



## بر آورد زمان‌های کشنده چند دمای فرابینه علیه حشرات کامل پنج آفت انباری

محدثه عباسی<sup>۱</sup>، محسن یزدانیان<sup>۲\*</sup> و علی افشاری<sup>۳</sup>

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه گیاه پزشکی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ۲- \*نویسنده مسوول: استادیار، گروه گیاه پزشکی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران  
(mohsenyazdanian@yahoo.com)
- ۳- دانشیار، گروه گیاه پزشکی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۶

### چکیده

اثرات سوء مرتبط با کاربرد آفت‌کش‌های انباری، علاقه به استفاده از روش‌های جایگزین ایمن‌تر مانند کنترل فیزیکی را افزایش داده‌اند. کنترل فیزیکی، به ویژه از طریق مدیریت دما، به عنوان یکی از امیدبخش‌ترین روش‌های جایگزین برای کنترل این آفات به شمار می‌رود. در این پژوهش، اثر کشنده دماهای فرابینه ۴۰، ۴۳، ۴۶، ۵۰ و ۵۴ درجه سلسیوس علیه حشرات کامل *Lasioderma serricorne*، *Callosobruchus maculatus* (F.)، *Trogoderma variabile* Ballion و *Oryzaephilus surinamensis* L.، *F. Plodia interpunctella* (Hübner) بررسی شد. طبق نتایج و با توجه به مقادیر  $LT_{50}$  و  $LT_{95}$ ، تحمل حشرات کامل نر و ماده هر گونه به دماهای فرابینه یکسان بود. با افزایش دما، زمان‌های کشنده به شکل معنی‌داری کاهش یافتند، اما روند آن در پنج گونه مورد بررسی متفاوت بود. مقادیر  $LT_{50}$  دمای  $40^{\circ}C$  برای *P. interpunctella* و *O. surinamensis* L.، *serricorne*، *C. maculatus*، *T. variabile*، ۹، ۳۴، ۴۷، ۷/۵ ساعت بود که برای دمای ۵۴ درجه به ترتیب به حدود ۷، ۴، ۱۲، ۸ و ۸ دقیقه کاهش یافت. مقادیر  $LT_{95}$  برآورد شده دمای ۴۰ درجه نیز به ترتیب حدود ۳/۷، ۴/۸، ۵/۵، ۵/۵ و ۱/۹ روز بود که برای دمای ۵۴ درجه به ترتیب به حدود ۲۰، ۱۸، ۲۳، ۱۴ و ۱۸ دقیقه کاهش یافت. به طور کلی، هم با توجه به مقادیر  $LT_{50}$  و هم  $LT_{95}$ ، سوسک توتون متحمل‌ترین گونه بود. همچنین، سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات با توجه به مقادیر  $LT_{50}$  و شیشه دنداندار برنج با توجه به مقادیر  $LT_{95}$  حساس‌ترین گونه‌ها به دماهای بالای مورد بررسی بودند. نتایج این پژوهش به خوبی نشان می‌دهند که دماهای فرابینه به ویژه ۵۰ و ۵۴ درجه سلسیوس می‌توانند در کنترل این پنج آفت انباری و سایر آفات انباری بسیار موثر باشند و بدون نگرانی از اثرات سوء بر محیط زیست و سلامت انسان، به روش‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرند.

**کلیدواژه‌ها:** آفات انباری، مبارزه فیزیکی، دماهای بالا، زمان کشنده

دبیر تخصصی: دکتر معصومه ضیایی

**Citation:** Abbasi, M., Yazdanian, M. & Afshari, A. (2024). Estimation of lethal times of supra-optimal temperatures against adults of five stored-product insect pests. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, 46(3), 49-67. <https://10.22055/ppr.2024.45055.1712>.

## مقدمه

به شمار می‌رود ( Fields, 1992; Dosland et al., 2006; Phillips & Throne, 2010; Gvozdenac et al., 2019). مزایای استفاده از دماهای بالا و پایین در کنترل آفات شامل عدم برجای گذاشتن بقایای مضر، عدم ایجاد مقاومت در آفات و عدم بروز تغییرات قابل توجه در خواص فیزیکی و شیمیایی یا ارزش غذایی فرآورده‌ها می‌باشد ( Ahmed, 2001; Zhao et al., 2007). استفاده از روش گرمادرمانی سال‌های زیادی است که در انبارها و تاسیسات فرآوری برای کنترل حشرات انباری مورد استفاده قرار می‌گیرد ( Beckett et al., 2007). استفاده از دماهای بالاتر و پایین‌تر از دماهای بهینه نشوونمایی، به دلیل سازگاری با تولید ارگانیک، مورد توجه قرار گرفته‌اند و شرکت‌ها به دنبال راه‌هایی برای کاهش استفاده از حشره‌کش‌ها هستند ( Abdelghany et al., 2010). برای کاهش خسارت آفات انباری، استفاده تلفیقی از روش‌های فیزیکی، بیولوژیک، شیمیایی و مقاومت گیاه می‌تواند بسیار مهم و موثر باشد ( Demis & Yenewa, 2022). استفاده از دماهای بالا به عنوان یک جایگزین برای متیل بروماید جهت ضدعفونی تاسیسات فرآوری مواد غذایی ( Mahroof et al., 2003; Roesli et al., 2003) و یا به طور کلی، به عنوان یک روش کنترل فیزیکی جایگزین برای حشره‌کش‌های شیمیایی ( Fields, 2006) رایج شده است. در صنایع فرآوری غلات، استفاده از هوای گرم به عنوان روشی آسان، ساده و سازگار با محیط زیست مورد توجه می‌باشد ( Loganathan et al., 2011). پتانسیل استفاده از تیمارهای گرمایی به عنوان جایگزینی برای فسفین به ویژه جهت کنترل نژادهای مقاوم حشرات آفت در کارخانه‌های شالیکوبی و آرد ( Sakka et al., 2022) و حتی کاهش جمعیت حشراتی مانند سن *Halyomorpha halys* (Stål) (Hemiptera: Pentatomidae) با قراردی کوتاه‌مدت در معرض دماهای بالای عملیات ترابری کالاها ( Scaccini et al., 2019) گزارش شده است. در سال‌های اخیر، از روش‌های مختلفی برای اجرای کنترل گرمایی آفات فرآورده‌های انباری استفاده شده و انتخاب روش مناسب در هر منطقه به هزینه‌های ساخت و اجرای عملیات کنترل بستگی دارد ( Karimzadeh et al., 2020).

حشره‌کش‌ها به دلیل در دسترس بودن، ارزانی و کارایی بالا، به طور وسیع برای کنترل آفات انباری مورد استفاده قرار می‌گیرند (Fields, 2006). از دهه ۱۹۵۰ میلادی، کاربرد حشره‌کش‌های شیمیایی در انبارهای غلات برای کنترل حشرات انباری بسیار گسترده بوده است (Fields, 2006). روش‌های کنترل شیمیایی دارای عوارض جانبی زیادی مانند خطرناک بودن برای سلامتی انسان و جانوران ( Ahmady et al., 2016; Kim et al., 2017)، آلودگی‌های زیست-محیطی ( Fields & White, 2002; Ahmady et al., 2016; Kim et al., 2017)، اثرات نامطلوب بر موجودات غیرهدف ( Whitford, 2002; Boyer et al., 2012) و مقاوم شدن آفات ( Dyte & Halliday, 1985; White & Bell, 1988; Collins & Conyers, 2010; Fields, 2006; Kim et al., 2017) می‌باشند. افزایش نگرانی‌ها در مورد ایمنی، محدودیت‌های بیشتری را برای استفاده از آفت-کش‌ها ایجاد کرده و علاقه به یافتن جایگزین‌های ایمن‌تر، مانند روش‌های کنترل فیزیکی و بیولوژیک با استفاده از انگل‌ها، شکارگرها و بیمارگرها را افزایش داده است (Fields, 2006; Abdelghany et al., 2010).

در میان روش‌های کنترل جایگزین، کنترل فیزیکی یکی از امیدوارکننده‌ترین روش‌های مورد توجه بوده است ( Faruki et al., 2005; Ayvaz & Tunçbilek, 2006; Ayvaz et al., 2007; Azizoglu et al., 2010). روش‌های فیزیکی، مانند اتمسفر کنترل‌شده، دماهای بالا و پایین، خلا نسبی ( Mbata & Phillips, 2001; Finkelman et al., 2003; Mbata et al., 2004)، کردن مکرر، پرتوهای یونیزه ( Mohapatra et al., 2015)، هوادهی، خنک‌سازی ( Navarro & Noyes, 2001) و غیره به دلیل نداشتن باقیمانده برای کنترل آفات انباری بسیار مناسب می‌باشند. با وجود این، بسیاری از آن‌ها گران‌قیمت هستند و این احتمال وجود دارد که به فرآورده‌های انباری آسیب بزنند (Boina & Subramanyam, 2004). مدیریت دما به عنوان یکی از امیدوارکننده‌ترین ابزارهای کنترل حشرات آفت در صنایع فرآوری غلات و غلات انباری

را در شکاف‌ها و داخل سایر پناهگاه‌ها به دور از دیده شدن سپری می‌کنند و کنترل شیمیایی در ارتباط با این آفت بسیار مشکل می‌باشد (Emery et al., 1998). با توجه به ماهیت سوسک انباری، این حشره به طور بارز آفتی است که توانایی پرواز دارد، خود را به سرعت و به گستردگی حتی با کمک انسان‌ها پراکنده می‌سازد، به انواع مختلفی از فراورده‌های انباری و فرآوری شده خسارت می‌زند و در صورتی که پراکنش گسترده‌ای یافته باشد، ریشه‌کنی آن گران و دشوار می‌باشد (Day & White, 2016). سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات یکی از آفات به شدت خسارت‌زا و مخرب حبوبات است که در مناطق گرمسیر و نیمه‌گرمسیر پراکنش گسترده‌ای دارد (Hamzei et al., 2023). سوسک توتون (*Lasioderma serricorne* F.) بر خلاف نام عمومی خود، دارای یکی از متنوع‌ترین دامنه‌های میزبانی پس از شپشه قرمز آرد است (Edde, 2019) که از ۲۲۲ نوع فراورده خشک گیاهی و جانوری تغذیه می‌کند و روی ۴۹ نوع کالا قادر به تولید مثل است (Hagstrum, 2013). شپشه دنداندار برنج (*Oryzaephilus surinamensis* L. آفت مهمی است که در سرتاسر دنیا به فراورده‌های انباری متنوعی خسارت وارد می‌آورد (Gourgouta et al., 2023). شپشه هندی (*Plodia interpunctella* (Hübner) نیز آفتی پلی‌فاژ است که در انبارها به فراورده‌های غذایی مختلف به شدت خسارت وارد می‌آورد (Jaafari-Behi et al., 2023).

با توجه به اهمیت گونه‌های مختلف آفات انباری در استان گلستان و خسارت بسیار قابل توجه وارده توسط این آفات به انواع فراورده‌های انباری و از طرف دیگر، اهمیت کاهش مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی با توجه به تمامی جنبه‌های آن (کاهش اثرات سوء بر سلامتی انسان‌ها، محیط زیست و جانداران غیرهدف)، در پژوهش حاضر کارایی دماهای فرابینه ۴۰، ۴۳، ۴۶، ۵۰ و ۵۴ درجه سلسیوس از طریق برآورد زمان‌های کشنده میانی (LT<sub>50</sub>) روی حشرات کامل پنج آفت انباری مهم شامل سوسک انباری، سوسک چهارنقطه‌ای

اثرات دماهای فرابینه<sup>۱</sup> روی آفات انباری در پژوهش‌های مختلفی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. اثرات کشندگی این دماها علیه تخم‌ها، لاروها و حشرات کامل شب‌پره بادام (*Cadra cautella* (Walker) (Darwish et al., 2015)، حشرات کامل سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات (*Callosobruchus maculatus* (F.) (Karimzadeh et al., 2020)، لاروهای شپشه قرمز آرد (*Tribolium castaneum* (Herbst) (Arthur et al., 2019)، شفیله‌های لمبه گندم (*Trogoderma granarium* Everts (Riaz et al., 2014; Arthur et al., 2019) و شپشه قرمز آرد و تخم‌های سوسک حبوبات گونه (*Callosobruchus subinnotatus* (Pic) (Lale & Vidal, 2003; Arthur et al., 2019) بررسی شده‌اند. همچنین، اثرات زیرکشنده‌ای مانند طولانی شدن دوره نشوونمایی لمبه گندم و شپشه قرمز آرد (Riaz et al., 2019; Arthur et al., 2019) کاهش زادآوری شب‌پره بادام و شپشه قرمز آرد (Darwish et al., 2015; Arthur et al., 2019)، کاهش ظهور حشرات کامل سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات، سوسک *C. subinnotatus* (Lale & Vidal, 2003) و شپشه قرمز آرد (Arthur et al., 2019)، و نیز اثر سینرژیستی این دماها در ترکیب با آفت‌کش‌های شیمیایی و در نتیجه کاهش دز مصرفی آفت-کش‌ها علیه سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات (Karimzadeh et al., 2020) گزارش شده‌اند.

سوسک انباری<sup>۲</sup> (*Trogoderma variabile* Ballion) یک آفت انباری مهم است که در ایران از شهرهای سمنان و شاهرود از روی گندم و جو (Forghani & Marouf, 2015) و از مناطقی دیگر بدون ذکر نام (Bulak et al., 2013) گزارش شده است. این حشره در سراسر دنیا آفت مهم گندم و سایر فراورده‌های انباری است زیرا تقریباً از تمامی فراورده‌های جانوری و گیاهی تغذیه می‌کند. کنترل این آفت بسیار دشوار است، زیرا لاروها می‌توانند تا چندین سال بدون غذا زنده بمانند و بیشتر وقت خود

تلفات تعیین شدند. سپس، با استفاده از فرمول فاصله لگاریتمی شش زمان بین این دو برای آزمایش‌های زیست-سنجی اصلی برآورد شدند.

در آزمایش‌های زیست‌سنجی برای هر گونه، تکرارهای یک دما همزمان با هم انجام نشدند تا از ایجاد تکرارهای کاذب جلوگیری شود. روی هشت تشتک پتری شیشه‌ای حاوی حشرات کامل، مدت زمان در معرض گذاری مربوطه نوشته شد و با هم در داخل آون قرار داده شدند. هر تشتک پتری پس از سپری شدن مدت زمان در معرض گذاری خود از آون خارج شد. پس از اتمام تکرار اول پایین‌ترین دما، دمای بالاتر بعدی تنظیم و تکرار اول آن انجام شد. برای دماهای بعدی نیز به همین انجام و پس از پایان تکرارهای اول، تکرارهای بعدی به همین روش انجام شدند. تیمارهای شاهد مربوط به هر تکرار همزمان با همان تکرار انتخاب شدند. برای هر مدت زمان در معرض گذاری، حشرات کامل یک‌روزه (چهار تکرار؛ در هر تکرار ۲۵ عدد حشره کامل نر و ۲۵ عدد حشره کامل ماده) در داخل تشتک‌های پتری قرار داده شدند. پس از هر مدت زمان، حشرات کامل از آون خارج و به شرایط اتاق (دمای ۲۱ تا ۲۷ درجه سلسیوس؛ رطوبت نسبی ۵۵ تا ۷۰ درصد) منتقل شدند (Scaccini et al., 2019). و تلفات آن‌ها به تفکیک نر و ماده پس از ۲۴ ساعت تعیین گردید (Scaccini et al., 2019; Karimzadeh et al., 2020). هر یک از حشرات فعال شده یا آن‌هایی که تحرک پیوست‌های بدن پس از تحریک با یک قلم‌موی ظریف را نشان دادند، زنده در نظر گرفته شدند. حشرات کامل تیمار شاهد نیز در شرایط اتاق نگهداری شدند.

حشرات کامل نر سوسک انباری با توجه به اندازه کوچک‌تر خود نسبت به ماده‌ها، حشرات کامل نر و ماده سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات با توجه به اندازه و رنگ بدن و طول شاخک‌ها و حشرات کامل نر شپشه دنداندار برنج نیز با توجه به وجود یک خار مشخص روی ران پاهای عقبی آن‌ها از هم تفکیک شدند. در مورد شب‌پره هندی، لاروهای سن آخر نر دارای یک لکه قرمز رنگ روی سطح پشتی شکم خود هستند که لاروهای ماده فاقد این لکه هستند. این لاروها

حبوبات، سوسک توتون، شپشه دنداندار برنج و شب‌پره هندی مطالعه شد. به دلیل قابلیت تشخیص جنسیت حشرات کامل، پاسخ حشرات کامل نر و ماده به صورت مجزا به دماهای فرابهبینه نیز بررسی شد.

## مواد و روش‌ها

### پرورش حشرات

حشرات کامل و لاروهای سوسک انباری در سال ۱۴۰۰ از داخل یک بسته پودر جوانه گندم آلوده که قبلاً برای تهیه غذای مصنوعی شب‌پره هندی مورد استفاده قرار گرفته بود جمع‌آوری شدند. گونه حشره با تهیه اسلاید از ژنیتالیای نر و استفاده از منابع معتبر موجود شناسایی (Banks, 1994) و پرورش آن روی جو پرک‌شده انجام شد. چهار آفت دیگر از کلنی‌های موجود در همین گروه تهیه شدند. سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات روی دانه‌های لوبیای چشم-بلبلی، سوسک توتون روی آرد گندم، شپشه دنداندار برنج روی دانه‌های خردشده برنج و شب‌پره هندی روی سبوس گندم پرورش داده شدند. پرورش هر گونه به صورت مجزا و در ظروف پلاستیکی به رنگ سفید شفاف به ابعاد  $15 \times 9 \times 23$  سانتی‌متر در دمای  $2 \pm 27$  درجه سلسیوس، رطوبت نسبی  $5 \pm 60$  درصد) داخل ژرمیناتور انجام شد. طبق پژوهش Wright and Cartledge (1994) دوره نوری جهت افزایش تعداد سفیره‌های تشکیل‌شده سوسک انباری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی بود که در این مطالعه برای پرورش پنج گونه نیز این دوره نوری مورد استفاده قرار گرفت.

### آزمایش‌های زیست‌سنجی دماهای فرابهبینه

برای انجام آزمایش‌ها از حشرات کامل حداکثر یک‌روزه استفاده شد. دماهای فرابهبینه مورد بررسی شامل ۴۰، ۴۳، ۴۶، ۵۰ و ۵۴ درجه سلسیوس بودند که توسط یک آون الکتریکی (Memmert, Germany) تهویه‌دار تنظیم شدند. پیش از انجام آزمایش‌ها، آون به مدت ۳۰ دقیقه پیش‌گرمایش شد. جهت تعیین فواصل زمانی شمارش تلفات در هر دما، آزمایش‌های مقدماتی برای هر گونه به صورت مجزا انجام و زمان‌های ایجادکننده ۱۰ و ۹۰ درصد

مورد حشرات ماده این گونه، مقادیر  $LT_{50}$  در دماهای ۴۰، ۴۳، ۴۶، ۵۰ و ۵۴ درجه سلسیوس به ترتیب ۱۰۷۳/۱۸، ۱۴/۱۴، ۱۱/۸۰، ۱۱/۰۲ و ۶/۹۲ دقیقه و شاخص‌های کشندگی نیز به ترتیب ۰/۶۴، ۴۸/۹۳، ۵۸/۶۰، ۶۲/۷۶ و ۱۰۰ درصد بود (جدول ۱).

در مورد حشرات کامل نر سوسک چهارنقطه‌ای حیوانات، مقادیر  $LT_{50}$  در دماهای ۴۰، ۴۳، ۴۶، ۵۰ و ۵۴ درجه سلسیوس به ترتیب ۵۲۸/۲۳، ۶۶/۴۸، ۸/۳۹، ۸/۸۴ و ۳/۸۵ دقیقه به دست آمد. شاخص‌های کشندگی نیز برای دماهای فوق به ترتیب ۰/۷۳، ۵/۸۰، ۴۵/۹۷، ۴۳/۶۲ و ۱۰۰ درصد به دست آمد. برای حشرات ماده، مقادیر  $LT_{50}$  در دماهای ۴۰، ۴۳، ۴۶، ۵۰ و ۵۴ درجه سلسیوس به ترتیب ۴/۲۶، ۶۷/۷۸، ۸/۷۰، ۷/۳۱ و ۴/۲۶ دقیقه و شاخص‌های کشندگی نیز به ترتیب ۰/۷۵، ۶/۲۸، ۴۸/۹۴، ۵۸/۲۲ و ۱۰۰ درصد بود (جدول ۲).

طبق نتایج، مدت زمان لازم برای بروز تلفات ۵۰ درصدی حشرات کامل نر سوسک توتون در دماهای ۴۰، ۴۳، ۴۶، ۵۰ و ۵۴ درجه سلسیوس به ترتیب ۲۷۴۲/۰۸، ۱۶۳/۱۶، ۷۹/۳۱، ۲۲/۲۸ و ۱۲/۱۷ دقیقه و شاخص‌های کشندگی نیز برای دماهای فوق به ترتیب ۰/۴۴، ۷/۴۶، ۱۵/۳۵، ۵۴/۶۴ و ۱۰۰ درصد به دست آمد. مقادیر  $LT_{50}$  برای حشرات ماده این گونه در دماهای ۴۰، ۴۳، ۴۶، ۵۰ و ۵۴ درجه سلسیوس به ترتیب ۲۸۷۰/۹۳، ۱۷۰/۷۷، ۸۲/۲۱، ۲۱/۲۰ و ۱۱/۴۰ دقیقه و شاخص‌های کشندگی نیز به ترتیب ۰/۴۰، ۶/۶۸، ۱۳/۸۷، ۵۳/۷۸ و ۱۰۰ درصد بود (جدول ۳).

نتایج تجزیه پروبیت نشان داد که مقادیر  $LT_{50}$  برای حشرات کامل نر شپشه دندانه‌دار برنج در دماهای ۴۰، ۴۳، ۴۶، ۵۰ و ۵۴ درجه سلسیوس به ترتیب ۲۱۳۸/۷۳، ۱۲/۶۴، ۱۱/۰۲، ۹/۹۰ و ۸/۹۰ دقیقه بود. شاخص‌های کشندگی نیز برای دماهای فوق به ترتیب ۰/۴۲، ۷۰/۴۰، ۷۰/۷۸، ۸۹/۸۹ و ۱۰۰ درصد به دست آمد. برای حشرات کامل ماده شپشه دندانه‌دار برنج، مقادیر  $LT_{50}$  در دماهای ۴۰، ۴۳، ۴۶، ۵۰ و ۵۴ درجه سلسیوس به ترتیب ۱۹۶۲/۸۱، ۱۲/۱۹، ۱۲/۲۸ و ۱۱/۷۷ دقیقه و شاخص‌های کشندگی نیز به ترتیب ۰/۴۵، ۷۲/۷۵، ۷۱/۸۹، ۷۷/۷۰ و ۱۰۰ درصد بود (جدول ۴).

از کلنی پرورشی جداسازی و در ظروفی جداگانه تا ظهور حشرات کامل پرورش داده شدند. تفکیک جنسیتی حشرات کامل شپشه دندانه‌دار برنج پس از بی‌حس کردن آن‌ها به مدت ۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس در زیر استریومیکروسکوپ انجام شد. در مورد سوسک توتون، تعیین جنسیت حشرات کامل در حالت زنده امکان‌پذیر نبود. لذا، حشرات کامل مورد استفاده در زیست‌سنجی‌ها پس از مرگ به داخل اتانول ۷۰ درصد منتقل و با مشاهده شکم در زیر استریومیکروسکوپ (Papadopoulou & Buchelos, 2002)، جنسیت آن‌ها تعیین شد.

### تجزیه و تحلیل‌های آماری

تجزیه پروبیت داده‌ها با نرم‌افزارهای آماری PoloDose و PoloPlus ver. 2.0 (LeOra Software, 2023) انجام شد. وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر  $LT$  برآوردشده به روش نسبت‌های زمان کشنده (Robertson et al., 2017) تعیین و برای اصلاح تلفات تیمارها نسبت به شاهد از فرمول آبوت (Abbott, 1925) استفاده شد. شاخص‌های کشندگی (LIs) نیز با استفاده از فرمول Sun (1950) محاسبه شدند.

### نتایج

نتایج حاصل از زیست‌سنجی در جداول ۱ تا ۵ ارائه شده‌اند. با استناد به مقادیر  $LT$  و  $LI$ ، حساسیت حشرات کامل نر و ماده هر گونه به دماهای فرابینه یکسان و فاقد اختلاف معنی‌دار بود. طبق آنچه انتظار می‌رفت، مدت زمان لازم برای تلفات حشرات کامل ( $LT$ ) با افزایش دما به شکل معنی‌داری کاهش یافت، هرچند روند آن در گونه‌های مورد بررسی متفاوت بود.

با استناد به نتایج تجزیه پروبیت، مدت زمان لازم برای بروز تلفات ۵۰ درصدی حشرات کامل نر سوسک انباری، در دماهای ۴۰، ۴۳، ۴۶، ۵۰ و ۵۴ درجه سلسیوس به ترتیب ۱۰۷۶/۰۵، ۱۲/۹۰، ۱۱/۴۶، ۱۱/۰۵ و ۶/۹۴ دقیقه و شاخص‌های کشندگی برای دماهای فوق به ترتیب ۰/۶۴، ۶۰/۵۹، ۶۲/۸۰ و ۱۰۰ درصد به دست آمد. در

جدول ۱- مقادیر  $LT_{50}$  و  $LT_{95}$  (دقیقه) برآورد شده برای حشرات کامل نر و ماده سوسک انباری قرار داده شده در معرض دماهای فرابینه

Table 1. Estimated  $LT_{50}$  and  $LT_{95}$  (min.) for male and female adults of *Trogoderma variabile* exposed to supra-optimal temperatures

| Temp. (°C)      | $LT_{50}$ (95% CL)*             | $LT_{95}$ (95% CL)*              | Intercept $\pm$ SE | Slope $\pm$ SE  | $\chi^2$ (df) | H.F.   | L.I. (%) |
|-----------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------|---------------|--------|----------|
| <b>Male</b>     |                                 |                                  |                    |                 |               |        |          |
| 40<br>(n = 100) | 1076.05 a<br>(847.63–1235.50)   | 6705.28 a<br>(4483.793–8951.241) | -6.28 $\pm$ 0.47   | 2.07 $\pm$ 0.15 | 1.02 (5)      | 0.2021 | 0.64     |
| 43<br>(n = 100) | 12.90 b<br>(9.21–17.26)         | 64.88 b<br>(44.83–89.59)         | -2.31 $\pm$ 0.20   | 2.18 $\pm$ 0.18 | 4.02 (6)      | 0.6702 | 53.81    |
| 46<br>(n = 100) | 11.46 b<br>(7.68–14.30)         | 48.61 b<br>(35.69–65.94)         | -3.17 $\pm$ 0.23   | 2.85 $\pm$ 0.20 | 4.63 (6)      | 0.7714 | 60.59    |
| 50<br>(n = 100) | 11.05 b<br>(7.91–14.10)         | 26.05 c<br>(18.57–38.09)         | -4.61 $\pm$ 0.33   | 4.40 $\pm$ 0.30 | 1.33 (6)      | 0.2216 | 62.80    |
| 54<br>(n = 100) | 6.94 c<br>(4.95–9.15)           | 22.36 c<br>(14.49–31.51)         | -2.72 $\pm$ 0.21   | 3.24 $\pm$ 0.24 | 5.33 (6)      | 0.8884 | 100      |
| <b>Female</b>   |                                 |                                  |                    |                 |               |        |          |
| 40<br>(n = 100) | 1073.18 a<br>(824.24–1371.59)   | 4211.18 a<br>(3395.92–6144.28)   | -8.40 $\pm$ 0.54   | 2.77 $\pm$ 0.17 | 1.93 (5)      | 0.3845 | 0.64     |
| 43<br>(n = 100) | 14.14 b<br>(11.52–19.80)        | 65.92 b<br>(43.97–82.94)         | -3.36 $\pm$ 0.26   | 2.90 $\pm$ 0.22 | 4.07 (6)      | 0.6788 | 48.93    |
| 46<br>(n = 100) | 11.80 b<br>(9.42–14.17)         | 33.42 c<br>(25.35–45.82)         | -3.90 $\pm$ 0.27   | 3.64 $\pm$ 0.23 | 2.93 (6)      | 0.4874 | 58.60    |
| 50<br>(n = 100) | 11.02 b<br>(8.18–13.70)         | 24.10 cd<br>(17.95–38.51)        | -5.04 $\pm$ 0.35   | 4.84 $\pm$ 0.32 | 2.29 (6)      | 0.3820 | 62.76    |
| 54<br>(n = 100) | 6.92 c<br>(4.56–9.42)           | 18.87 d<br>(13.49–28.92)         | 3.17 $\pm$ 0.23    | 3.77 $\pm$ 0.25 | 2.10 (6)      | 0.3497 | 100      |
| <b>Total</b>    |                                 |                                  |                    |                 |               |        |          |
| 40<br>(n = 200) | 1077.14 a<br>(853.498–1334.187) | 5263.74 a<br>(3654.58–7533.97)   | -7.24 $\pm$ 0.35   | 2.39 $\pm$ 0.11 | 2.50 (5)      | 0.4896 | 0.64     |
| 43<br>(n = 200) | 12.96 b<br>(8.45–18.00)         | 64.58 b<br>(42.91–85.98)         | -2.73 $\pm$ 0.16   | 2.46 $\pm$ 0.14 | 5.45 (6)      | 0.9078 | 53.43    |
| 46<br>(n = 200) | 11.29 b<br>(8.55–14.17)         | 40.07 c<br>(28.55–55.12)         | -3.49 $\pm$ 0.17   | 3.20 $\pm$ 0.15 | 5.32 (6)      | 0.8861 | 61.36    |
| 50<br>(n = 200) | 11.03 b<br>(8.14–13.77)         | 25.04 d<br>(18.35–37.96)         | -4.82 $\pm$ 0.24   | 4.62 $\pm$ 0.22 | 3.32 (6)      | 0.5532 | 62.77    |
| 54<br>(n = 200) | 6.93 c<br>(4.84–9.19)           | 20.47 d<br>(13.51–30.20)         | -2.94 $\pm$ 0.16   | 3.49 $\pm$ 0.17 | 5.37 (6)      | 0.8962 | 100      |

\*For male, female and total, different letters in columns with LT values show significant differences ( $\alpha = 0.05$ ) between estimated LTs based on lethal time ratios method (Robertson et al., 2017); H.F. = Heterogeneity factor; L.I. (Lethal index: Sun, 1950) = ( $LT_{50}$  of the most effective temperature/ $LT_{50}$  of selected temperature)  $\times$  100.

شاخص‌های کشندگی به ترتیب ۲/۱۱، ۹/۶۹، ۳۵/۸۱، ۵۵/۲۶ و ۱۰۰ درصد به دست آمد (جدول ۵).

### بحث

استفاده از دماهای بالا ممکن است یکی از مناسب‌ترین جایگزین‌های آفت‌کش‌های شیمیایی باشد. از اوایل دهه ۱۹۰۰ میلادی، دمای بالا به عنوان یک روش کنترل آفات در آمریکای شمالی مورد استفاده بوده است (Hansen et al.,

با استناد به نتایج تجزیه پرویت، مقادیر  $LT_{50}$  برای حشرات کامل نر شب‌پره هندی در دماهای ۴۰، ۴۳، ۴۶، ۵۰ و ۵۴ درجه سلسیوس به ترتیب ۴۲۳/۶۱، ۹۲/۷۸، ۲۵/۳۹، ۱۷/۰۶ و ۷/۳۵ دقیقه و شاخص‌های کشندگی نیز برای دماهای فوق به ترتیب ۱/۳۷، ۷/۹۲، ۲۸/۹۶، ۴۳/۱۰ و ۱۰۰ درصد به دست آمد. برای حشرات کامل ماده این شب‌پره نیز مقادیر  $LT_{50}$  در دماهای ۴۰، ۴۳، ۴۶، ۵۰ و ۵۴ درجه سلسیوس به ترتیب ۴۷۸/۶۱، ۱۰۴/۰۵، ۲۸/۱۶، ۱۸/۲۵ و ۱۰/۰۸ دقیقه برآورد شدند و

و تکرارپذیری آزمایش‌ها را بهبود بخشیده‌اند (Hansen et al., 2011). دستگاه‌های تولیدکننده امواج مایکروویو برای تولید گرما در سطح دانه‌های ماش جهت کنترل سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات (Purohit et al., 2013) و کارایی محفظه‌های گرمایشی صفحات خورشیدی ساخته‌شده برای کنترل آفات بندپای دانه‌های کاکائو (Abdullahi et al., 2019)، از جمله ابزارهای گرماساز بررسی شده جهت کنترل آفات انباری می‌باشند. استفاده از دماهای بالا ممکن است مناسب‌ترین جایگزین برای آفت‌کش‌های شیمیایی باشد (Correal, 2016).

(2011). از مشکلات موجود بر سر راه کاربرد دماهای بالا و پایین به عنوان یک روش کنترلی می‌توان به هزینه‌بر بودن روش‌های افزایش و کاهش دما به صورت اقتصادی و سریع، و نیز نبود دانش کافی در مورد اثرات ترکیبی دما و مدت زمان در معرض‌گذاری آفات جهت کنترل آن‌ها اشاره نمود (Strang, 1992; Bergh et al., 2006). از زمان اولین تلاش‌ها جهت کنترل آفات با روش‌های دمایی، فناوری‌های کاربردی برای طراحی ابزارهای مکانیکی پیشرفت کرده‌اند. پیشرفت‌های حاصل شده در زمینه ساخت ابزارهای دقیق، اندازه‌گیری دما و کنترل سایر متغیرها را فراهم آورده و دقت

جدول ۲- مقادیر  $LT_{50}$  و  $LT_{95}$  (دقیقه) برآوردشده برای حشرات کامل نر و ماده سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات قرار داده شده در معرض دماهای فرابینه

Table 2. Estimated  $LT_{50}$  and  $LT_{95}$  (min.) for male and female adults of *Callosobruchus maculatus* exposed to supra-optimal temperatures

| Temp. (°C)      | $LT_{50}$ (95% CL)*         | $LT_{95}$ (95% CL)*             | Intercept ± SE | Slope ± SE  | $\chi^2$ (df) | H.F.   | L.I. (%) |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------|-------------|---------------|--------|----------|
| <b>Male</b>     |                             |                                 |                |             |               |        |          |
| 40<br>(n = 100) | 528.23 a<br>(337.97–738.02) | 8439.30 a<br>(6549.53–10243.96) | -3.72 ± 0.32   | 1.37 ± 0.11 | 4.40<br>(5)   | 0.8781 | 0.73     |
| 43<br>(n = 100) | 66.48 b<br>(44.92–88.11)    | 328.74 b<br>(220.03–544.66)     | -2.06 ± 0.16   | 2.54 ± 0.17 | 5.54<br>(6)   | 0.9221 | 5.80     |
| 46<br>(n = 100) | 8.39 c<br>(6.27–10.75)      | 33.85 b<br>(22.33–51.47)        | -2.51 ± 0.19   | 2.71 ± 0.19 | 2.76<br>(6)   | 0.4619 | 45.97    |
| 50<br>(n = 100) | 8.84 c<br>(6.44–11.29)      | 33.64 b<br>(22.043–53.987)      | -2.68 ± 0.22   | 2.83 ± 0.21 | 3.69<br>(6)   | 0.6144 | 43.62    |
| 54<br>(n = 100) | 3.85 d<br>(2.74–5.04)       | 19.10 c<br>(12.87–28.35)        | -1.39 ± 0.12   | 2.37 ± 0.15 | 3.03<br>(6)   | 0.5049 | 100      |
| <b>Female</b>   |                             |                                 |                |             |               |        |          |
| 40<br>(n = 100) | 564.07 a<br>(358.80–771.31) | 6098.02 a<br>(4887.19–8622.28)  | -4.38 ± 0.33   | 1.59 ± 0.12 | 2.16<br>(5)   | 0.4316 | 0.75     |
| 43<br>(n = 100) | 67.78 b<br>(46.19–89.49)    | 326.50 b<br>(209.47–545.22)     | -2.75 ± 0.19   | 3.09 ± 0.19 | 2.53<br>(6)   | 0.4223 | 6.28     |
| 46<br>(n = 100) | 8.70 c<br>(6.13–10.52)      | 32.64 c<br>(20.06–53.33)        | -2.32 ± 0.18   | 2.62 ± 0.18 | 4.81<br>(6)   | 0.8005 | 48.94    |
| 50<br>(n = 100) | 7.31 c<br>(5.55–10.08)      | 25.78 cd<br>(19.48–38.08)       | -3.61 ± 0.26   | 3.72 ± 0.24 | 2.96<br>(6)   | 0.4927 | 58.22    |
| 54<br>(n = 100) | 4.26 d<br>(3.08–5.61)       | 20.10 d<br>(13.07–35.38)        | -1.54 ± 0.13   | 2.44 ± 0.16 | 20.76<br>(5)  | 0.4152 | 100      |
| <b>Total</b>    |                             |                                 |                |             |               |        |          |
| 40<br>(n = 200) | 543.07 d<br>(345.32–730.57) | 6863.40 a<br>(4178.70–8549.62)  | -4.08 ± 0.23   | 1.49 ± 0.08 | 3.81<br>(5)   | 0.7630 | 0.74     |
| 43<br>(n = 200) | 67.12 b<br>(45.56–88.77)    | 327.79 b<br>(219.92–549.58)     | -2.37 ± 0.12   | 2.78 ± 0.12 | 4.76<br>(6)   | 0.7934 | 5.97     |
| 46<br>(n = 200) | 8.04 c<br>(5.81–10.49)      | 33.31 c<br>(21.50–58.22)        | -2.41 ± 0.13   | 2.66 ± 0.13 | 3.73<br>(6)   | 0.6226 | 49.82    |
| 50<br>(n = 200) | 9.07 c<br>(7.05–11.13)      | 29.28 c<br>(20.79–40.59)        | -3.09 ± 0.16   | 3.23 ± 0.16 | 3.33<br>(6)   | 0.5553 | 44.15    |
| 54<br>(n = 200) | 4.00 d<br>(2.89–5.19)       | 18.34 d<br>(12.57–35.47)        | -1.50 ± 0.09   | 2.49 ± 0.11 | 3.48<br>(6)   | 0.5796 | 100      |

\*For male, female and total, different letters in columns with LT values show significant differences ( $\alpha = 0.05$ ) between estimated LTs based on lethal time ratios method (Robertson et al., 2017); H.F. = Heterogeneity factor; L.I. (Lethal index: Sun, 1950) = ( $LT_{50}$  of the most effective temperature/ $LT_{50}$  of selected temperature)  $\times$  100.

اصل کلی در مورد حشرات از جمله آفات انباری مانند سوسک انباری (Wright et al., 2002; Rai, 2014)، سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات (Lale & Vidal, 2003; Habibi Karahrodi et al., 2011; Loganathan et al., 2011; Ahmady et al., 2016; Mahgoup et al., 2019; Karimzadeh et al., 2020)، سوسک توتون دندانه‌دار برنج (Xiang & Dai, 2016) و شب‌پره هندی (Mbata & Phillips, 2001; Sauer & Shelton, 2004; Mbata et al., 2002) گزارش شده است.

در دماهای نیمه‌بینه<sup>۱</sup> (۱۳ تا ۲۴ و ۳۳ تا ۳۵ درجه سلسیوس) نشوونما کاهش پیدا می‌کند. دماهای کشنده (زیر ۱۳ و بالای ۳۶ درجه سلسیوس) باعث توقف تغذیه، گند شدن نشوونما و در نهایت مرگ حشرات می‌شوند (Bhargava et al., 2007; Fields et al., 2012). یافته‌های مختلف نشان می‌دهند که برای تعیین برنامه‌های کنترلی موثر مبتنی بر استفاده از دماهای بالا، تمام مراحل نشوونمایی آفات باید مورد آزمایش قرار گیرند (Adler, 2002). طبق نتایج و همان‌طور که انتظار می‌رفت، افزایش دما باعث تلفات سریع‌تر (کاهش مقادیر LT) حشرات کامل شد که به عنوان یک

جدول ۳- مقادیر  $LT_{50}$  و  $LT_{95}$  (دقیقه) برآوردشده برای حشرات کامل نر و ماده سوسک توتون قرار داده شده در معرض دماهای فرابینه  
Table 3. Estimated  $LT_{50}$  and  $LT_{95}$  (min.) for male and female adults of *Lasioderma serricorne* exposed to supra-optimal temperatures

| Temp. (°C)      | $LT_{50}$ (95% CL)*            | $LT_{95}$ (95% CL)*             | Intercept ± SE | Slope ± SE  | $\chi^2$ (df) | H.F.   | L.I. (%) |
|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------|-------------|---------------|--------|----------|
| <b>Male</b>     |                                |                                 |                |             |               |        |          |
| 40<br>(n = 83)  | 2742.08 a<br>(1917.67–3462.65) | 9189.90 a<br>(7639.60–11948.26) | -10.77 ± 0.97  | 3.13 ± 0.27 | 3.44<br>(4)   | 0.8603 | 0.44     |
| 43<br>(n = 100) | 163.16 b<br>(116.17–210.45)    | 510.36 b<br>(356.75–717.84)     | -7.35 ± 0.55   | 3.32 ± 0.24 | 2.76<br>(4)   | 0.6934 | 7.46     |
| 46<br>(n = 95)  | 79.31 c<br>(52.37–105.12)      | 270.14 c<br>(179.32–382.24)     | -5.87 ± 0.45   | 3.09 ± 0.23 | 4.04<br>(5)   | 0.8099 | 15.35    |
| 50<br>(n = 100) | 22.28 d<br>(21.06–23.60)       | 42.93 d<br>(38.23–50.46)        | -7.78 ± 0.41   | 5.77 ± 0.31 | 1.96<br>(6)   | 0.3261 | 54.64    |
| 54<br>(n = 95)  | 12.17 e<br>(9.83–14.88)        | 22.44 e<br>(17.49–33.20)        | -6.73 ± 0.45   | 6.19 ± 0.40 | 4.22<br>(5)   | 0.8441 | 100      |
| <b>Female</b>   |                                |                                 |                |             |               |        |          |
| 40<br>(n = 117) | 2870.93 a<br>(2080.30–3587.92) | 7725.90 a<br>(5784.60–9884.23)  | -13.23 ± 0.90  | 3.83 ± 0.25 | 3.92<br>(4)   | 0.9776 | 0.40     |
| 43<br>(n = 100) | 170.77 b<br>(114.67–228.60)    | 511.52 b<br>(346.75–754.86)     | -7.71 ± 0.56   | 3.45 ± 0.24 | 1.49<br>(4)   | 0.3712 | 6.68     |
| 46<br>(n = 105) | 82.21 c<br>(53.73–112.72)      | 236.14 c<br>(155.25–300.18)     | -6.87 ± 0.51   | 3.59 ± 0.26 | 0.82<br>(4)   | 0.2041 | 13.87    |
| 50<br>(n = 100) | 21.20 d<br>(20.21–22.24)       | 36.70 d<br>(33.615–41.252)      | -9.16 ± 0.46   | 6.90 ± 0.34 | 0.89<br>(6)   | 0.1492 | 53.78    |
| 54<br>(n = 105) | 11.40 e<br>(9.05–14.03)        | 23.67 e<br>(17.95–37.39)        | -5.48 ± 0.35   | 5.19 ± 0.33 | 4.56<br>(5)   | 0.9138 | 100      |
| <b>Total</b>    |                                |                                 |                |             |               |        |          |
| 40<br>(n = 200) | 2820.41 a<br>(2068.99–3496.29) | 8283.04 a<br>(6201.80–10552.35) | -12.13 ± 0.66  | 3.52 ± 0.18 | 3.88<br>(4)   | 0.9721 | 0.42     |
| 43<br>(n = 200) | 166.94 b<br>(118.18–216.52)    | 511.13 b<br>(356.05–748.32)     | -7.52 ± 0.39   | 3.38 ± 0.17 | 1.99<br>(4)   | 0.4983 | 7.05     |
| 46<br>(n = 200) | 80.16 c<br>(55.15–104.18)      | 238.19 c<br>(165.76–344.47)     | -6.62 ± 0.33   | 3.48 ± 0.17 | 2.39<br>(5)   | 0.4780 | 14.68    |
| 50<br>(n = 200) | 21.72 d<br>(20.67–22.82)       | 39.66 d<br>(36.02–45.11)        | -8.41 ± 0.30   | 6.29 ± 0.23 | 1.97<br>(6)   | 0.3283 | 54.17    |
| 54<br>(n = 200) | 11.76 e<br>(9.45–14.40)        | 23.16 e<br>(17.81–34.81)        | -5.99 ± 0.28   | 5.59 ± 0.25 | 3.93<br>(5)   | 0.7853 | 100      |

\*For male, female and total, different letters in columns with LT values show significant differences ( $\alpha = 0.05$ ) between estimated LTs based on lethal time ratios method (Robertson et al., 2017); H.F. = Heterogeneity factor; L.I. (Lethal index: Sun, 1950) =  $(LT_{50}$  of the most effective temperature/ $LT_{50}$  of selected temperature)  $\times$  100.



(Lale & Vidal, 2003)، دما می‌تواند بر بسیاری از جنبه‌های زیستی آن‌ها از جمله فعالیت آنزیم‌ها (Wang et al., 2022)، غدد درون‌ریز (Neven, 2000)، متابولیسم، عملکردهای فیزیولوژیک، طول دوره رشد و نشوونما، رفتار و در نهایت بقای جمعیت (Bhargava et al., 2007) به شدت تاثیر بگذارد. قرار گرفتن درازمدت در معرض دماهای بالا می‌تواند باعث تغییر در لیپیدها به ویژه افزایش سیالیت غشاهای فسفولیپیدی دستگاه عصبی، بروز تغییر در فعالیت تعادل یون‌ها، تغییر ساختار ماکرومولکول‌ها و در نتیجه تاثیر بر ساختار سلولی و سرعت واکنش‌های متابولیسمی شود (Fields, 1992; Hansen et al., 2011).

حشرات جانورانی خونسرد هستند، به این معنی که دمای بدن آن‌ها با تغییر دمای محیط به سرعت تغییر می‌کند که می‌تواند به مرگ منجر شود (Shi et al., 2018). تحت گرمای شدید، بسیاری از حشرات نمی‌توانند زنده بمانند زیرا از تحمل کافی برخوردار نیستند (Bodlah et al., 2023). آسیب دیدن حشرات در دماهای بالا به طور معمول غیرقابل برگشت است و حتی اگر حشره زنده بماند، ممکن است در زمان بازگشت به دمای بهینه، رشد، نشوونما و ظرفیت تولید مثلی آن مختل شوند (Fields, 1992; Cui et al., 2008; Hansen et al., 2011). با توجه به این که حشرات ظرفیت فیزیولوژیک محدودی برای تنظیم دمای بدن خود دارند

**جدول ۴- مقادیر LT<sub>50</sub> و LT<sub>95</sub> (دقیقه) برآوردشده برای حشرات کامل نر و ماده شپشه دنداندار برنج قرار داده شده در معرض دماهای فرابینه**

**Table 4. Estimated LT<sub>50</sub> and LT<sub>95</sub> (min.) for male and female adults of *Oryzaephilus surrinamensis* exposed to supra-optimal temperatures**

| Temp. (°C)    | LT <sub>50</sub> (95% CL)*     | LT <sub>95</sub> (95% CL)*      | Intercept ± SE | Slope ± SE  | χ <sup>2</sup> (df) | H.F.   | L.I. (%) |
|---------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------|-------------|---------------------|--------|----------|
| <b>Male</b>   |                                |                                 |                |             |                     |        |          |
| 40 (n = 100)  | 2138.73 a<br>(1556.06–2722.10) | 8619.30 a<br>(5834.51–10400.32) | -9.05 ± 0.68   | 2.22 ± 0.20 | 2.15 (5)            | 0.4319 | 0.42     |
| 43 (n = 100)  | 12.64 b<br>(10.66–14.62)       | 49.89 b<br>(28.76–61.15)        | -4.64 ± 0.31   | 4.21 ± 0.27 | 2.61 (6)            | 0.4334 | 70.40    |
| 46 (n = 100)  | 11.02 b<br>(7.39–15.80)        | 31.06 b<br>(24.65–47.03)        | -2.61 ± 0.19   | 0.51 ± 0.17 | 3.32 (6)            | 0.5533 | 80.78    |
| 50 (n = 100)  | 9.90 b<br>(8.93–10.86)         | 19.17 c<br>(16.44–24.67)        | -5.71 ± 0.38   | 5.73 ± 0.37 | 1.87 (6)            | 0.3118 | 89.89    |
| 54 (n = 100)  | 8.90 b<br>(7.80–9.74)          | 13.78 d<br>(12.17–17.81)        | -8.23 ± 0.57   | 6.70 ± 0.57 | 3.80 (6)            | 0.6325 | 100      |
| <b>Female</b> |                                |                                 |                |             |                     |        |          |
| 40 (n = 100)  | 1962.81 a<br>(1270.58–2626.78) | 7287.43 a<br>(5809.38–10784.69) | -9.51 ± 0.66   | 2.89 ± 0.20 | 3.36 (5)            | 0.6742 | 0.45     |
| 43 (n = 100)  | 12.05 b<br>(10.50–13.57)       | 49.90 b<br>(29.07–66.74)        | -4.68 ± 0.31   | 4.33 ± 0.27 | 1.80 (6)            | 0.2997 | 72.75    |
| 46 (n = 100)  | 12.19 b<br>(8.36–17.61)        | 28.88 c<br>(23.94–38.83)        | -2.92 ± 0.21   | 2.69 ± 0.18 | 5.48 (6)            | 0.9128 | 71.89    |
| 50 (n = 100)  | 11.28 b<br>(9.97–12.77)        | 21.02 c<br>(17.32–30.71)        | -6.40 ± 0.40   | 6.09 ± 0.38 | 3.30 (6)            | 0.5495 | 77.70    |
| 54 (n = 100)  | 8.77 b<br>(7.17–9.89)          | 13.61 d<br>(11.68–20.39)        | -8.12 ± 0.55   | 5.61 ± 0.56 | 5.89 (6)            | 0.9830 | 100      |
| <b>Total</b>  |                                |                                 |                |             |                     |        |          |
| 40 (n = 200)  | 2047.82 a<br>(1416.01–2666.81) | 7934.50 d<br>(5309.81–9345.86)  | -9.26 ± 0.48   | 2.80 ± 0.14 | 3.55 (5)            | 0.7081 | 0.41     |
| 43 (n = 200)  | 13.10 b<br>(10.46–15.81)       | 50.11 b<br>(39.07–69.84)        | -5.09 ± 0.23   | 4.55 ± 0.20 | 3.39 (6)            | 0.5660 | 63.63    |
| 46 (n = 200)  | 11.60 b<br>(2.89–14.65)        | 30.07 c<br>(22.96–43.80)        | -2.75 ± 0.14   | 2.59 ± 0.13 | 4.46 (6)            | 0.7430 | 71.84    |
| 50 (n = 200)  | 10.58 bc<br>(9.55–11.65)       | 20.24 d<br>(17.20–26.67)        | -5.98 ± 0.27   | 5.84 ± 0.26 | 4.17 (6)            | 0.6954 | 78.78    |
| 54 (n = 200)  | 8.33 c<br>(7.53–9.80)          | 13.83 e<br>(11.94–18.77)        | -8.17 ± 0.40   | 8.63 ± 0.40 | 3.89 (6)            | 0.6476 | 100      |

\*For male, female and total, different letters in columns with LT values show significant differences ( $\alpha = 0.05$ ) between estimated LTs based on lethal time ratios method (Robertson et al., 2017); H.F. = Heterogeneity factor; L.I. (Lethal index: Sun, 1950) = (LT<sub>50</sub> of the most effective temperature/LT<sub>50</sub> of selected temperature) × 100.

جدول ۵- مقادیر  $LT_{50}$  و  $LT_{95}$  (دقیقه) برآوردشده برای حشرات کامل نر و ماده شب‌پره هندی قرار داده شده در معرض دماهای فرابینه

Table 5. Estimated  $LT_{50}$  and  $LT_{95}$  (min.) for male and female adults of *Plodia interpunctella* exposed to supra-optimal temperatures

| Temp. (°C)      | $LT_{50}$ (95% CL)*         | $LT_{95}$ (95% CL)*            | Intercept $\pm$ SE | Slope $\pm$ SE  | $\chi^2$ (df) | H.F.   | L.I. (%) |
|-----------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------|-----------------|---------------|--------|----------|
| <b>Male</b>     |                             |                                |                    |                 |               |        |          |
| 40<br>(n = 100) | 423.61 a<br>(362.72–495.60) | 2358.86 a<br>(2018.23–2716.17) | -5.79 $\pm$ 0.39   | 2.21 $\pm$ 0.15 | 2.53<br>(6)   | 0.4231 | 1.73     |
| 43<br>(n = 100) | 92.78 b<br>(80.95–105.43)   | 274.55 b<br>(227.84–304.36)    | -6.87 $\pm$ 0.45   | 3.49 $\pm$ 0.22 | 1.47<br>(6)   | 0.2444 | 7.92     |
| 46<br>(n = 100) | 25.39 c<br>(22.29–29.90)    | 53.99 c<br>(41.47–68.79)       | -7.05 $\pm$ 0.48   | 5.02 $\pm$ 0.35 | 2.71<br>(6)   | 0.4523 | 28.96    |
| 50<br>(n = 100) | 17.06 d<br>(14.66–19.53)    | 25.03 d<br>(21.22–32.43)       | -5.17 $\pm$ 0.82   | 4.88 $\pm$ 0.66 | 3.66<br>(5)   | 0.7321 | 43.10    |
| 54<br>(n = 100) | 7.35 e<br>(6.26–8.57)       | 24.42 d<br>(18.14–33.28)       | -2.73 $\pm$ 0.20   | 3.15 $\pm$ 0.22 | 5.61<br>(6)   | 0.9356 | 100      |
| <b>Female</b>   |                             |                                |                    |                 |               |        |          |
| 40<br>(n = 100) | 478.61 a<br>(389.35–558.03) | 3156.84 a<br>(2616.13–3546.55) | -5.38 $\pm$ 0.38   | 2.01 $\pm$ 0.14 | 1.32<br>(6)   | 0.2186 | 2.11     |
| 43<br>(n = 100) | 104.05 b<br>(75.82–122.34)  | 287.50 b<br>(228.92–324.04)    | -7.52 $\pm$ 0.47   | 3.73 $\pm$ 0.23 | 5.51<br>(6)   | 0.9187 | 9.69     |
| 46<br>(n = 100) | 28.16 c<br>(25.90–31.17)    | 49.05 c<br>(41.64–64.10)       | -9.89 $\pm$ 0.62   | 6.82 $\pm$ 0.44 | 2.02<br>(6)   | 0.3355 | 35.81    |
| 50<br>(n = 100) | 18.25 d<br>(15.36–22.30)    | 33.03 d<br>(23.62–46.59)       | -6.15 $\pm$ 0.77   | 5.84 $\pm$ 0.61 | 1.84<br>(5)   | 0.3700 | 55.26    |
| 54<br>(n = 100) | 10.08 e<br>(8.34–13.02)     | 28.00 d<br>(22.71–38.14)       | -3.20 $\pm$ 0.23   | 3.19 $\pm$ 0.25 | 2.79<br>(6)   | 0.4681 | 100      |
| <b>Total</b>    |                             |                                |                    |                 |               |        |          |
| 40<br>(n = 200) | 449.49 a<br>(378.66–537.01) | 2723.15 a<br>(2391.49–3093.51) | -5.58 $\pm$ 0.27   | 2.10 $\pm$ 0.10 | 1.95<br>(6)   | 0.3249 | 1.83     |
| 43<br>(n = 200) | 98.32 b<br>(79.12–110.82)   | 282.11 b<br>(230.08–315.65)    | -7.16 $\pm$ 0.33   | 3.59 $\pm$ 0.16 | 1.27<br>(6)   | 0.2118 | 8.38     |
| 46<br>(n = 200) | 26.82 c<br>(24.23–30.44)    | 52.17 c<br>(42.35–66.95)       | -8.13 $\pm$ 0.37   | 5.69 $\pm$ 0.27 | 4.77<br>(6)   | 0.7945 | 30.73    |
| 50<br>(n = 200) | 17.63 d<br>(15.14–20.52)    | 26.53 d<br>(22.13–36.26)       | -5.55 $\pm$ 0.56   | 5.27 $\pm$ 0.44 | 1.15<br>(5)   | 0.2292 | 46.73    |
| 54<br>(n = 200) | 8.24 e<br>(7.27–9.37)       | 18.19 d<br>(12.14–25.02)       | -3.00 $\pm$ 0.15   | 3.27 $\pm$ 0.16 | 2.52<br>(6)   | 0.4219 | 100      |

\*For male, female and total, different letters in columns with LT values show significant differences ( $\alpha = 0.05$ ) between estimated LTs based on lethal time ratios method (Robertson et al., 2017); H.F. = Heterogeneity factor; L.I. (Lethal index: Sun, 1950) = ( $LT_{50}$  of the most effective temperature/ $LT_{50}$  of selected temperature)  $\times$  100.

با توجه به مقادیر LT و LI در پژوهش حاضر، تحمل حشرات کامل سوسک انباری، سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات، شپشه دندانه‌دار برنج، سوسک توتون و شب‌پره هندی به دماهای فرابینه مورد بررسی متفاوت بود و به طور کلی، سوسک توتون متحمل‌ترین و سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات و شپشه دندانه‌دار برنج حساس‌ترین گونه‌ها بودند. حساسیت گونه‌های مختلف حشرات به دماهای بالا به شدت متفاوت است (Fields, 1992; Strang, 1992; Cui et al., 2008) و حشرات مختلف، پاسخ‌های فیزیولوژیک متفاوتی را به این تنش‌ها نشان می‌دهند (Cui et al., 2008). معمولاً تحمل حشرات به گرما به خوبی قابل مقایسه نیست

در دماهای بالا، لیپیدهای کوتیکولی حشرات سیال‌تر و نفوذپذیرتر می‌شوند که این امر باعث از دست رفتن آب بدن و مرگ حشره می‌شود (Hepburn, 1985). واسرشته شدن پروتئین‌ها (Chapman, 2013)، غیرفعال شدن آنزیم‌های کلیدی (Hochachka & Somero, 1984)، تولید فراورده‌های سمی ناشی از تغییر فرایندهای متابولیسمی (Chapman, 2013) و افزایش سرعت تنفس و متابولیسم حشرات و در نتیجه کمبود اکسیژن در دماهای فرابینه (Adler, 2002) از سایر دلایل تلفات حشرات در این دماها می‌باشند که افزایش دما، مانند آنچه در نتایج پژوهش حاضر دیده شد، می‌تواند آن‌ها را تشدید کند و به مرگ سریع‌تر حشره منجر شود.

با سایر نتایج گزارش شده به خوبی امکان پذیر نمی باشد. به طور خلاصه، تفاوت های مشاهده شده بین نتایج این پژوهش و نتایج سایر محققان می توانند به دلیل وجود تفاوت در جمعیت های آزمایشی مورد استفاده، روش های اعمال تیمارهای گرمایی (Scaccini et al., 2019; Karimzadeh et al., 2020) و ویژگی های ژنتیکی حشرات آزمایشی (Loeschcke et al., 1994) باشند.

در این مطالعه،  $LT_{50}$  و  $LT_{95}$  دمای ۵۴ درجه سلسیوس برای حشرات کامل سوسک انباری به ترتیب حدود ۷ و ۲۰ دقیقه برآورد شد. در پژوهشی، حشرات کامل این گونه ظرف ۵ دقیقه قرار داشتن در دمای ۵۶ درجه به میزان ۱۰۰ درصد تلف شدند (Wright et al., 2002). در مورد گونه نزدیک به آن یعنی لمبه گندم، این مقادیر برای دمای ۴۵ درجه به ترتیب ۳۳ و ۴۶ ساعت برآورد شدند (Wilches et al., 2019) که با توجه به مقادیر حدود ۱۳ و ۶۴ دقیقه برای دمای ۴۳ و مقادیر حدود ۱۱ و ۴۰ دقیقه برای دمای ۴۶ درجه سلسیوس در پژوهش حاضر، مقاومت بیشتر لمبه گندم نسبت به سوسک انباری را نشان می دهد. واکنش متفاوت این دو گونه به دماهای بالا با توجه به این که لمبه گندم گونه ای بومی زیست محیط های گرم و خشک و سوسک انباری گونه ای با منشأ نئارکتیک می باشد (Hinton, 1945; Banks, 1977; Eliopoulos, 2013)، دور از انتظار دانسته نشده است (Wilches et al., 2019). به طور کلی، سوسک انباری یکی از گونه های حساس به دماهای بالا می باشد (Wright et al., 2002).

طبق نتایج، مقادیر  $LT_{50}$  برآورد شده برای حشرات کامل سوسک چهار نقطه ای حیوانات برای دماهای ۴۰، ۴۳، ۴۶، ۵۰ و ۵۴ درجه سلسیوس به ترتیب حدود ۵۴۳، ۶۷، ۸، ۹ و ۴ دقیقه بود که با مقادیر گزارش شده برای دماهای ۴۵، ۴۸، ۵۰، ۵۲ و ۵۵ درجه (به ترتیب ۳۴، ۲۹، ۱۸، ۱۱ و ۸ دقیقه) (Karimzadeh et al., 2020)، به رغم وجود اختلاف، به طور کلی مشابهت دارند. تفاوت قابل توجه با نتایج این پژوهش و پژوهش فوق توسط Loganathan et al. (2011) گزارش شده که مقدار  $LT_{50}$  را برای حشرات کامل

زیرا آن ها در شرایط و دماهای یکسانی تحت آزمایش قرار نمی گیرند (Abdelghany et al., 2010) یا تغییرات جمعیتی (Karimzadeh et al., 2020) باعث کسب نتایج متفاوت حتی در مورد یک گونه می شوند. گونه حشره، مرحله نشوونمایی، قرار داشتن این مراحل بر روی سطح یا بر رو و داخل توده مواد غذایی، اندازه دانه در مورد لاروهای آندوفاژ، و مدت زمان قرار داشتن در معرض دما از مهمترین عوامل موثر بر زنده ماندن حشرات در دماهای بالا یا پایین می باشد (Fields, 1992). گزارش شده که در میان آفات انباری، سوسک توتون و سوسک کشیش *Rhyzopertha dominica* (F.) جزو متحمل ترین آفات انباری به دماهای بالا هستند (Abdelghany et al., 2010). این گزارش ها، نتایج پژوهش حاضر را تایید می کنند.

تولید پروتئین های شوک گرمایی<sup>۱</sup> نیز یکی از واکنش های فیزیولوژیک مهم حشرات به دماهای بالا می باشد (Neven, 2000; Bodlah et al., 2023) که از طریق محافظت از پروتئین های سلول های در معرض تنش دمای بالا (Lewis et al., 1999) و حذف پروتئین های واسرشته شده در غشاهای سلولی (Currie & Tufts, 1997)، در ایجاد تحمل در حشرات به دماهای بالا اهمیت دارند (Lewis et al., 1999; Boina & Subramanyam, 2004; Abdelghany et al., 2010). با توجه به مطالب فوق، سوسک توتون احتمالاً به دلیل ویژگی هایی مانند تولید بیشتر پروتئین های شوک گرمایی، دارا بودن لیپیدهای کوتیکولی با نقطه ذوب بالاتر که اتلاف آب بدن در دماهای بالا را کاهش می دهد، و برخورداری از ویژگی های فیزیولوژیک مناسب تر، در مقایسه با چهار گونه دیگر به دماهای بالا تحمل بیشتری را نشان داده است که در خور بررسی می باشد.

با توجه به بررسی منابع، پژوهش های انجام شده در زمینه برآورد زمان های کشنده دماهای فرابهنه برای حشرات کامل آفات انباری و به طور کلی سایر مراحل نشوونمایی آن ها قابل توجه نیستند به طوری که به دلیل عدم برآورد مقادیر  $LT$  در بیشتر گزارش های موجود، امکان مقایسه نتایج پژوهش حاضر

مورد بررسی قرار گرفته و استفاده از دماهای بالا به عنوان روشی قابل اعتماد برای کنترل این آفت گزارش شده است. در پژوهشی (Xiang & Dai, 2016)، قرار دادن حشرات کامل به مدت ۷ ساعت در معرض دماهای ۳۶، ۳۹، ۴۲، ۴۵ و ۴۸ درجه سلسیوس، زنده‌مانی حشرات کامل را به ترتیب به میزان ۲۹/۱۹، ۳۴/۴۷، ۳۹/۸۴، ۵۵/۶۴ و ۶۶/۶۸ درصد کاهش داد که در مقایسه با نتایج بررسی حاضر، مدت زمان لازم برای بروز این تلفات بسیار بیشتر بوده است.

بر اساس نتایج این بررسی، مقادیر برآورد شده  $LT_{50}$  و  $LT_{95}$  دمای ۵۴ درجه سلسیوس برای شب‌پره هندی به ترتیب حدود ۸ و ۱۸ دقیقه بود. در بررسی منابع انجام شده، گزارش‌های موجود در مورد اثرات دماهای بالا روی این گونه به تلفات مراحل مختلف نشوونمایی (Arbogast, 1981; Lewthwaite et al., 1998; Mbata & Phillips, 2001; Sauer & Shelton, 2002; Mbata et al., 2004) بدون برآورد مقادیر  $LT$  مربوط بودند. لذا، برای مقایسه نتایج جهت درک بهتر واکنش این حشره به دماهای بالا به انجام آزمایش‌های زیست‌سنجی مشابهی نیاز می‌باشد. عدم تاثیر سوء دماهای بالا روی بذرها و کیفیت مواد خوراکی از جمله نکات مهمی هستند که هنگام استفاده از این دماها باید مد نظر قرار گیرند. گزارش شده که دماهای فرابیهنه ۴۵، ۴۸، ۵۰، ۵۲ و ۵۵ درجه سلسیوس (Karimzadeh et al., 2020) و چند دمای بالای دیگر (Ahmady et al., 2016) بر جوانه‌زنی بذر لوبیا چشم‌بلبلی تاثیر منفی نداشتند و تمامی بذرهای قرار داده شده در معرض این دماها جوانه زدند و به مرحله گیاهچه رسیدند.

### نتیجه‌گیری نهایی

اگر چه تحمل حشرات کامل پنج گونه آفت انباری مورد بررسی در این مطالعه به دماهای فرابیهنه متفاوت بود، اما مقایسه مقادیر برآورد شده  $LT_{50}$  و  $LT_{95}$  نشان می‌دهد که دماهای بالای مورد استفاده (به ویژه ۵۰ و ۵۴ درجه سلسیوس) کارایی بسیار مناسبی برای کنترل همه گونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش داشتند، به طوری که بروز تلفات ۹۵ درصدی طی حداکثر حدود ۲۳ دقیقه برای

همین گونه در دمای ۴۲ درجه، ۷۱ ساعت برآورد نموده‌اند. در مطالعه حاضر، مقادیر  $LT_{95}$  برای دماهای ۴۰، ۴۳، ۴۶، ۵۰ و ۵۴ درجه سلسیوس به ترتیب حدود ۶۸۶۳، ۳۲۸، ۳۳، ۲۹ و ۱۸ دقیقه بودند که نزدیک به نتایج برخی محققان (Ahmady et al., 2016; Karimzadeh et al., 2020) هستند اما در مقایسه با برخی گزارش‌ها بالاتر (Bhalla et al., 2008) یا پایین‌تر (Mahgoup et al., 2019) می‌باشند. برای سوسک توتون، مقادیر برآورد شده  $LT_{50}$  و  $LT_{95}$  دمای ۵۴ درجه سلسیوس به ترتیب حدود ۱۲ و ۲۳ دقیقه بود. برای گونه نزدیک به آن یعنی سوسک داروخانه *Stegobium paniceum* (L.) تلفات حشرات کامل در دمای ۴۲ درجه پس از ۷ ساعت، ۶۳ درصد بود. مقدار  $LT_{90}$  نیز ۱۲ ساعت برآورد شد (Abdelghany et al., 2010). گزارش شده است که سازگاری شفیقه‌ها، لاروها و تخم‌های سوسک توتون (و نه حشرات کامل) به دمای ۳۶ درجه سلسیوس، زنده‌مانی این مراحل نشوونمایی را در دماهای بالای ۵۰ درجه سلسیوس افزایش داد (Li et al., 2018). دماهای ۵۰ تا ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ تا ۳۶ ساعت (Yu et al., 2011)، یا ۴۵ درجه به مدت ۷۲ ساعت و ۵۰ درجه به مدت ۱۸ ساعت (Conyers & Collins, 2006) جهت کنترل این آفت توصیه شده‌اند که در مقایسه با نتایج پژوهش حاضر، بسیار طولانی به نظر می‌رسند. در مطالعه دیگری، ۲۸۰ دقیقه قرار گرفتن حشرات کامل سوسک توتون در دمای ۵۰ درجه سلسیوس برای کنترل آن‌ها کافی نبود که با مقدار  $LT_{95}$  برآورد شده برای این دما در پژوهش حاضر (۳۹/۶۶ دقیقه) کاملاً مغایرت دارد. از طرف دیگر، ۴۰ دقیقه قرار دادن حشرات کامل در دمای ۵۵ درجه سلسیوس برای کنترل موثر آن کافی گزارش شده (Adler, 2002) که با نتایج بررسی حاضر همخوانی بیشتری دارد.

طبق نتایج، مقادیر برآورد شده  $LT_{50}$  و  $LT_{95}$  دمای ۵۴ درجه سلسیوس برای شپشه دندان‌دار برنج به ترتیب حدود ۸ و ۱۴ دقیقه بود که با توجه به مقدار  $LT_{95}$  حساس‌ترین گونه مورد بررسی به دماهای بالا بود. تلفات تمامی مراحل نشوونمایی (Mohammed et al., 2020) یا تنها حشرات کامل (Fouad et al., 2021) این گونه در پژوهش‌هایی

مناسبی برای حشره کش‌های شیمیایی جهت کنترل سخت-بالپوشان و شب‌پره‌های انباری باشد و در برنامه‌های مدیریت این آفات مورد استفاده قرار گیرد.

### سپاس‌گزاری

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول می‌باشد و در اجرای آن از امکانات مالی و پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان استفاده شده که تقدیر و تشکر می‌شود.

سوسک توتون تا حداقل ۱۴ دقیقه برای شیشه دندان‌دار برنج متفاوت بود. با توجه به نتایج این پژوهش، دماهای بالای فرابهنه می‌توانند نقش موثری در مدیریت آفات انباری داشته باشند و به کاهش خسارت اقتصادی پنج آفت مورد بررسی منجر شوند. با استناد به نتایج این پژوهش که نخستین مطالعه اختصاصی در مورد اثرات کشندگی دماهای بالا علیه پنج آفت انباری مهم در ایران می‌باشد و سایر گزارش‌های موجود در زمینه اثر و کارایی این دماها، روش کنترل فیزیکی مبتنی بر استفاده از دماهای بالا می‌تواند جایگزین

### REFERENCES

- Abbott W. S. (1925). A method for computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18, 265-267.
- Abdelghany, A. Y., Awadalla, S. S., Abdel-Baky, N. F., El-Syrafy, H. A., & Fields, P. G. (2010). Effect of high and low temperatures on the drugstore beetle (Coleoptera: Anobiidae). *Journal of Economic Entomology*, 103(5), 1909-1914. <https://doi.org/10.1603/EC10054>.
- Abdullahi, G., Muhamad, R., Dzolkhifli, O., & Sinniah, U. R. (2019). Efficiency of cardboard solar heater boxes for disinfestations of stored grains against arthropod pest. *Agricultural Science and Technology*, 11(3), 247- 257. <https://doi.org/10.15547/ast.2019.03.043>.
- Adler, C. (2002). Efficacy of heat treatments against the tobacco beetle *Lasioderma serricorne* F. (Col., Anobiidae) and the lesser grain borer *Rhyzopertha dominica* F. (Col., Bostrichidae). In P. F. Credland, D. M. Armitage, C. H. Bell, P. M. Cogan, & E. Highley (Eds.), *Proceedings of the 8th international working conference on stored product protection* (pp. 617-621). CAB International, Wallingford, UK. <https://doi.org/10.1079/7980851996912.0617>.
- Ahmady, A., Rahmatzai, N., Zainullah, H., Mousa, M. A. A., & Zaitoun, A. (2016). Effect of temperature on stored product pests *Tribolium confusum* Jaquelin du Val (Coleoptera: tenebrionidae) and *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchidae). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 4(6), 166-172.
- Ahmed, M. (2001). Disinfestation of stored grains, pulses, dried fruits and nuts, and other dried foods. In R. Molins (Ed.), *Food irradiation: Principles and applications* (pp. 77-112). John Wiley & Sons Inc, New York.
- Arbogast, R. T. (1981). Mortality and reproduction of *Ephestia cautella* and *Plodia interpunctella* exposed as pupae to high temperatures. *Environmental Entomology*, 10, 708-711. <https://doi.org/10.1093/EE/10.5.708>.
- Arthur, F. H., Starkus, L. A., Gerken, A. R., Campbell, J. F., & McKay, T. (2019). Growth and development of *Tribolium castaneum* (Herbst) on rice flour and brown rice as affected by time and temperature. *Journal of Stored Products Research*, 83, 73-77. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.04.005>.
- Ayvaz, A., Albayrak, S., & Tunçbilek, A. Ş. (2007). Inherited sterility in Mediterranean flour moth *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae): Effect of gamma radiation on insect fecundity, fertility and developmental period. *Journal of Stored Products Research*, 43(3), 234-239.

- Ayvaz, A., & Tunçbilek, A. Ş. (2006). Effects of gamma radiation on life stages of the Mediterranean flour moth, *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Pest Science*, 79, 215-222.
- Azizoglu, U., Karabörklü, S., Yılmaz, S., Ayvaz, A., & Temizgül, R. (2010). Insecticidal activity of microwave radiation on *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) adults. *Erciyes University Journal of the Institute of Science and Technology*, 26(4), 323-327.
- Banks, H. (1977). Distribution and establishment of *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae): climatic and other influences. *Journal of Stored Products Research*, 13, 183-202.
- Banks, H. J. (1994). *Illustrated identification keys for Trogoderma granarium, T. glabrum, T. inclusum and T. variabile (Coleoptera: Dermestidae) and other Trogoderma associated with stored products*. CSIRO Australia Division of Entomology Technical Paper No. 32.
- Beckett, S. J., Fields, P. G., & Subramanyam, B. (2007). Disinfestation of stored products and associated structures using heat. In J. Tang, E. Micham, S. Wang, & S. Lurie (Eds.), *Heat treatments for postharvest pest control: theory and practice* (pp. 182-136). Oxon, United Kingdom: CAB International.
- Bergh, J. E., Vagn Jensen, K. M., Åkerlund, M., Hansen, L. S., & André, M. (2006). A contribution to standards for freezing as a pest control method for museums. *Collection Forum*, 21(1-2), 117-125.
- Bhalla, S., Gupta, K., Lal, B., Kapur, M. L., & Khetarpal, R. K. (2008). Efficacy of various non-chemical methods against pulse beetle, *Callosobruchus maculatus* (Fab.). In *Endure International Conference on Diversifying Crop Protection* (pp. 12-15). La Grande-Motte, France.
- Bhargava, M. C., Choudhary, R. K., & Jain, P. C. (2007). Advances in management of stored grain pests. In P. C. B. Jain, & M. C. Bhargava (Eds.), *Entomology: Novel approaches* (pp. 425-451). eBooks Ltd., New Delhi, India.
- Bodlah, M. A., Iqbal, J., Ashiq, A., Bodlah, I., Jiang, S., Mudassir, M. A., Rasheed, M. T., & Fareen, A. G. E. (2023). Insect behavioral restraint and adaptation strategies under heat stress: An inclusive review. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 22, 327-350. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2023.02.004>.
- Boina, D., & Subramanyam, B. (2004). Relative susceptibility of *Tribolium confusum* life stages exposed to elevated temperatures. *Journal of Economic Entomology*, 97(6), 2168-2173.
- Boyer, S., Zhang, H., & Lempérière, G. (2012). A review of control methods and resistance mechanisms in stored-product insects. *Bulletin of Entomological Research*, 102, 213-229. <https://doi.org/10.1017/S0007485311000654>.
- Bulak, Y., Yildirim, E., Kadej, M., & Háva, J. (2013). Contribution to the knowledge of the Dermestidae (Coleoptera) fauna of Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 37, 621-626. <https://doi.org/10.3906/zoo-1212-8>.
- Chapman, R. F. (2013). *The insects: Structure and function* (5th ed). Cambridge University Press.
- Collins, D. A., & Conyers, S. T. (2010). The effect of sub-zero temperatures on different lifestages of *Lasioderma serricorne* (F.) and *Ephestia elutella* (Hübner). *Journal of Stored Products Research*, 46, 234-241. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2010.06.003>.
- Conyers, S. T., & Collins, D. A. (2006). The effect of high temperature on the mortality of *Lasioderma serricorne* (F.). In I. Lorini, B. Bacaltchuk, H. Beckel, D. Deckers, E. Sundfeld, J. P. dos Santos, J. D. Biagi, J. C. Celaro, L. R. D'A. Faroni, L. de O. F. Bortolini, M. R. Sartori,

M. C. Elias, R. N. C. Guedes, R. G. da Fonseca, & V. M. Scussel (Eds.), *Proceedings of the 9th international working conference on stored-product protection* (pp. 843-848). Campinas, São Paulo, Brazil. Brazilian Post-harvest Association-ABRAPOS, Passo Fundo, RS, Brazil.

Correal, D. M. W. (2016). *Effects of extreme temperatures on the survival of the quarantine stored-product pest, Trogoderma granarium (khapra beetle) and on its associated bacteria* [M.Sc. Thesis, University of Lethbridge]. Lethbridge, Alberta, Canada. <https://hdl.handle.net/10133/4754>.

Cui, X. H., Wan, F. H., Xie, M., & Liu, T. X. (2008). Effects of heat shock on survival and reproduction of two whitefly species, *Trialeurodes vaporariorum* and *Bemisia tabaci* biotype B. *Journal of Insect Science*, 8:24. <https://doi.org/10.1673/031.008.2401>.

Currie, S., & Tufts, B. (1997). Synthesis of stress protein 70 (Hsp 70) in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) red blood cells. *Journal of Experimental Biology*, 200(3), 607-614. <https://doi.org/10.1242/jeb.200.3.607>.

Darwish, Y. A., Ali, A. M., Mohamed, R. A., & Khalil, N. M. (2015). Effect of extreme low and high temperatures on the almond moth, *Ephestia cautella* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Phytopathology and Pest Management*, 2(1), 36-46.

Day, C., & White, B. (2016). Khapra beetle, *Trogoderma granarium* interceptions and eradications in Australia and around the world. SARE Working paper 1609, School of Agricultural and Resource Economics, University of Western Australia, Crawley, Australia. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23786.31682>.

Demis, E., & Yenewa, W. (2022). Review on major storage insect pests of cereals and pulses. *Asian Journal of Advances in Research*, 5(1), 41-56.

Dosland, O., Subramanyam, B., Sheppard, K., & Mahroof, R. (2006). Temperature modification for insect control. In J. W. Heaps (Ed.), *Insect management for food storage and processing* (2nd ed.) (pp. 89-103). AACC International.

Dyte, C. E., & Halliday, D. (1985). Problems of development of resistance to phosphine by insect pests of stored grains. *EPPO Bulletin*, 15(1), 51-57. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.1985.tb00200.x>.

Edde, P. A. (2019). Biology, ecology, and control of *Lasioderma serricorne* (F.) (Coleoptera: Anobiidae): A review. *Journal of Economic Entomology*, 112(3), 1011-1031. <https://doi.org/10.1093/jee/toy428>.

Eliopoulos, P. (2013). New approaches for tackling the khapra beetle. *CABI Reviews*, 8, 1-13. <https://doi.org/10.1079/PAVSNR201380>.

Emery, R., Dadour, I., Lachberg, S., Szito, A., & Morrell, J. (1998). The biology and identification of native and pest *Trogoderma* species. Grains Research and Development Corporation, Project Number DAW, 370.

Faruki, S. I., Das, D. R., & Khatun, S. (2005). Effects of UV-radiation on the larvae of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) and their progeny. *Journal of Biological Sciences*, 5(4), 444-448. <https://doi.org/10.3923/jbs.2005.444.448>.

Fields, P. G. (1992). The control of stored-product insects and mites with extreme temperatures. *Journal of Stored Products Research*, 28(2), 89-118.

Fields, P. (2006). Alternatives to chemical control of stored-product insects in temperate regions. In I. Lorini, B. Bacaltchuk, H. Beckel, D. Deckers, E. Sundfeld, J. P. dos Santos, J. D.

- Biagi, J. C. Celaro, L. R. D'A. Faroni, L. de O. F. Bortolini, M. R. Sartori, M. C. Elias, R. N. C. Guedes, R. G. da Fonseca, & V. M. Scussel (Eds.), *Proceedings of the 9th international working conference on stored-product protection* (pp. 653-662). Campinas, São Paulo, Brazil. Brazilian Post-harvest Association-ABRAPOS, Passo Fundo, RS, Brazil.
- Fields, P., Subramanyam, Bh., & Hulasare, R. (2012). Extreme temperatures. In D. W. Hagstrum, T. W. Phillips, & G. Cuperus (Eds.), *Stored product protection* (pp. 179-190). Kansas State University.
- Fields, P. G., & White, N. D. (2002). Alternatives to methyl bromide treatments for stored-product and quarantine insects. *Annual Review of Entomology*, 47(1), 331-359.
- Finkelman, S., Navarro, S., Rindner, M., Dias, R., & Azrieli, A. (2003). Effect of low pressures on the survival of cocoa pests at 18° C. *Journal of Stored Products Research*, 39(4), 423-431. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(02\)00037-1](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(02)00037-1).
- Forghani, S. H. R., and Marouf, A. (2015). An introductory study of storage insect pests in Iran. *Biharean Biologist*, 9(1), 59-62.
- Fouad, M. S., Gharib, A. H., & Asmaa, N. M. (2021). Role of the saw-toothed grain beetle, special references to its thermal requirements estimation. *Annals of Agricultural Science, Moshtohor*, 59(5), 613-616. <https://doi.org/10.21608/assjm.2021.195397>.
- Gourgouta, M., Morrison, W. R., Hagstrum, D. W., & Athanassiou, C. G. (2023). Saw-toothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis*, an internationally important stored product pest. *Journal of Stored Products Research*, 104, 102165. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2023.102165>.
- Gvozdenac, S., Tanasković, S., Ovuka, J., Vukajlović, F., Čanak, P., Prvulović, D., & Sedlar, A. (2019). Low temperature tolerance of *Plodia interpunctella*, *Sitophilus oryzae* and *Sitophilus zeamais*: The prevalent pests of stored maize in Serbia. *Acta Agriculturae Serbica*, 24(48), 143-155. <https://doi.org/10.5937/AASer1948143G>.
- Habibi Karahrodi, R., Vafaei Shoushtari, R., Farazmand, H., Marouf, A., & Loni, S. (2011). Effects of heat treatments on mortality of different life stages of the cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* Pic. (Col., Bruchidae). *Journal of Entomological Research*, 3(1), 1-9. (In Farsi with English summary).
- Hagstrum, D. (2013). *Atlas of stored-product insects and mites*. AACC International.
- Hamzei, M., Golizadeh, A., Hassanpour, M., Fathi, S. A. A., & Abedi, Z. (2023). Interaction between life history parameters of *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Chrysomelidae) with physical and biochemical properties of legumes species. *Journal of Stored Products Research*, 102, 102111. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2023.102111>.
- Hansen, J. D., Johnson, J. A., & Winter, D. A. (2011). History and use of heat in pest control: a review. *International Journal of Pest Management*, 57(4), 267-289. <https://doi.org/10.1080/09670874.2011.590241>.
- Hinton, H. E. (1945). *A monograph of the beetles associated with stored products* (Vol. 8). British Museum (N.H.), London, United, Kingdom.
- Hochachka, P. W., & Somero, G. N. (1984). *Biochemical adaptation*. Princeton University Press.
- Jaafari-Behi, V., Ziaee, M., Kocheili, F., Hemmati, S. A., & Francikowski, J. (2023). Life-table parameters of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) on different stored date palm fruits



- under laboratory conditions. *Journal of Insect Science*, 23(3), 1, <https://doi.org/10.1093/jisesa/iead028>.
- Karimzadeh, R., Javanshir, M., & Hejazi, M. J. (2020). Individual and combined effects of insecticides, inert dusts and high temperatures on *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Stored Products Research*, 89, 101693. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101693>.
- Kim, K. H., Kabir, E., & Jahan, S. A. (2017). Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of the Total Environment*, 575, 525-535. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.009>.
- Lale, N. E. S., & Vidal, S. (2003). Simulation studies on the effects of solar heat on egg-laying, development and survival of *Callosobruchus maculatus* (F.) and *Callosobruchus subinnotatus* (Pic) in stored bambara groundnut *Vigna subterranea* (L.) Verdcourt. *Journal of Stored Products Research*, 39(5), 447-458. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(01\)00034-0](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(01)00034-0).
- Leora Software. 2023. Polo-Plus, Polo for Windows computer program, ver. 2.0. Petaluma.
- Lewis, S., Handy, R. D., Cordi, B., Billinghamurst, Z., & Depledge, M. H. (1999). Stress proteins (HSP's): methods of detection and their use as an environmental biomarker. *Ecotoxicology*, 8(5), 351-368. <https://doi.org/10.1023/A:1008982421299>.
- Lewthwaite, S. E., Dentener, P. R., Alexander, S. M., Bennett, K. V., Rogers, D.J., Main Donald, J.H., & Connolly, P. G. (1998). High temperature and cold storage treatments to control Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Hübner), *Journal of Stored Products Research*, 34(2-3), 141-150. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(97\)00056-8](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(97)00056-8).
- Li, M., Xiao-Juan Li, X.-J., Lü, J.-H., & Huo, M.-F. (2018). The effect of acclimation on heat tolerance of *Lasioderma serricorne* (Fabricius) (Coleoptera: Anobiidae). *Journal of Thermal Biology*, 71, 153-157. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.11.007>.
- Loeschcke, V., Krebs, R. A., & Barker, J. S. F. (1994). Genetic variation for resistance and acclimation to high temperature stress in *Drosophila buzzatii*. *Biological Journal of the Linnean Society*, 52, 83-92. <https://doi.org/10.1006/bijl.1994.1040>.
- Loganathan, M., Jayas, D. S., Fields, P. G., & White, N. D. G. (2011). Low and high temperatures for the control of cowpea beetle, *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) in chickpeas. *Journal of Stored Products Research*, 47(3), 244-248. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2011.03.005>.
- Mahroof, R., Subramanyam, B., & Eustace, D. (2003). Temperature and relative humidity profiles during heat treatment of mills and its efficacy against *Tribolium castaneum* (Herbst) life stages. *Journal of Stored Products Research*, 39(5), 555-569. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(02\)00062-0](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(02)00062-0).
- Mbata, G. N., & Phillips, T. W. (2001). Effects of temperature and exposure time on mortality of stored-product insects exposed to low pressure. *Journal of Economic Entomology*, 94(5), 1302-1307. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-94.5.1302>.
- Mbata, G. N., Phillips, T. W., & Payton, M. (2004). Mortality of eggs of stored-product insects held under vacuum: effects of pressure, temperature, and exposure time. *Journal of Economic Entomology*, 97(2), 695-702. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-97.2.695>.
- Mahgoup, S. M., Zewar, M. M., & Omaima, M. Dewidar, O. M. (2019). Using thermal treatment to eliminate cowpea beetle *Callosobruchus maculatus* (F.) infesting faba bean durin

- storage and its effect on the physiochemical and technological properties. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 97(3), 645-662. <https://doi.org/10.21608/ejar.2019.152569>.
- Mohammed, M. E., El-Shafie, H. A., & Alhajhoj, M. R. (2020). Design and efficacy evaluation of a modern automated controlled atmosphere system for pest management in stored dates. *Journal of Stored Products Research*, 89, 101719. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101719>.
- Mohapatra, D., Kar, A., & Giri, S. K. (2015). Insect pest management in stored pulses: an overview. *Food and Bioprocess Technology*, 8(2), 239-265. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1399-2>.
- Navarro, S., & Noyes, R. T. (Eds.) (2001). *The mechanics and physics of modern grain aeration management*. CRC Press.
- Neven, L. G. (2000). Physiological responses of insects to heat. *Postharvest Biology and Technology*, 21(1), 103-111. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00169-1](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00169-1).
- Papadopoulou, S. Ch., & Buchelos, C. Th. (2002). Identification of female adult *Lasioderma serricornis* (F.) by simple external observation of the abdomen. *Journal of Stored Products Research*, 38, 315-318. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(01\)00029-7](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(01)00029-7).
- Phillips, T. W., & Throne, J. E. (2010). Biorational approaches to managing stored-product insects. *Annual Review of Entomology*, 55, 375-397. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.54.110807.090451>.
- Purohit, P., Jayas, D., Yadav, B., Chelladurai, V., Fields, P., & White, N. (2013). Microwaves to control *Callosobruchus maculatus* in stored mung bean (*Vigna radiata*). *Journal of Stored Products Research*, 53, 19-22. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2013.01.002>.
- Rai, P. (2014). *Effect of elevated temperatures on *Trogoderma variabile* Ballion life stages*. [Master of Science Thesis, Kansas State University]. K-State Research Exchange. <http://hdl.handle.net/2097/18714>
- Riaz, T., Shakoori, F. R., & Ali, S. S. (2014). Effect of temperature on the development, survival, fecundity and longevity of stored grain pest, *Trogoderma granarium*. *Pakistan Journal of Zoology*, 46(6), 1485-1489.
- Robertson, J. L., Russell, R. M., Preisler, H. K., & Savin, N. E. (2017). *Bioassay with arthropods* (3rd ed.). Routledge.
- Roesli, R., Subramanyam, B., Fairchild, F. J., & Behnke, K. C. (2003). Trap catches of stored-product insects before and after heat treatment in a pilot feed mill. *Journal of Stored Products Research*, 39(5), 521-540. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(02\)00058-9](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(02)00058-9).
- Sakka, M. K., Jagadeesan, R., Nayak, M. K., & Athanassiou, C. G. (2022). Insecticidal effect of heat treatment in commercial flour and rice mills for the control of phosphine-resistant insect pests. *Journal of Stored Products Research*, 99, 102023. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2022.102023>.
- Sauer, J. A., & Shelton, M. D. (2002). High-temperature controlled atmosphere for post-harvest control of Indian meal moth (Lepidoptera: Pyralidae) on preserved flowers. *Journal of Economic Entomology*, 95(5), 1074-1078. <https://doi.org/10.1093/jee/95.5.1074>.
- Scaccini, D., Duso, C., & Pozzebon, A. (2019). Lethal effects of high temperatures on brown marmorated stink bug adults before and after overwintering. *Insects*, 10, 355. <https://doi.org/10.3390/insects10100355>.

- Shi, C. H., Hu, J. R., Wei, Q. W., Yang, Y. T., Cheng, J. X., Han, H. L., Wu, Q. J., Wang, S. L., Xu, B. Y., Su, Q., Li, C. R., & Zhang, Y. J. (2018). Control of *Bradysia odoriphaga* (Diptera: Sciaridae) by soil solarization. *Crop Protection*, 114, 76-82. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.08.020>.
- Strang, T. J. K. (1992). A review of published temperatures for the control of pest insects in museums. *Collection Forum*, 8(2), 41-67.
- Sun, Y. P. (1950). Toxicity index— an improved method of comparing the relative toxicity of insecticides. *Journal of Economic Entomology*, 43, 45-53. <https://doi.org/10.1093/jee/43.1.45>.
- Wang, J., Germinara, G. S., Feng, Z., Luo, S., Yang, S., Xu, S., Li, C., & Cao, Y. (2022). Comparative effects of heat and cold stress on physiological enzymes in *Sitophilus oryzae* and *Lasioderma serricorne*. *Journal of Stored Products Research*, 96, 101949. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2022.101949>.
- White, N. D. G., & Bell, R. J. (1988). Inheritance of malathion resistance in a strain of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) and effects of resistance genotypes on fecundity and larval survival in malathion-treated wheat. *Journal of Economic Entomology*, 81(1), 381-386. <https://doi.org/10.1093/jee/81.1.381>.
- Whitford, F. (2002). *The complete book of pesticide management: Science, regulation, stewardship, and communication*. Wiley-Interscience.
- Wilches, D. M., Laird, R. A., Floate, K. D., & Fields, P. G. (2019). Control of *Trogoderma granarium* (Coleoptera: Dermestidae) using high temperatures. *Journal of Economic Entomology*, 112(2), 963-968. <https://doi.org/10.1093/jee/toy379>.
- Wright, E. J., & Cartledge, A. P. (1994). Effect of food volume and photoperiod on initiation of diapause in the warehouse beetle, *Trogoderma variabile* Ballion (Coleoptera: Dermestidae). In: E. Highley, E. J. Wright, H. J. Banks, & B. R. Champ (Eds.), *Proceedings of the 6th international working conference on stored-product protection* (pp. 17-23). Canberra, Australia. CAB International, Wallingford, United Kingdom.
- Wright, E. J., Sinclair, E. A., & Annis, P. C. (2002). Laboratory determination of the requirements for control of *Trogoderma variabile* (Coleoptera: Dermestidae) by heat. *Journal of Stored Products Research*, 38(2), 147-155. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(01\)00011-X](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(01)00011-X).
- Xiang, Y.-Y., & Dai, R.-T. (2016). Effects of brief exposure to high temperature on the survival and reproduction of *Oryzaephilus surinamensis* (Linnaeus) during the storage period of *Lonicera japonica* Thunb. *Chinese Bulletin of Entomology*, 4, 802-808.
- Yu, C., Subramanyam, B., Flinn, P. W., & Gwirtz, J. A. (2011). Susceptibility of *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae) life stages to elevated temperatures used during structural heat treatments. *Journal of Economic Entomology*, 104(1), 317-324. <https://doi.org/10.1603/EC10067>.
- Zhao, S., Qiu, C., Xiong, S., & Cheng, X. (2007). A thermal lethal model of rice weevils subjected to microwave irradiation. *Journal of Stored Products Research*, 43(4), 430-434. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2006.12.005>.





## Estimation of lethal times of supra-optimal temperatures against adults of five stored-product insect pests

M. Abbasi <sup>1</sup>, M. Yazdanian <sup>2\*</sup>, A. Afshari <sup>3</sup>

1. M.Sc. student, Department of Plant Protection, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2. \*Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran (mohsenyazdanian@yahoo.com)
3. Associate Professor, Department of Plant Protection, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 18 October 2023

Accepted: 8 January 2024

### Abstract

#### Background and Objectives

The escalating concerns regarding the adverse effects link to pesticide utilization against stored-product pests have amplified interest in exploring safer alternative approaches, notably physical control methods. Temperature management, a prominent avenue within physical control, is considered one of the most promising strategies against these pests. This investigation scrutinizes the effectiveness of elevated temperatures on adult specimens of the warehouse beetle (*Trogoderma variable*), four-spotted bean weevil (*Callosobruchus maculatus*), tobacco beetle (*Lasioderma serricornis*), saw-toothed grain beetle (*Oryzaephilus surinamensis*), and Indian meal moth (*Plodia interpunctella*).

#### Materials and Methods

Experiments employed one-day-old adults. High temperatures (40, 43, 46, 50 and 54 °C) were regulated using an electric oven (Memmert, Germany). Initially, each species underwent individual assessment in preliminary tests, establishing eight exposure durations for the main bioassays. Within each exposure duration, groups of one-day-old adults (4 replicates, comprising 25 male and 25 female adults per replicate) were housed in glass Petri dishes. Upon completion of the exposure period, adults were relocated to ambient room conditions (21-27 °C; 55-70% R.H.). Subsequently, deceased males and females were tallied after a 24-hour interval.

#### Results

Both male and female adults across all species exhibited equivalent sensitivity to supra-optimal temperatures. As anticipated, higher temperatures significantly reduced the LTs (lethal times); however, distinct response patterns were observed among the studied species. At 40 °C, the LT<sub>50S</sub> (time to induce 50% mortality) for *T. variable*, *C. maculatus*, *L. serricornis*, *O. surinamensis*, and *P. interpunctella* were approximately 18, 9, 47, 34, and 7.5 h, respectively. At 54 °C, these times decreased dramatically to about 7, 4, 12, 8 and 8 min, respectively. Correspondingly, the LT<sub>95S</sub> (time to induce 95% mortality) at 40 °C these pests were approximately 3.7, 4.8, 5.7, 5.5, and 1.9 days, respectively, whereas at 54 °C, they reduced substantially to about 20, 18, 23, 14, and 26 min, respectively. For *T. variable* adults, the LT<sub>50S</sub> at 43, 46, and 50 °C (approximately 13, 11.3, and 11 min, respectively) were roughly 1.7 times

longer than that at 54 °C (around 7 min). Conversely, at 40 °C, the LT<sub>50</sub> was considerably lengthier (1077 min). *C. maculatus* adults displayed LT<sub>50</sub> values at 46 and 50 °C (around 8 and 9 min, respectively), roughly twice as long as those at 54 °C (4 min). At 40 and 43 °C, the LT<sub>50</sub>s were notably longer (543 and 67 min, respectively). In the case of *L. serricornis*, solely the LT<sub>50</sub> at 50 °C was approximately twice as long as that at 54 °C (approximately 12 min). At 43 and 46 °C, however, the requisite LT<sub>50</sub>s were lengthier (about 167 and 80 min, respectively), while at 40 °C, the LT<sub>50</sub> was substantially longer (about 2820 min). For *O. surinamensis* adults, the LT<sub>50</sub>s at 43, 46, and 50 °C were approximately 1.3 to 1.5 times longer (about 13, 12, and 11 minutes, respectively) than that at 54 °C (about 8 min, with the LT<sub>50</sub> at 40 °C being notably longer (about 2048 min). Concerning *P. interpunctella*, the LT<sub>50</sub>s at 46 and 50 °C were roughly three (about 27 min) and two (about 18 min) times greater than the LT<sub>50</sub> at 54 °C (about 8 min). At 40 and 43 °C, the LT<sub>50</sub>s were considerably longer (about 449 and 98 min, respectively). In general, based on both LT<sub>50</sub> and LT<sub>95</sub> values, *L. serricornis* emerged as the most tolerant species, while *C. maculatus*, according to LT<sub>50</sub> values, and *O. surinamensis* based on LT<sub>95</sub> values, appeared to be the most sensitive species to high temperatures.

### Discussion

Despite the varied responses observed among adult stored-products insects to supra-optimal temperatures, the comparison between estimated LT<sub>50</sub>s and LT<sub>95</sub>s indicated the notable efficacy of high temperatures, particularly at 50 and 54 °C, in inducing substantial mortality rates. This effectiveness ranged from approximately 23 min for *L. serricornis* to 14 min for *O. surinamensis*, resulting in 95% mortality. Our findings underscore the potential of high temperatures as a pivotal tool in the management and mitigation of economic losses caused by the five studied pests. The outcomes of this research advocate for the significant role that elevated temperatures can play in addressing these pests. Considering our results in conjunction with existing reports on the effects and efficiency of high temperatures, the physical control method utilizing elevated temperatures emerges as a viable alternative to chemical insecticides for controlling stored-products moths and beetles. This method holds promise and can be incorporated into pest management programs targeting these particular pests.

**Keywords:** *Stored-product pests, Physical control, High temperatures, Lethal time*

---

Associate editor: M. Ziaee (Ph.D.)

**Citation:** Abbasi, M., Yazdani, M. & Afshari, A. (2024). Estimation of lethal times of supra-optimal temperatures against adults of five stored-product insect pests. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, 46(3), 49-67. [https:// 10.22055/ppr.2024.45055.1712](https://10.22055/ppr.2024.45055.1712).