کشور نزدیک به خلیج فارس و بندرعباس رشد می‌کند (Souto *et al*., 2020). در مطالعات انجام شده، اثرات آنتی‌باکتریال و ضد قارچی اسانس روغنی برگ و میوه این گیاه به اثبات رسیده است (Stojković *et al*., 2011; Rani and Sharma, 2013; Eryigit *et al*., 2015).

بررسی کارایی حشره‌کش‌ها روی حشرات آفت باید همه‌جانبه و با در نظر گرفتن اثرات کشندگی و زیرکشندگی آن‌ها باشد که بدین منظور، از سم‌شناسی دموگرافیک استفاده می‌شود (Stark & Wennergren, 1995). سم‌شناسی دموگرافیک

روشی مناسب برای بررسی اثرات کلی ترکیبات حشره‌کش از جمله اسانس‌های گیاهی می‌باشد، زیرا در برگیرنده‌ی همگی تأثیرهای ممکن یک ماده سمی روی جمعیت آفت است (Stark & Banks, 2003). جدول زندگی شرح جزئیات مرگ و میر جمعیت بوده و با تلفیق اطلاعات مربوط به زنده‌مانی و زادآوری تشکیل می‌شود (Sauthwood & Henderson, 2000). جدول‌های زندگی را می‌توان برای تشریح سرعت نشو و نما، نرخ زنده‌مانی، امید به زندگی، تعیین اندازه جمعیت و ساختار سنی آفت در یک زمان مشخص به‌کار برد. با وجود اینکه پارامترهای جدول زندگی هر حشره تحت شرایط آزمایشگاهی و مصنوعی تخمین زده می‌شوند، با این‌حال می‌توانند به‌عنوان ابزاری مفید برای پیش‌بینی تغییرات جمعیت آفت پس از در معرض قرارگیری با ترکیب حشره‌کش مورد استفاده قرار گیرند (Stark & Banks, 2003).

با عنایت به این‌که در مورد روش‌های کنترل سازگار با محیط‌زیست *T. granarium*، که کاهش معنی‌دار جمعیت آفت در کوتاه مدت را در پی داشته باشد، تاکنون تحقیقات چندانی توسط پژوهشگران صورت نگرفته و به‌دلیل اهمیت بالای این آفت از نظر ایجاد خسارت اقتصادی روی غلات مختلف، هدف از مطالعه حاضر بررسی اثرات کشندگی اسانس پنج‌انگشت روی لاروهای سن اول *T. granarium* می‌باشد. در ادامه اثرات زیرکشندگی غلظت LC_{30} اسانس مذکور روی پارامترهای جدول زندگی آفت مذکور مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌های انجام شده در این زمینه می‌تواند در کاهش مصرف سموم شیمیایی و گرایش به استفاده از اسانس‌ها و عصاره‌های گیاهی به‌عنوان یکی از روش‌های کم‌خطر برای کنترل این آفت مفید و مؤثر واقع شود.

مواد و روش‌ها

تهیه کلنی اولیه *T. granarium*

به‌منظور تشکیل کلنی، لاروهای آفت از لاروهای لمبه گندم از یکی از سوله‌های گندم در استان تهران جمع‌آوری و به آزمایشگاه کلینیک گل و گیاه شهرداری منطقه یک منتقل شد. درون ظروف پلاستیکی حدود ۲۰۰ گرم گندم دونیم شده ریخته و تعداد ۱۰۰ عدد لارو سنین پایین به آن‌ها منتقل گردید. ظروف پرورش در اتاق پرورش با شرایط دمایی ۱±۳۳ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ٥±٦٥ درصد و دوره نوری ١٤ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی نگه‌داری شد. بر اساس روش Navarro و Gonen (Navarro & Gonen, 1970) حشرات کامل تازه ظاهر شده برای تخم‌گیری به ظروف استوانه‌ای به قطر ۲ و ارتفاع ٥ سانتی‌متر منتقل شدند. همچنین، از کاغذهای سیاه رنگ به‌عنوان بستر تخم‌ریزی استفاده شد (Ellington, 1930). پرورش و تشکیل کلنی در شرایط ذکر شده به مدت یک نسل انجام و از لاروهای سن یک در نسل دوم برای انجام آزمایش‌های بعدی استفاده شد.

تهیه اسانس‌های روغنی

برای تهیه اسانس‌های گیاهی، میوه‌های پنج‌انگشت تهیه و به آزمایشگاه کلینیک گل و گیاه شهرداری منطقه یک منتقل شد. در آزمایشگاه، اندام گیاهی با آب مقطر شستشو و سپس به مدت دو هفته در دمای آزمایشگاه و در شرایط سایه، هوا خشک شد. میوه‌های خشک شده گیاه با استفاده از دستگاه خردکن برقی کاملا پودر شده و اسانس‌گیری از آن‌ها انجام شد. اسانس‌گیری از گیاه پنج‌انگشت با استفاده از دستگاه کلونجر[1] و به‌روش تقطیر با آب در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۳ ساعت انجام شد. پس از اتمام دوره اسانس‌گیری، اسانس‌های روغنی با سولفات سدیم آبگیری شده و به

میکروتیوب‌های ۲ میلی‌لیتری منتقل شد. میکروتیوب‌ها داخل فویل‌های آلومینیومی پیچیده شده و تا زمان انجام آزمایش داخل یخچال نگه‌داری شدند (Negahban *et al.*, 2007).

تجزیه شیمیایی اسانس‌ها

آنالیز مواد تشکیل دهنده اسانس استخراج شده از گیاه پنج‌انگشت به‌وسیله کروماتوگرافی گازی جفت شده با طیف سنجی جرمی (GC-MS) با استفاده از دستگاه Hewlett–Packard HP 7890A GC (HP, Palo Alto, CA, USA) انجام شد. این دستگاه مجهز به سیستم تشخیص دهنده انتخابی جرمی 5975C و تزریق کننده تقسیم/شکاف بود. جداسازی کروماتوگرافیک در ستون مویرگی HP-5 (۳۰ متر × ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت فیلم ۰/۲۵ میکرومتر) انجام پذیرفت. انرژی یونیزاسیون الکترون ۷۰ الکتروولت، دمای رابط GC–MS مقدار ۲۸۰ درجه سلسیوس، دمای منبع یون ۲۰۰ درجه سلسیوس و دمای قطعه چهارگوش ۱۵۰ درجه سلسیوس بود. دمای تزریق کننده روی ۲۷۰ درجه‌ی سلسیوس قرار داده شد. برای آنالیز GC، دمای ستون به این صورت برنامه‌ریزی شد: ابتدا به‌مدت ۳ دقیقه در دمای ٦۰ درجه سلسیوس نگه‌داری و سپس از این دما با سرعت ۵ درجه‌ی سلسیوس بر دقیقه تا ۲۵۰ درجه‌ی سلسیوس افزایش و به‌مدت ۱۰ دقیقه در این دما نگه‌داری شد. از گاز هلیوم (۹۹/۹۹۹ درصد) به‌عنوان گاز حامل استفاده شد.

آزمایش‌های مقدماتی

تعیین دامنه غلظت‌های مورد نیاز برای انجام آزمایش‌های زیست‌سنجی

آزمایش‌های زیست سنجی اصلی با استفاده از پنج غلظت برای پنج‌انگشت (۵۰/۰، ۸۱/٦، ۱۱۳/۷، ۱٥٤/٦ و ۲۱۰/۰ میکرولیتر بر لیتر هوا) انجام گردید. کلیه آزمایش‌های زیست‌سنجی در قالب طرح کاملا تصادفی در ۵ تکرار انجام شد. هر تکرار شامل ۲۰ لارو سن اول لمبه گندم بود. در مجموع برای هر اسانس گیاهی ۱۰۰ عدد لارو استفاده شد.

بررسی تاثیر تنفسی اسانس‌ها

پس از نصب کاغذ صافی (واتمن شماره ۱ به قطر ۲ سانتی‌متر) در سطح داخلی درب شیشه‌های آزمایش (۵۰ میلی‌لیتری)، پنج غلظت اصلی پنج‌انگشت به‌طور جداگانه توسط سرنگ همیلتون روی آن ریخته شد. بعد از بستن درب شیشه‌ها، محل قرارگیری درب با استفاده از نوار پارافیلم پوشانده شد تا مانع از نفوذ اسانس به فضای بیرون شود (Izakmehri *et al.*, 2013). لازم به ذکر است که قبل از شروع آزمایش سه گرم از دانه‌های گندم دونیم شده همراه با ۱۵ لارو سن یک لمبه گندم (عمر کمتر از ٢٤ ساعت) به هر ظرف منتقل شد. پس از ٢٤ ساعت، تعداد لاروهای مرده شمرده و ثبت شد. تعیین مرگ‌ومیر لاروها به این صورت بود که لاروها با قلم‌موی نرم تحریک شدند و آن‌هایی که قادر نبودند پاهای خود را حرکت دهند، به‌عنوان مرده در نظر گرفته شدند. این آزمایش در ۵ تکرار انجام پذیرفت.

تعیین پارامترهای رشدی *T. granarium* پس از در معرض قرارگیری با غلظت LC_{30} اسانس پنج‌انگشت

غلظت LC_{30} اسانس روغنی پنج‌انگشت برای بررسی اثرات زیرکشندگی ترکیب مورد استفاده قرار گرفت (Huang *et al.*, 1999; Rharrabe *et al.*, 2008). برای به‌دست آوردن لاروهای سن یک لمبه گندم با عمر کمتر از ٢٤ ساعت، ابتدا ۳۰ جفت حشره کامل نر و ماده یک‌روزه (۳۰ حشره‌ی نر و ۳۰ حشره ماده) به ظروف تخم‌ریزی (قطر ۵ سانتی‌متر و ارتفاع

۱۰ سانتی‌متر) که کف آن برش داده و با توری مش ۱۰۰ مسدود شده بودند، منتقل گردید. ظروف تخم‌ریزی به اتاقک رشد با شرایط دمایی ۱±۳۳ درجه‌ی سلسیوس، رطوبت نسبی ٥±٦٥ درصد و دوره نوری ١٤ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی منتقل شدند. پس از ٢٤ ساعت تخم‌ریزی، تخم‌ها در همان اتاق رشد تا زمان تفریخ نگه‌داری شدند. پس از تفریخ تخم‌ها، تعداد ۱۰۰ عدد لارو سن یک با عمر کمتر از ٢٤ ساعت به‌طور تصادفی انتخاب و جداگانه در معرض غلظت LC_{30} اسانس پنج انگشت قرار گرفت. پس از ٢٤ ساعت در معرض قرارگیری، تعداد ٦۰ لارو زنده مانده به‌صورت انفرادی به ٦۰ ظرف پتری (قطر ٥ سانتی‌متر و ارتفاع ۱ سانتی‌متر) حاوی ۲ گرم غذا منتقل شدند. بازدید روزانه از ظروف پتری انجام و طول دوره‌های لاروی و شفیرگی ثبت شد. برای تعیین طول دوره رشدی بالغین نر و ماده و همچنین تعداد تخم‌های گذاشته شده توسط هر فرد ماده (باروری)، بالغین نر و ماده تازه خارج شده از پوسته شفیرگی به ظروف تخریزی حاوی یک گرم گندم دو نیم شده منتقل شدند. سپس، پارامترهای مذکور به‌صورت روزانه و تا زمان مرگ آخرین حشره ثبت شد.

تشکیل جدول زندگی *T. granarium* پس از در معرض قرارگیری با غلظت LC_{30} اسانس پنج‌انگشت

از داده‌های مربوط به طول دوره نشو و نما و زنده‌مانی مراحل نابالغ در ترکیب با داده‌های طول عمر حشرات کامل و پارامترهای تولیدمثلی افراد ماده‌ی لمبه‌ی گندم پس از در معرض قرارگیری با غلظت LC_{30} اسانس پنج‌انگشت، برای محاسبه پارامترهای جدول زندگی استفاده گردید. نرخ زنده‌مانی ویژه سنی (l_x) و زادآوری ویژه سنی (m_x)، نرخ خالص تولیدمثل (R_0)، نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) و میانگین طول مدت یک نسل (T) لمبه گندم پس از در معرض قرارگیری با اسانس‌های مختلف براساس روش Efron و Tibshirani (Efron & Tibshirani 1993)، Huang و Chi (Huang & Chi 2012) و Chi (Chi, 2018) محاسبه شد.

تجزیه داده‌ها

در این آزمایش از طرح کاملا تصادفی استفاده و برای تعیین مقادیر LC_{30}، LC_{50} و LC_{90} از روش پروبیت در نرم‌افزار SAS 9.3 استفاده گردید (PROC GLM; SAS Institute, 2011). نتایج حاصل از اثر اسانس پنج‌انگشت روغنی روی مرگ و میر لاروهای سن اول لمبه گندم با استفاده از روش تجزیه واریانس یک‌طرفه و با نرم‌افزار آماری SAS 9.3 تجزیه آماری شدند. اختلاف‌های آماری میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ٥ درصد مورد بررسی قرار گرفت (Tukey's test; $P < 0.05$). از آنجا که پارامترهای رشد جمعیت فاقد تکرار بوده و امکان مقایسه آماری وجود ندارد، لذا برای تکراردار کردن پارامترهای فوق از روش بوت‌استرپ (Bootstrap) با ٤۰۰۰۰ تکرار استفاده شد. سپس، مقایسه میانگین بین تیمارها به‌وسیله‌ی آزمون بوت‌استرپ جفت شده (Paired bootstrap) انجام پذیرفت.

نتایج

آنالیز مواد تشکیل دهنده اسانس پنج‌انگشت

نتایج مربوط به تجزیه‌ی شیمیایی اسانس پنج‌انگشت با استفاده از GC-MASS در جدول ۱ آمده است. بر اساس نتایج حاصل، ٥٨ ترکیب در اسانس روغنی این گیاه شناسایی شد. ترکیبات مهم اسانس پنج‌انگشت ۱، ۸-سینئول (۱۹/٤٦

درصد)، آلفا-پینن (۱۲/۹۳ درصد)، سابینن (۱۰/۷۳ درصد)، بی‌سیکلوجرماکرن (۱۰/٦۷ درصد)، ترنس-کاریوفیلن (۸/٤۸ درصد) و آلفا-ترپینن (۵/۰۹ درصد) می‌باشد که مجموعاً ٦۷/۳٦ درصد از کل اسانس را تشکیل می‌دهد.

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی اسانس پنج انگشت

Table 1. Chemical constituents of the essential oil from *Vitex agnus-castus*

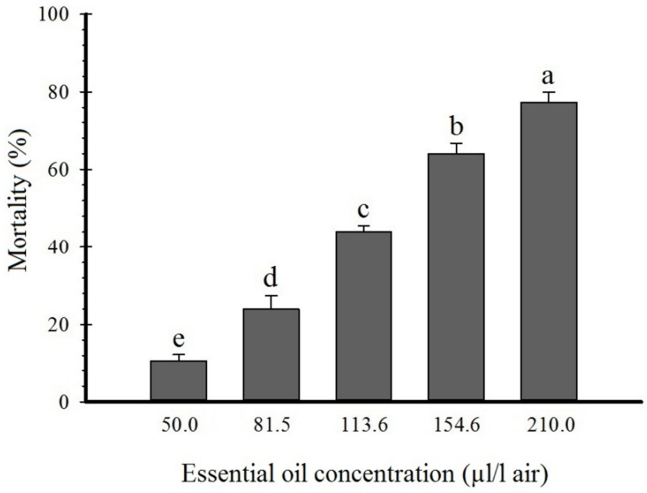
Compound	Composition (%)	Retention time (min)
Alpha-Pinene	12.93	6.05
Sabinene	10.73	7.11
Beta-Myrcene	1.63	7.54
1,8-Cineole	19.46	8.78
3-Cyclohexen-1-ol	0.91	13.03
Alpha-Terpineol	0.84	13.43
Alpha-Terpinene	5.09	17.81
Alpha-Gurjunene	1.37	19.38
Trans-Caryophyllene	8.48	19.71
Trans-Beta-Farnesene	4.62	20.56
Aromadendrene	2.06	20.72
Bicyclogermacrene	10.67	21.66
(+) spathulenol	1.13	23.55
Alpha-Guaiene	1.47	24.14
2-Amino-5-Hydroxy-Acetophenone	0.89	28.26
Beta-N Methyl Ionone	1.76	31.41
Pyrrolo(3,2,1-Jk)Carbazole	2.38	15.32

تعیین اثرات کشندگی و زمان کشندگی اسانس پنج انگشت روی لاروهای سن اول *T. granarium*

نتایج حاصل از بررسی میزان حساسیت لاروهای سن اول لمبه گندم در ۲٤ ساعت پس از در معرض قرارگیری تنفسی با اسانس پنج‌انگشت در جدول ۲ آمده است. مقادیر LC_{30}، LC_{50} و LC_{90} اسانس به‌ترتیب ۹۵/۸، ۱۳۲/۱ و ۲۸۹/۹ میکرولیتر اسانس بر لیتر هوا می‌باشد.

درصد مرگ و میر ایجاد شده توسط غلظت‌های مختلف اسانس پنج‌انگشت روی لاروهای سن اول لمبه‌ی گندم در سمیت تنفسی در شکل ۱ ارایه شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که بین غلظت‌های مختلف از نظر مرگ و میر ایجاد شده تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($F_{4,20} = 192.56$; $P < 0.001$) و با افزایش غلظت اسانس درصد مرگ و میر افزایش یافت. کمترین (۱/٦±۱۰/٦ درصد) و بیشترین (۲/٦±۷۷/۳ درصد) درصد مرگ‌ومیر لاروهای سن اول پس از در معرض قرارگیری با غلظت‌های ۵۰ و ۲۱۰ میکروگرم اسانس بر لیتر هوا می‌باشد.

نتایج حاصل از بررسی زمان لازم برای ۵۰ درصد کشندگی اسانس پنج‌انگشت در روش تنفسی در جدول ۳ آمده است. مقدار LT_{50} اسانس پنج‌انگشت ۱۷/۲ میکروگرم بر لیتر هوا می‌باشد.



شکل ۱- میانگین درصد مرگ‌ومیر لاروهای سن اول *Trogoderma granarium* پس از در معرض قرارگیری با غلظت‌های مختلف اسانس پنج‌انگشت. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده‌ی وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها می‌باشند (آزمون LSD، *P*<0.05).

Fig. 1. Mean (± SE) percentage mortality of *Trogoderma granarium* first instar larvae after exposure to different concentrations of *Vitex pseudo-negundo*. The means followed by different letters are significantly different (LSD test, *P* < 0.05).

تأثیر اسانس پنج‌انگشت روی دوره‌های رشدی و پارامترهای تولیدمثلی *T. granarium*

طول دوره مراحل نابالغ و بالغین *T. granarium* و پارامترهای تولیدمثلی افراد ماده پس از در معرض قرارگیری تنفسی با غلظت LC_{30} از اسانس پنج‌انگشت در جدول ٤ آمده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که طول دوره تخم، لاروی و مجموع طول دوره مراحل نابالغ لاروهای در معرض با اسانس به‌طور معنی‌داری بیشتر از حشرات شاهد بود. با این‌حال، طول دوره شفیره‌های حاصل از لاروهای در معرض با اسانس تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت.

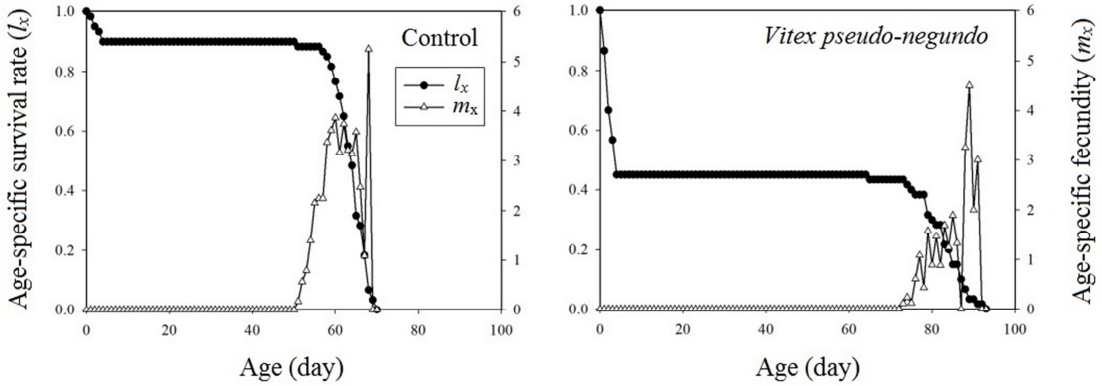
طول دوره افراد بالغ حاصل از لاروهای در معرض با اسانس به‌طور معنی‌داری کاهش یافت؛ به‌طوری‌که افراد نر و ماده در تیمار اسانس به‌ترتیب ۲/۳۷ و ۲/٤۹ روز کمتر از افراد شاهد زنده ماندند (جدول ۳).

نتایج حاصل از تأثیر اسانس پنج‌انگشت روی پارامترهای تولیدمثلی *T. granarium* نشان می‌دهد که اسانس مذکور تاثیر معنی‌داری روی طول دوره قبل از تخم‌ریزی نداشت، ولی طول دوره تخم‌ریزی و باروری افراد ماده به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار اسانس قرار گرفت (جدول ٤). طول دوره‌ی تخم‌ریزی و میانگین تعداد تخم‌های گذاشته شده توسط هر فرد در تیمار شاهد به‌ترتیب ٦/٤۸ روز و ۵۷/۳ تخم بود. در مقابل، طول دوره تخم‌ریزی و میانگین تعداد تخم‌های گذاشته شده توسط بالغین ماده حاصل از لاروهای تیمار شده با اسانس پنج‌انگشت به‌ترتیب ٤/۱۸ روز و ۲۲/۰ تخم بود (جدول ٤).

تاثیر اسانس پنج‌انگشت روی پارامترهای جدول زندگی *T. granarium*

نرخ زنده مانی ویژه سنی *T. granarium* (l_x) احتمالاتی را نشان می‌دهد که یک فرد متولد شده تا سن x زنده می‌ماند. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که نرخ زنده مانی در پایان مرحله لاروی در جمعیت تیمار شده با اسانس پنج‌انگشت پایین‌تر از جمعیت شاهد بود (شکل ۲). نرخ زنده مانی ویژه سنی جمعیت شاهد و جمعیت تیمار شده با اسانس پنج‌انگشت به‌ترتیب ۸۷ و ٤٦ درصد بود. به‌علاوه، سطح زیر نمودار باروری ویژه سنی که نشان دهنده دوره تخم‌ریزی می‌باشد، در جمعیت تیمار شده با درمنه خراسانی کمترین مقدار و حشرات شاهد بیشترین مقدار بود (شکل ۲).

نتایج مربوط به پارامترهای جدول زندگی *T. granarium* پس از در معرض قرارگیری با اسانس‌های مختلف در جدول ۵ آمده است. بیشترین نرخ خالص تولید مثلی (R_0: ۲۷/۵۵ تخم بر فرد)، نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r: ۰/۰۵۵ بر روز) و نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ: ۱/۰۵۶ بر روز) همراه با کمترین میانگین طول یک نسل (T: ۶۰/۰۲ روز) مربوط به حشرات شاهد بود. در حشرات تیمار شده با اسانس پنج‌انگشت، مقادیر R_0 (۴/۰۲ تخم بر فرد)، r (۰/۰۱۶ بر روز) و λ (۱/۰۱۶ بر روز) نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین، میانگین طول یک نسل در جمعیت تیمار شده با اسانس پنج‌انگشت (T: ۸۲/۲۷ روز) به‌طور معنی‌داری بالاتر از شاهد (۶۰/۰۲ روز) بود.



شکل ۲- نرخ زنده مانی ویژه‌ی سنی (l_x) و باروری ویژه‌ی سنی (m_x) *Trogoderma granarium* پس از در معرض قرارگیری با غلظت LC_{30} اسانس پنج‌انگشت.

Fig. 2. Age-specific survival rate (l_x) and age-specific fecundity (m_x) of *Trogoderma granarium* first instar larvae after exposure to LC_{30} of *Vitex pseudo-negundo* essential oils.

بحث

در مطالعه حاضر، نتایج به‌دست آمده نشان داد که اسانس پنج‌انگشت اثرات سمیت بالایی روی لاروهای سن اول لمبه گندم دارد. اثرات کشندگی این ترکیب ممکن است مربوط به وجود درصد بالایی از ۱، ۸-سینئول، آفا-پینن، سابینن و بی‌سیکلوژرماکرن در اسانس این گیاه باشد که اثرات کشندگی این ترکیبات روی حشرات به اثبات رسیده است. در یک تحقیق انجام شده توسط Sahaf و همکاران (Sahaf *et al.*, 2008)، مقادیر LC_{50} اسانس پنج‌انگشت روی *T. castaneum* و *S. oryzae* به‌ترتیب ۴۷/۲۷ و ۳۱/۹۶ میکرولیتر بر لیتر هوا به‌دست آمد (Sahaf *et al.*, 2008). تفاوت در مقادیر LC_{50} در مطالعه حاضر و مطالعات انجام شده توسط صحاف و همکاران ممکن است مرتبط با گونه حشره، دوره رشدی حشره مورد بررسی، درصد ترکیبات تشکیل دهنده اسانس و یا شرایط آزمایشی باشد.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با افزایش غلظت اسانس پنج‌انگشت در واحد لیتر هوا، اثرات کشندگی آن روی لاروهای سن اول لمبه گندم افزایش یافت. احتمالا، افزایش مرگ‌ومیر به این دلیل است که اشباع بیشتر محیط با اسانس سبب نفوذ بیشتر و سریع‌تر سم به بدن لاروها شده و اثرگذاری بیشتر را به‌دنبال دارد. نتایج تحقیق حاضر مشابه با یافته‌های Saleem و همکاران (Saleem *et al.*, 2014) بود که نتیجه گرفتند اسانس‌های گیاهی قادرند در غلظت‌های مختلف مرگ و میر قابل توجهی روی لاروهای لمبه گندم ایجاد کنند.

با توجه به نتایج مربوط به LT، زمان لازم برای کشتن ۵۰ و ۹۰ درصد جمعیت توسط اسانس پنج‌انگشت به‌ترتیب حدود ۱۷ و ٤۱ ساعت بود. این نتایج نشان می‌دهد که اسانس مذکور قادر است در مدت زمان کوتاهی جمعیت آفت را تا حد مطلوبی کاهش داده و جلو خسارت لاروهای لمبه گندم را بگیرد. در مطالعه‌ای مشابه، Kambouzia و همکاران (Kambouzia *et al*., 2009) گزارش کردند که اسانس گیاهی *Eucalyptus leucoxylon* در مدت زمان کمتر از ۲٤ ساعت مرگ‌ومیر ۱۰۰ درصد را روی جمعیت حشرات *Callosobruchus maculatus* Fabricius (Coleoptera: Chrysomelidae)، *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) و *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) ایجاد می‌کند.

مطالعات گذشته ثابت کرده است که ویژگی‌های زیستی حشرات آفت از جمله طول دوره نشو و نمای مراحل جنینی، لاروی و شفیرگی، طول دوره بلوغ، بقای این مراحل و همچنین تخم‌ریزی افراد ماده به‌طور قابل توجهی تحت تاثیر تیمارهای حشره‌کشی قرار می‌گیرد (Pineda *et al*., 2009; Khosravi *et al*., 2010; Alzogaray *et al*., 2011; Izakmehri *et al*., 2013). تغییر در این پارامترها ممکن است به‌دلیل کاهش توانایی آفت در مصرف غذا یا تلاش برای کم‌اثر کردن ترکیبات سمی وارد شده به بدن باشد که سطح بالایی از انرژی حشره صرف آن خواهد شد (Begum, 2004). نتایج آزمایش حاضر نشان داد که دوره تخم حشرات تیمار شده با اسانس پنج‌انگشت بیشتر از حشرات شاهد بود. احتمالا، اسانس این گیاه دارای ترکیباتی است که روی لوله‌های تخم‌ریزی ماده‌ها تاثیر منفی گذاشته و این تأثیرات از مادر به جنین منتقل می‌شود که دوره‌ی رشدی جنین آهسته‌تر را به‌دنبال خواهد داشت (Papachristos & Stamopoulos, 2002). همچنین، حشرات تیمار شده دارای دوره‌ی لاروی طولانی‌تری نسبت به حشرات شاهد بودند. مطالعات قبلی نشان می‌دهد که گیاه پنج‌انگشت دارای ترکیبات هورمون جوانی هستند (Nyamoita, 2000; Kamalakannan *et al*., 2015). این گروه از ترکیبات سبب می‌شود که لاروها جوان مانده و دوره‌های رشدی لاروی با سرعت کمتری نسبت به حشرات تیمار نشده طی شوند (Staal, 1982; Joseph, 2019). طولانی‌تر بودن دوره شفیرگی در حشرات تیمار شده با پنج‌انگشت ممکن است مرتبط با اثرات منفی این ترکیبات روی لاروها باشد که سبب می‌شود لاروها سطح انرژی پایین‌تری را کسب کنند. در نتیجه، شفیره‌ها متابولیسم‌های مربوط به مرحله شفیرگی را با سطح انرژی پایین‌تری انجام داده و دوره شفیرگی طولانی‌تر می‌شود (Plavšin *et al*., 2015). خاصیت IGR مربوط به پنج‌انگشت سبب می‌شود که حشرات در معرض با اسانس این گیاه طولانی‌ترین دوره مراحل قبل از بلوغ را داشته باشند. نتایج ما مشابه با یافته‌های Sivakumar و همکاران (Sivakumar *et al*., 2003) می‌باشد که تاثیر عصاره ریشه پنج‌انگشت را روی *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) بررسی و دریافتند که ترکیبات هورمون جوانی موجود در عصاره این گیاه سبب افزایش طول دوره‌ی لاروی، افزایش مرگ و میر در حین پوست اندازی و کاهش باروری افراد ماده می‌شود.

یافته‌های تحقیق حاضر نشان می‌دهد که دوره رشدی بالغین حاصل از لاروهای در معرض با اسانس پنج انگشت کاهش معنی‌داری نسبت به حشرات شاهد داشت. کاهش دوره بلوغ ممکن است مرتبط با اثرات منفی به‌جا مانده از در معرض قرارگیری لاروها با اسانس گیاهان باشد که هم فیزیولوژی و هم تغذیه لاروها را تحت تاثیر قرار داده و حشرات کامل حاصل از این لاروها شایستگی پایین‌تری را برای رشد دارند. این نتایج در موافقت با یافته‌های Izakmehri و همکاران (Izakmehri *et al*., 2013) و Naseri و همکاران (Naseri *et al*., 2017) می‌باشد که نشان دادند پس از در معرض قرارگیری حشرات آفت با غلظت‌های زیرکشنده اسانس‌های گیاهی، طول دوره رشدی بالغین به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت. به‌علاوه، دوره‌ی تخم‌ریزی و میانگین تعداد تخم‌های گذاشته شده در حشرات تیمار شده با

اسانس به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت. این کاهش ممکن است به‌طور عمده مربوط به سطح بالای ۱، ۸-سینئول در اسانس این گیاه باشد. به‌دلیل اینکه باروری و زادآوری حشرات ماده به‌وسیله سیستم اندوکرینی کنترل می‌شوند، فرض بر این است که اسانس پنج‌انگشت این سیستم را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در آزمایش‌های انجام شده توسط Papachristos و Stamopoulos (Papachristos & Stamopoulos, 2002) و Saber و همکاران (Izakmehri *et al.*, 2013) نتایج مشابهی از تاثیر اسانس‌های گیاهی روی آفات گرفته شد.

ارزیابی اثرات زیرکشنده بر باروری، زادآوری، نرخ رشد و نمو، زنده‌مانی و نسبت جنسی جمعیت، زمانی به حد کافی ارزشمند به‌نظر می‌رسد که نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) محاسبه گردد. در مطالعه حاضر، نرخ خالص تولیدمثل (R_0) به‌دست آمده برای اسانس حشره‌کشی پنج‌انگشت کمتر از حشرات شاهد بود که نشان می‌دهد توان تولیدمثلی حشرات پس از در معرض قرارگیری با این تیمار کاهش می‌یابد. همچنین، اسانس مذکور مقدار r جمعیت لمبه گندم را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. کاهش r در این تیمار به‌دلیل طولانی‌تر بودن دوره رشدی قبل از بلوغ همراه با زنده‌مانی پایین‌تر این مراحل و سطح پایین‌تر تخمریزی بالغین ماده می‌باشد. لذا، بر اساس یافته‌ها می‌توان اظهار نمود که این تیمار می‌تواند عاملی تأثیرگذار در سرکوب جمعیت لمبه گندم باشد. در اسانس پنج‌انگشت، ۱، ۸-سینئول و آلفا-پینن ممکن است بیشترین نقش را در اثرات منفی این اسانس روی پارامترهای جدول زندگی لمبه گندم داشته باشد. Singh و Singh (Singh & Singh, 2003) کاهش معنی‌دار جمعیت را پس از در معرض قرارگیری شته با اسانس پنج‌انگشت مشاهده کردند. همچنین، Barapatre و Lingappa (Barapatre & Lingappa, 2003) بیان کردند که وقتی لاروهای سن اول و لاروهای سن دوم *H. armigera* در معرض عصاره پنج‌انگشت قرار گرفتند، دینامیسم جمعیت حشره به‌ترتیب ۵۵/۳۷ و ۵۵/۹۹ درصد کاهش یافت. برزویی و همکاران (Borzoui et al., 2016) اثرات زیرکشندگی اسانس‌های پنج‌انگشت را روی پارامترهای جدول زندگی *Plodia interpunctella* (Hubner) (Lepidoptera: Pyralidae) بررسی و دریافتند که اسانس پنج‌انگشت تاثیری روی نرخ ذاتی افزایش جمعیت ندارد، ولی نرخ خالص تولیدمثلی را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر تحت حمایت مالی دانشگاه آزاد اسلامی تهران (ایران) انجام شده که از آن قدردانی می‌شود.

Referance

Alzogaray, R. A., Lucia, A., Zerba, E. N. and Masuh, H. M. 2011. Insecticidal activity of essential oils from eleven *Eucalyptus* spp. and two hybrids: Lethal and sublethal effects of their major components on *Blattella germanica*. Journal of Economic Entomology, 104: 595–600.

Barapatre, A. and Lingappa, S. 2003. Larvicidal and antifeedant activity of indigenous plant protection practices for *Helicoverpa armigera* (Hub.). Proceedings. National symposium frontier areas of entomological research, IARI, New Delhi. pp. 335-336.

Begum, G. 2004. Carbofuran insecticide induced biochemical alterations in the liver and the muscle tissues of the fish *Clarias batrachus* (linn) and recovery response. Aquatic Toxicology, 66: 83-92.

Borzoui, E., Naseri, B., Abedi, Z. and Karimi-Pormehr, M. S. 2016. Lethal and sublethal effects of essential oils from *Artemisia khorassanica* and *Vitex pseudo-negundo* against *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). Environmental Entomology, 45: 1220–1226.

Chaudhry, M. Q. 1997. A review of the mechanisms involved in the action of phosphine as an insecticide and phosphine resistance in stored product insects. Pesticide Science, 49: 213–28.

Chi, H. 2018. TWOSEX-MSChart: a computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. URL http:// 140.120.197.173/ecology/Download/TWOSEXMSChart.rar (accessed 19 September 2017).

Choi, S. T., Kang, S. M. and Park, C. G. 2008. Integrated and organic production: insect pest management. Advances in Horticultural Science, 22: 294-300.

Efron, B. and Tibshirani, R. J. 1993. An introduction to the bootstrap. Monographs on statistics and applied probability 57. Chapman and Hall, New York.

Ellington, G. W. 1930. A method for securing eggs of the Angoumois grain moth. Journal of Economical Perspective. 23: 237–238.

Enan E. 2001. Insecticidal activity of essential oil: octopaminergic sites of action. Comparative Biochemistry and Physiology, 130: 325-337.

Eryigit, T., Çig, A., Okut, N., Yildirim, B. and Ekici, K. 2015. Evaluation of chemical composition and antimicrobial activity of *Vitex agnus castus* L. fruits' essential oils from west Anatolia. Journal of Essential Oil Research, 18: 208–214.

Huang, Y., Ho, S. H., Kini, R. M. 1999. Bioactivities of Safrole and Isosafrole on *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) and *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). Journal of economic entomology, 92: 676-683.

Isman, M. B. 2006. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. Annual Review of Entomology, 51: 45–66.

Izakmehri, K., Saber, M., Mehrvar, A., Hassanpouraghdam, M. B. and Vojoudi, S. 2013. Lethal and sublethal effects of essential oils from *Eucalyptus camaldulensis* and *Heracleum persicum* against the adults of *Callosobruchus maculatus*. Journal of Insect Science, 13: 152.

Jood, S. and Kapoor, A. C. 1993. Protein and uric acid contents of cereal grains as affected by insect infestation. Food Chemistry, 46: 143–146.

Jood, S., Kapoor, A. C. and Singh, R. 1996. Effect of insect infestation and storage on lipids of cereal grains. Journal Agriculture and Food Chemistry, 44: 1502-1506.

Joseph, S. V. 2019. Influence of insect growth regulators on *Stephanitis pyrioides* (Hemiptera: Tingidae) eggs and nymphs. Insects, 10: 189.

Kamalakannan, S., Murugan, K. and Chandramohan, B. 2015. Insect growth regulatory activity of *Acalypha alnifolia* (Euphorbiaceae) and *Vitex negundo* (Verbenaceae) leaf extracts against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). International Journal of Mosquito Research, 2: 47-52.

Kambouzia, J., Negahban, M. and Moharramipour, S. 2009. Fumigant toxicity of *Eucalyptus Leucoxylon* against stored product insects. American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture, 3: 229-233.

Keshavarz, E. 2010. Wheat project. Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran. Pp: 146.

Khosravi, R., Jalali-Sendi, J. and Ghadamyari, M. 2010. Effect of *Artemisia annua* L. on deterrence and nutritional efficiency of lesser mulberry pyralid (*Glyphodes pyloalis* Walker) (Lepidoptera: Pyralidae). Journal of Plant Protection Research, 50: 423–428.

Mohammadzadeh, M. and Izadi, H. 2018. Cooling rate and starvation affect supercooling point and cold tolerance of the Khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts fourth instar larvae (Coleoptera: Dermestidae). Journal of Thermal Biology, 71: 24-31.

Mohandass, S., Arthur, F. H., Zhu, K. Y. and Throne, J. E. 2007. Biology and management of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) in stored products. Journal of Stored Product Research, 43: 302–11.

Naseri, B., Abedi, Z., Abdolmaleki, A., Jafary-Jahed, M., Borzoui, E. and Mansouri, S. M. 2017. Fumigant toxicity and sublethal effects of *Artemisia khorassanica* and *Artemisia sieberi* on *Sitotroga cerealella* (Lepidoptera: Gelechiidae). Journal of Insect Science, 15: 1–7.

Navarro, S. and Gonen, M. 1970. Some techniques for laboratory rearing and experimentation with *Ephestia cautella* (WLK) (Lepidoptera, Phycitidae). Journal of Stored Product Research, 6: 187-189.

Negahban, M. and Moharramipour, S. 2006. Fumigant toxicity of *Eucalyptus intertexta*, *Eucalyptus sargentii* and *Eucalyptus camadulensis* against stored-product beetles. Journal of Applied Entomology, 131: 256-261, 2006.

Nyamador W. S., Ketoh G. K., Amevoin K., Nuto Y., Koumaglo H. K. and Glitho I. A. 2010. Variation in the susceptibility of two *Callosobruchus* species to essential oils. Journal of Stored Product Research, 46: 48-51.

Papachristos, D. P. and Stamopoulos, D. C. 2002. Repellent, toxic and reproduction inhibitory effects of essential oil vapours on *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae). Journal of Stored Products Research, 38, 117–128.

Pineda, S., Martinez, A. M., Figueroa, J. I., Schneider, M. I., Estal, D. P. and Vinuela, E. 2009. Influence of azadirachtin and methoxyfenozide on life parameters of *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera:Noctuidae). Journal of Economic Entomology, 102: 1490–1496.

Rajabi, Gh. 2000. Ecology of Harmful bugs of Wheat and Barley in Iran. Agricultural Research, Education and Extension Organization. Tehran. Pp: 343.

Rani, A. and Sharma, A. 2013. The genus *Vitex*: A review. Pharmacognosy Reviews, 7: 188.

Rharrabe, K., Amri, H., Bouayad, N., Sayah, F. 2008. Effects of azadirachtin on post-embryonic development, energy reserves and α-amylase activity of *Plodia interpunctella* Hubner (Lepidoptera: Pyralidae). Journal of Stored Products Research, 44: 290-294.

Sahaf, B. Z., Moharramipour, S. and Meshkatalsadat, M. H. 2008. Fumigant toxicity of essential oil from *Vitex pseudo-negundo* against *Tribolium castaneum* (Herbst) and *Sitophilus oryzae* (L.). Journal of Asia-Pacific Entomology, 11, 175–179.

Saleem, M. A., Shakoori, A. R. and Mantle, D. 1998. Macromolecular and enzymatic abnormalities induced by a synthetic pyrethroid, Ripcord (cypermethrin) in adult beetles of stored grain pests, *Tribolium castaneum* (Herbst.) (Col. Tenebrionidae). Archives of Insect Biochemistry and Physiology, 39: 144-154.

SAS Institute. 2011. SAS® software version 9.3, user's manual. SAS Institute, Cary, NC.

Sauthwood, R. and Henderson, P. A. 2000. Ecological Methods. Third edition, Blackwell Science, Oxford, USA. 561pp.

Shaaya E., Kostjukovski M., Eilberg J. and Sukprakarn C. 1997. Plant oils as fumigants and contact insecticides for the control of stored-product insects. Journal of Stored Products Research, 33: 7-15.

Souto, E. B., Durazzo, A., Nazhand, A., Lucarini, M., Zaccardelli, M., Souto, S. B., Silva, A. M., Severino, P., Novellino, E. and Santini, A. 2020. *Vitex agnus-castus* L.: Main features and nutraceutical perspectives. Forests, 11: 761

Stark J. D. and Banks J. E. 2003. Population level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. Annual Review of Entomology, 48: 505-519.

Stark, J. D. and Wennergren, U. 1995. Can population effects of pesticides be predicted from demographic toxicological studies?. Journal of Economic Entomology, 88: 1089–1096.

Stojković D., Soković M., Glamočlija J., Džamić A., Ćirić A., Ristić M., Grubišić D. 2011. Chemical composition and antimicrobial activity of *Vitex agnus-castus* L. fruits and leaves essential oils, Food Chemistry, 128: 1017-1022.

Zettler, J. L., Halliday, W. R. and Arthur, F. H. 1989. Phosphine resistance in insects infesting stored peanuts in the Southeastern USA. Journal of Economic Entomology, 82: 1508–11.

Journal of Entomological Research

Volume 13, Issue 1, pages: 21-34

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

Toxicity and sub-lethal effects of *Vitex agnus-castus* L. essential oil as a Juvenile hormone analog on *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae)

A. R. Rahimzadeh[1], S. Tirgari[1*], S. Imani[1], Y. Fathipour[2]

1. Department of Entomology, Science and Research Branch, Islamic Azad University Tehran, Tehran, Iran.
2. Department of Entomology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, PO Box, 14115-336, Tehran, Iran.

Abstract

The Khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) is a serious pest of grains such as wheat. In the present study, the lethal and sub-lethal effects of *Vitex agnus-castus* L. essential oil were studied against *T. granarium* first instar larvae. To investigate the sub-lethal effects, the first instar larvae were exposed to the LC_{30} concentration of the essential oil and the biological parameters of the surviving insects were determined. *Vitex agnus-castus* essential oil had high fumigant toxicity for first-instar larvae of *T. granarium* (LC_{50}: 132.14 µl/L air). In addition, *V. agnus-castus* L. had low mortality time (LT_{50}: 17.27 h), indicating rapid effects of the compound. The larval period of individuals who came from first instar larvae exposed to *V. agnus-castus* essential oil was significantly longer than control. Also, exposure to the sub-lethal concentration of the tested essential oil significantly reduced the survival of the immature stages, adults' longevity, and reproduction of adult females. The net reproductive rate (R_0), intrinsic rate of increase (r), and finite rate of increase (λ) in the population came from larvae exposed to the essential oil of *V. agnus-castus* essential oil were 4.02 eggs/female, 0.016 day^{-1} and 1.016 day^{-1}, respectively, that was significantly lower than the control population (27.55 eggs/female, 0.055 day^{-1} and 1.056 day^{-1}, respectively). Also, the mean generation time of the essential oil-treated population was about 22 days longer than the control population. According to our findings, *V. agnus-castus* essential oil is highly toxic to *T. granarium* larvae and appears to contain a Juvenile hormone analog that is useful for effective control of *T. granarium* populations in storage systems.

Keywords: The Khapra beetle, essential oil, chemical composition, fumigant toxicity, life-table parameters.

* Corresponding Author, E-mail*: siavashtirgari@gmail.com*
Received: 22 Jan. 2021 – Accepted: 4 Apr. 2021