گیاه‌پزشکی (مجله علمی کشاورزی)
جلد ٤٥، شماره ٤، زمستان ١٤٠١
10.22055/ppr.2023.18018

پیش‌تیمار مراحل نشوونمایی شب‌پره مدیترانه‌ای آرد با امواج فراصوت و تاثیر آن روی اثرات کشنده و زیرکشنده دمای پایین

صفیه زیتونلی[1]، محسن یزدانیان*[2] و وحید رحیمی‌نژاد[2]

١-دانش‌آموخته کارشناسی ارشد حشره‌شناسی کشاورزی، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

٢-* **نویسنده مسوول:** استادیار، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
(mohsenyazdanian@gau.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۵

چکیده

امواج فراصوت و دماهای پایین روی ویژگی‌های زیستی و تولید مثلی حشرات اثر منفی دارند. با توجه به کنداثر بودن دماهای پایین، اثر پیش‌تیمار مراحل مختلف نشوونمایی شب‌پره مدیترانه‌ای آرد *Ephestia kuehniella* Zeller با امواج فراصوت و تاثیر آن روی اثرات کشنده و زیرکشنده دمای ٤ درجه سلسیوس علیه حشرات کامل ظاهرشده بررسی شد. پیش‌تیمار تخم‌ها، لاروهای سنین اول و پنجم، شفیره‌ها، و پیش‌تیمار متوالی مراحل مختلف نشوونمایی با امواج و سپس قرار دادن حشرات کامل ظاهرشده در دمای پایین انجام شد. امواج‌دهی تخم‌ها به مدت ۳ و ٤ روز باعث کاهش مقادیر LT دمای پایین علیه آن‌ها شد. پیش‌تیمار لاروهای سنین اول و پنجم روی کاهش زمان‌های کشنده دمای پایین علیه حشرات کامل ظاهرشده بی‌تاثیر بود اما پیش‌تیمار شفیره‌ها به مدت ۸ روز و پیش‌تیمار متوالی مراحل نشوونمایی به مدت ٢٤، ٣٣ و ٤٠ روز باعث کاهش معنی‌دار مقادیر LT شد. همچنین، پیش‌تیمار تخم‌ها و لاروهای سن اول با امواج فراصوت روی طول عمر، زادآوری و درصد تفریخ تخم‌های حشرات کامل ظاهرشده غیرمعنی‌دار بود. امواج‌دهی لاروهای سن پنجم و شفیره‌ها روی طول عمر و زادآوری معنی‌دار ولی روی تفریخ تخم‌ها معنی‌دار نبود. سرمادهی حشرات کامل ظاهرشده در تمام موارد روی این صفات معنی‌دار بود. به طور کلی، پیش‌تیمار برخی مراحل نشوونمایی مانند لاروها و شفیره‌های این شب‌پره و احتمالا سایر شب‌پره‌های انباری مشابه با امواج فراصوت می‌تواند علاوه بر کاهش مقادیر LT دماهای پایین علیه حشرات کامل، اثرات منفی این دماها روی جنبه‌های تولید مثلی آن‌ها را تشدید نماید. این نتایج می‌توانند در مبارزه با آفات انباری مورد توجه و استفاده قرار گیرند.

کلیدواژه‌ها: شب‌پره انباری، مبارزه فیزیکی، زمان کشنده، اثرات تولید مثلی

دبیر تخصصی: دکتر معصومه ضیائی

Citation: Zeytounli, S., Yazdanian, M. & Rahiminejhad, V. (2023). Pre-exposure of developmental stages of Mediterranean flour moth to ultrasonic waves and its effect on lethal and sublethal effects of low temperature. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, *45*(4), 83-105. https://doi.org/10.22055/ppr.2023.18018.

مقدمه

حشرات مهمترین عامل وارد آوردن خسارت‌های پس از برداشت به فراورده‌های انباری در سراسر جهان می‌باشند. برآوردهای مربوط به این گونه خسارت‌ها توسط حشرات، متفاوت هستند (Gvozdenac et al., 2019). خسارت‌های پس از برداشت به محصولات انبارشده، جزو مشکلات رایج در کشورهای در حال توسعه می‌باشند که روی امنیت غذایی تاثیر منفی دارند (Tadesse, 2020). در صورت ناکارآمد بودن روش‌های مبارزه، وارد آمدن خسارت پس از برداشت به فراورده‌های انباری تا تقریبا ۵۰-۶۰ درصد نیز گزارش شده است (Kumar & Kalita, 2017). در بین آفات انباری، سخت‌بالپوشان و بال‌پولکداران بیشترین اهمیت را دارند. عدم انجام اقدامات کنترلی موثر علیه این حشرات به دلیل دارا بودن قدرت تولید مثل بالا، موجب خواهد شد تا در زمانی کوتاه خسارت‌های زیادی به فراورده‌های انباری وارد شود. آفات انباری علاوه بر خسارت کمی، باعث وارد آمدن خسارت‌های کیفی نیز می‌شوند (Bagheri-Zenouz, 2007).

روش‌های کنونی کنترل آفات و از جمله آفات انباری بر استفاده از حشره‌کش‌ها مبتنی هستند که به طور کلی مؤثرترین ابزارهای مدیریتی و تنها روش ممکن برای کاهش قابل قبول جمعیت آفات می‌باشند (Boyer et al., 2012). استفاده گسترده از حشره‌کش‌های شیمیایی در برنامه‌های کنترل تلفیقی آفات، به آلودگی محیط زیست، طغیان آفات، مقاوم شدن آفات به حشره‌کش‌ها و دارا بودن اثرات کشندگی برای موجودات غیرهدف منجر شده است (Abudulai et al., 2001). وجود این محدودیت‌ها، نگاه‌ها را به سمت استفاده از روش‌های کنترلی جایگزین معطوف نموده است (Arthur, 1996). در حال حاضر، متخصصان مبارزه با آفات انباری انواع مختلفی از روش‌های جدید تصمیم‌گیری و پایش و نیز ابزارهای مدیریت بیولوژیک، شیمیایی و فیزیکی آفات را در اختیار دارند (Hagstrum & Flinn, 2014).

با توجه به وجود نگرانی‌های زیاد در مورد استفاده از سموم شیمیایی دفع آفات، علاقه‌مندی و توجه به استفاده از روش‌های کنترلی جایگزین برای آفات انباری و ضدعفونی مواد غذایی در انبارها بیشتر می‌شود. در این میان، استفاده از دماهای بالا و پایین یکی از امیدوارکننده‌ترین روش‌های مدیریت سالم و زیست‌محیطی آفات انباری به شمار می‌رود (Gvozdenac et al., 2019). دماهای بالا و پایین به دلیل داشتن چندین مزیت مانند نداشتن باقی‌مانده، اثربخشی در برابر حشرات مقاوم به حشره‌کش‌ها و دارا بودن خطر کم برای کاربران، به طور گسترده مورد توجه و استفاده بوده‌اند (Fields, 2001). روش کنترل دما، به ویژه کاهش دما و استفاده از دماهای پایین، سال‌ها در کنترل آفات انباری مورد توجه و استفاده بوده است (Fields, 1992; Mason & Strait, 1999). پایین آوردن دمای محیط و رساندن آن به دماهایی پایین‌تر از دماهای بهینه برای نشوونمای حشرات یکی از راه‌های کنترل آفات انباری و کاهش خسارت آن‌ها می‌باشد (Longstaff, 1981; Flinn & Hagstrum, 1990). برای کنترل آفات فراورده‌های انباری می‌توان از روش ذخیره‌سازی آن‌ها در دماهای بین صفر تا ۵ درجه سلسیوس استفاده کرد (Gross et al., 2016). منجمد کردن فراورده‌های انباری خشک با استفاده از دماهای بین ۱۰- تا ۲۰- درجه سلسیوس گزینه‌ای مناسب برای ضدعفونی سریع آن‌ها به شمار می‌رود (Gvozdenac et al., 2019). در این راستا اظهار شده که نگهداری پس از برداشت خشکبار و آجیل‌ها در دماهای پایین، یکی از گزینه‌های جایگزین برای گاز متیل بروماید در جهت کنترل خسارت شب‌پره هندی *Plodia interpunctella* Hübner می‌باشد (Johnson et al., 1997). در ژاپن نیز گزارش شده که ذخیره‌سازی تجاری برنج در دماهای پایین باعث کاهش کاربرد سموم تدخینی از سال ۱۹۹۱ میلادی شده است (Nakakita & Ikenaga, 1997). امروزه، حفاظت از

غلات به روش سرمادهی و استفاده از دماهای پایین در درجه اول در کشورهای توسعه‌یافته در حال انجام است، در حالی که در کشورهای توسعه‌نیافته، استفاده از آن به دلیل نیازمندی به منابع انرژی گران‌قیمت و ساخت تاسیسات پیشرفته ذخیره‌سازی چندان رایج نیست (Gvozdenac et al., 2019). به خوبی معلوم شده که با کاهش/افزایش دما از دمای بهینه، رشد و نشوونمای حشرات به تدریج کند و در یک نقطه معین کاملا متوقف می‌شود (Stejskal et al., 2019).

امواج فراصوت به امواجی صوتی گفته می‌شود که فرکانس آن‌ها از بیشترین فرکانس قابل شنیده شدن توسط انسان (۲۰ کیلوهرتز) بالاتر می‌باشد (Lacefield, 2014). طبق تحقیقاتی که تاکنون در مورد اثرات این امواج روی حشرات انجام شده‌اند، اثرات دورکنندگی (Huang et al., 2003; Skals et al., 2003; Okorie et al., 2015; Shams Salehi et al., 2016; Habashy et al., 2018)، ایجاد اختلال در جفتگیری (Svensson et al., 2003)، کاهش تولید مثل (Huang et al., 2003; Huang & Subramanyam, 2004; Zha et al., 2013; Shams Salehi et al., 2016)، کاهش وزن لاروها (Huang et al., 2003; Huang & Subramanyam, 2004; Shams Salehi et al., 2016) و شفیره‌ها (Shams Salehi et al., 2016)، کاهش تعداد لاروها (Huang et al., 2003; Huang & Subramanyam, 2004) و شفیره‌ها (Zha et al., 2013)، کاهش زنده‌مانی لاروها (Shams Salehi et al., 2016; Jasmine & Smith, 2020) و تخم‌ها (Jasmine & Smith, 2020)، کاهش فعالیت آنزیم‌ها (Zha et al., 2008; Zha & Lei, 2012) و اثر آن‌ها روی بازدارندگی تغذیه (Habashy et al., 2018) گزارش شده است. با این وجود، عدم تاثیر این امواج در دور کردن سوسری آمریکایی *Periplaneta americana* L. (Koehler et al., 1986)، چند گونه پشه و سوسری آلمانی *Blattella germanica* L. (Ahmad et al., 2007) و نیز روی نشوونمای لاروها و شفیره‌های کک موش *Xenopsylla cheopis* Rothschild و جفتگیری و تخمگذاری حشرات کامل آن نشان داده شده است (Koehler et al., 1986). همچنین، افزایش زادآوری حشرات کامل کرم غوزه پنبه *Helicoverpa armigera* Hübner در اثر امواج فراصوت اما بی‌تاثیر بودن این امواج روی وزن لاروها و درصد ظهور حشرات کامل این گونه (Zha et al., 2013) و نیز دوره پیش از تخم‌گذاری و طول عمر حشرات کامل شب‌پره هندی (Huang & Subramanyam, 2004) گزارش شده‌اند. پتانسیل امواج فراصوت برای مدیریت رفتارهای تولید مثلی شب‌پره هندی گزارش شده است (Huang & Subramanyam, 2004). امواج فراصوت در بسیاری از حشرات در بروز رفتارهای جفتگیری (Spangler et al., 1984; Mankin, 2012) و فرار از دست دشمنان نقش‌های بسیار مهمی را بازی می‌کنند (Robert, 1989; Hoy et al., 1989; Fullard & Yack, 1993; Yack et al., 1999; Rodriguez & Greenfield, 2004) و استفاده از آن‌ها به عنوان یک روش موثر، امن و زیست‌محیطی پیشنهاد شده است (Habashy et al., 2018).

با توجه به مرور منابع، خلاهای تحقیقاتی در مورد تعیین اثرات امواج فراصوت و دماهای پایین روی تعداد زیادی از جنبه‌های زیستی و تولید مثلی آفات انباری قابل توجه می‌باشند. با توجه به اهمیت شب‌پره مدیترانه‌ای آرد *Ephestia kuehniella* Zeller به عنوان یک آفت انباری و نیز یک حشره مدل آزمایشگاهی (Gallego et al., 2022; Shahriari et al., 2022)، در پژوهش حاضر اثر پیش‌تیمار مراحل نارس و حشرات کامل با امواج فراصوت روی کارایی کشندگی و اثرات زیستی دمای پایین (۴ درجه سلسیوس) مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

پرورش شب‌پره مدیترانه‌ای آرد

برای ایجاد کلنی شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، تخم‌های آن از کلنی پرورشی آزمایشگاه تحقیقات حشره‌شناسی گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده تولید گیاهی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان تهیه شدند. داخل ظروف پرورش پلاستیکی (به رنگ سفید مات، به ابعاد ۹ × ۱۵ × ۲۳ سانتی‌متر) حدود ۷۰۰ گرم آرد گندم ریخته و ۰/۱۴ گرم تخم شب‌پره به آن اضافه شد (Cerutti et al., 1992). پرورش حشره در دمای ۲±۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۷۰ درصد و ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انجام شد. از حشرات نسل پنجم برای انجام آزمایش‌ها استفاده شد.

دستگاه تولیدکننده امواج فراصوت

در این تحقیق از یک دستگاه تجاری تولیدکننده امواج فراصوت (مدل DH02 ساخت ایران، با فرکانس تولیدی ۲۰ تا ۶۰ کیلوهرتز، توان خروجی ۴ وات و شدت صوت برابر با ۹۸ دسی‌بل در فاصله ۳۰ سانتی‌متری) استفاده شد. برای جلوگیری از پراکنده شدن امواج و قرار دادن حشره در معرض آن، با استفاده از صفحات پلکسی‌گلاس به ضخامت ۴ میلی‌متر، محفظه‌ای به ابعاد ۳۰ × ۳۰ × ۳۰ سانتی‌متر ساخته و دستگاه تولیدکننده امواج فراصوت در وسط سقف آن نصب شد (Zha et al., 2013). کلیه تیمارهای امواج‌دهی در شرایط معمولی اتاق (دمای ۲۲ تا ۲۷ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵۸ تا ۷۵ درصد) انجام شدند.

اثرات کشنده امواج فراصوت و دمای پایین

اثر پیش‌تیمار تخم‌ها با امواج فراصوت روی تلفات آن‌ها در دمای پایین

تخم‌های حداکثر یک‌روزه در داخل تشتک‌های پتری شیشه‌ای به مدت ۱، ۲، ۳ و ۴ روز در معرض امواج فراصوت قرار داده شدند. تخم‌های مربوط به هر یک از سطوح امواج‌دهی سپس در یخچال در دمای ۱ ± ۴ درجه سلسیوس (رطوبت نسبی ۵ ± ۴۵ درصد؛ تاریکی) قرار داده شدند. با بررسی روزانه تخم‌ها، زنده‌مانی آن‌ها ثبت می‌شد. تخم‌هایی که ظاهری چروکیده و تیره‌رنگ داشتند، مرده در نظر گرفته می‌شدند. آزمایش در چهار تکرار و هر تکرار دارای ۱۰۰ عدد تخم انجام شد.

اثر پیش‌تیمار لاروهای سن اول/پنجم با امواج فراصوت روی تلفات حشرات کامل ظاهرشده در دمای پایین

در این آزمایش، ۱۰۰۰ عدد لارو سن اول یک‌روزه به مدت ۱، ۲، ۳ و ۴ روز، یا سن پنجم یک‌روزه به مدت ۲، ۴ و ۶ روز در درون تشتک‌های پتری شیشه‌ای ۹ سانتی‌متری حاوی ۲۰ گرم آرد گندم (Shams Salehi et al., 2016) در معرض امواج فراصوت قرار داده شدند. پس از سپری شدن هر مدت زمان امواج‌دهی، تشتک‌ها از داخل محفظه پلکسی‌گلاس خارج شدند و لاروهای سن اول/ پنجم امواج‌دیده به مدت زمان‌های فوق به روش عادی در شرایط معمولی اتاق ذکرشده روی ۳۰۰ گرم آرد گندم و در داخل ظروف پرورش پلاستیکی فوق پرورش یافتند تا حشرات کامل ظاهر شوند. حشرات کامل حداکثر یک‌روزه به تفکیک نر و ماده (در چهار تکرار؛ ۲۵ عدد حشره کامل نر و ۲۵ عدد حشره کامل ماده در هر تکرار) در داخل تشتک‌های پتری ۹ سانتی‌متری، درون یخچال در معرض دمای ۴ درجه سلسیوس قرار داده شدند. برای ثبت تلفات روزانه حشرات کامل در این آزمایش و نیز آزمایش‌های بعدی، حشرات کامل پس از خارج شدن از یخچال در شرایط معمولی اتاق ذکر شده قرار داده شدند. حشرات فعال‌شده یا دارای تحرک پیوست‌های بدن، در داخل تشتک‌های پتری دیگری در اولین فرصت دوباره به داخل یخچال منتقل می‌شدند. حشراتی که پس از گرم شدن بدنشان هیچگونه تحرکی از خود نشان نمی‌دادند، در داخل تشتک‌ها باقی می‌ماندند. اگر حرکت پیوست‌ها در افرادی بر اثر تحریک بدن توسط یک قلم موی ظریف مشاهده شد،

حشرات دوباره به تشتک مربوط به خود در داخل یخچال منتقل می‌شدند. پس از گذشت حداکثر ۱۰ دقیقه، اگر حرکت پیوست‌های بدن بر اثر تحریک دیده نمی‌شد، حشرات کامل به عنوان مرده در نظر گرفته شدند.

اثر پیش‌تیمار شفیره‌ها با امواج فراصوت روی تلفات حشرات کامل ظاهرشده در دمای پایین

برای انجام این آزمایش، ۵۰۰ شفیره تازه تشکیل‌شده در درون تشتک‌های پتری فاقد آرد به مدت ۲، ۴، ۶ و ۸ روز در معرض امواج قرار داده شدند. پس از سپری شدن هر مدت زمان، تشتک‌های پتری از محفظه پلکسی‌گلاس خارج و شفیره‌ها تا ظهور حشرات کامل در شرایط معمولی اتاق نگهداری شدند. ادامه آزمایش مانند بند قبل انجام شد.

اثر پیش‌تیمار متوالی مراحل نشوونمایی با امواج فراصوت روی تلفات حشرات کامل ظاهرشده در دمای پایین

با توجه به طول هر یک از دوره‌های رشدی این شب‌پره: تخم ۴-۵، لاروهای سنین اول تا پنجم به ترتیب ۶-۵، ۶-۴، ۷-۵، ۹-۵ و ۱۱-۱۸، و شفیره ۸-۱۴ روز (Yazdanian et al., 2005)، هشت کلنی مورد استفاده در آزمایش (تشتک‌های پتری ۱۰ سانتی‌متری حاوی ۳۰ گرم آرد گندم آلوده شده به ۵۰۰ عدد تخم) به طور جداگانه به ترتیب به مدت ۴ (معادل قرار داشتن مرحله تخم در معرض امواج)، ۹ (معادل امواج‌دهی مراحل تخم و لارو سن اول)، ۱۴ (معادل امواج‌دهی مراحل تخم و لاروهای سنین اول و دوم)، ۱۹ (معادل امواج‌دهی مراحل تخم و لاروهای سنین اول تا سوم)، ۲۴ (معادل امواج‌دهی مراحل تخم و لاروهای سنین اول تا چهارم)، ۳۳ (معادل امواج‌دهی مراحل تخم و لاروهای سنین اول تا پنجم) و ۴۰ روز (معادل امواج‌دهی مراحل تخم، لاروی و شفیرگی) در معرض امواج فراصوت قرار داده شدند. پس از سپری شدن هر مدت زمان امواج‌دهی، هر کلنی از داخل محفظه پلکسی‌گلاس خارج شد و پرورش لاروها شرایط معمولی اتاق ادامه یافت تا حشرات کامل ظاهر شوند. ادامه آزمایش مانند قبل انجام شد.

اثرات زیرکشنده امواج فراصوت و دمای پایین

در این آزمایش، ۱۰۰۰ عدد تخم یا لارو سن اول به مدت ۱، ۲، ۳ و ۴ روز، و ۱۰۰۰ عدد لارو سن پنجم یا شفیره به مدت ۲، ۴، ۶ و ۸ روز در معرض امواج فراصوت قرار داده شدند. تخم‌ها و شفیره‌ها در داخل تشتک‌های پتری بدون آرد گندم و لاروها در داخل تشتک‌های پتری ۹ سانتی‌متری حاوی ۲۰ گرم آرد در معرض امواج قرار داده شدند. پس از امواج‌دهی، پرورش لاروها یا نگهداری شفیره‌ها تا ظهور حشرات کامل در شرایط معمولی اتاق انجام شد. حشرات کامل تازه ظاهرشده به مدت ۱، ۲، ۳ و ۴ هفته در یخچال در معرض دمای ۴ درجه سلسیوس قرار داده و سپس به شرایط اتاق معمولی منتقل شدند. حشرات کامل تیمار شاهد نیز در دمای معمولی اتاق قرار داشتند. برای حشرات کامل ظاهرشده از تخم‌های امواج‌دهی شده و زنده‌مانده پس از هر مدت زمان سرمادهی، طول عمر حشرات کامل نر و ماده، زادآوری (تخم/ ماده) و درصد تفریخ تخم‌ها بررسی شد. برای تعیین طول عمر، زمان مرگ هر یک از حشرات کامل ثبت شد. برای تعیین زادآوری، حشرات کامل به داخل ظروف تخم‌گیری پلاستیکی شفاف به قطر ۷ و ارتفاع ۸/۵ سانتی‌متر منتقل شدند. تخم‌های گذاشته‌شده تا مرگ حشره کامل ماده به صورت روزانه شمارش می‌شدند. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی (چهار تکرار؛ ۲۰ جفت حشره کامل در هر تکرار) انجام شد.

تجزیه و تحلیل‌های آماری

تجزیه پروبیت داده‌ها برای برآورد مقادیر LT_{50} و LT_{95} (برحسب روز) با استفاده از نرم‌افزار PoloPlus انجام شد.

برای بررسی معنی‌دار بودن اختلاف بین زمان‌های کشنده، از روش نسبت‌های زمان کشنده[1] (Robertson et al., 2017) و حدود بالا و پایین محاسبه‌شده برای آن‌ها در سطح احتمال آماری پنج درصد استفاده شد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌های مربوط به اثرات زیرکشنده ترکیب‌های تیماری مورد بررسی نیز به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت. برای نرمال شدن داده‌ها از روش تبدیل جذری $\sqrt{(x+5)}$ و برای مقایسه اختلاف بین میانگین‌ها از آزمون Tukey-HSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج

اثرات کشنده امواج فراصوت و دمای پایین

اثر پیش‌تیمار تخم‌ها با امواج فراصوت روی تلفات آن‌ها در دمای پایین

پیش‌تیمار تخم‌های شب‌پره مدیترانه‌ای آرد با امواج فراصوت به مدت ۳ و ۴ روز باعث تلفات سریع‌تر آن‌ها پس از قرار داده شدن در معرض دمای ۴ درجه سلسیوس شد. طبق نتایج، ۳ و ۴ روز امواج‌دهی تخم‌ها باعث کاهش معنی‌دار مقادیر LT_{50} و LT_{95} دمای پایین شد که با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۱).

اثر پیش‌تیمار لاروهای سن اول با امواج فراصوت روی تلفات حشرات کامل ظاهرشده در دمای پایین

امواج‌دهی لاروهای سن اول به مدت ۱ تا ۴ روز تلفات حشرات کامل ظاهر و قرار داده شده در معرض دمای ۴ درجه سلسیوس تاثیری نداشت. مقادیر LT_{50} برای حشرات کامل نر حدود ۱۴/۶۷ تا ۱۶/۱۹ روز، برای حشرات کامل ماده حدود ۱۱/۳۲ تا ۱۲/۶۷ روز، و به طور کلی حدود ۱۳/۵۲ تا ۱۴/۴۹ روز برآورد شدند که نشان می‌دهد حساسیت ماده‌ها از نرها بیشتر بوده است (جدول ۲).

اثر پیش‌تیمار لاروهای سن پنجم با امواج فراصوت روی تلفات حشرات کامل ظاهرشده در دمای پایین

امواج‌دهی لاروهای سن پنجم به مدت ۱ تا ۴ روز، همانند لاروهای سن اول، روی تلفات حشرات کامل ظاهر و قرار داده شده در معرض دمای ۴ درجه سلسیوس بی‌تاثیر بود. مقادیر LT_{50} برای حشرات کامل نر حدود ۱۴/۱۳ تا ۱۵/۶۴ روز، برای حشرات کامل ماده حدود ۱۱/۸۴ تا ۱۲/۷۱ روز و به طور کلی حدود ۱۳/۴۳ تا ۱۴/۰۱ روز برآورد شدند (جدول ۳).

جدول ۱- مقادیر LT_{50} و LT_{95} (روز) دمای ٤ درجه سلسیوس برآوردشده برای تخم‌های شب‌پره مدیترانه‌ای آرد پیش‌تیمار شده با امواج فراصوت

Table 1. LT_{50} and LT_{95} values (days) of 4 °C estimated for eggs of *Ephestia kuehniella* pre-exposed to ultrasonic waves

Eggs pre-exposure time (day)	LT_{50} (95% CL)	LT_{95} (95% CL)	*a* ± SE	*b* ± SE	χ^2 (df)	HF*
1	10.81 (8.46-13.64) a	15.64 (13.84-17.23) a	3.36 ± 0.18	1.37 ± 0.11	12.54 (19)	0.349
2	9.58 (7.71-12.37) ab	14.41 (12.11-16.56) ab	2.87 ± 0.15	1.75 ± 0.25	13.92 (19)	0.461
3	6.67 (5.67-8.11) b	10.73 (8.84-12.54) b	4.79 ± 0.17	2.09 ± 0.18	8.76 (14)	0.129
4	6.22 (5.12-7.64) b	10.13 (8.95-11.37) b	5.36 ± 0.21	1.42 ± 0.65	9.49 (14)	0.309

In each LT column, different letters indicate significant differences based on lethal dose ratios.
* Heterogeneity factor.

1. Lethal time ratios (LTRs)

جدول ۲- مقادیر LT_{50} و LT_{95} (روز) دمای ٤ درجه سلسیوس برآوردشده برای حشرات کامل شب‌پره مدیترانه‌ای آرد ظاهرشده از لاروهای سن اول پیش‌تیمار شده با امواج فراصوت

Table 2. LT_{50} and LT_{95} values (days) of 4 °C estimated for adults of *Ephestia kuehniella* emerged from 1st instar larvae pre-exposed to ultrasonic waves

1st instar larvae pre-exposure time (day)	LT_{50} (95% CL)	LT_{95} (95% CL)	a ± SE	b ± SE	χ^2 (df)	HF*
Male						
1	15.73 (12.43-17.85) a	44.42 (41.87-47.68) a	3.14 ± 0.032	2.25 ± 0.53	37.29 (48)	0.232
2	14.67 (12.75-17.38) a	43.91 (40.26-46.67) a	3.82 ± 0.084	1.67 ± 0.67	51.12 (48)	0.615
3	16.19 (13.24-18.79) a	45.72 (41.48-48.43) a	3.36 ± 0.092	2.29 ± 0.95	61.55 (49)	0.584
4	15.64 (12.96-17.64)a	44.64 (60.36-47.67) a	3.41 ± 0.081	1.67 ± 0.81	46.54 (48)	0.341
Female						
1	11.65 (9.41-13028) a	39.36 (36.14-41.25) a	3.75 ± 0.094	1.96 ± 0.83	41.31 (44)	0.219
2	11.32 (8.88-13.81) a	38.65 (35.35-42.81) a	3.78 ± 0.064	2.53 ± 0.42	48.17 (43)	0.357
3	12.67 (9.67-18.58) a	39.29 (35.24-42.95) a	2.87 ± 0.037	1.28 ± 0.77	54.11 (44)	0.610
4	12.35 (10.31-15.52) a	39.71 (37.52-45.81) a	3.67 ± 0.063	1.42 ± 0.68	42.66 (44)	0.248
Total						
1	13.81 (10.97-16.37) a	42.57 (38.97-45.12) a	3.34 ± 0.037	1.55 ± 0.84	76.91 (48)	0.549
2	13.71 (9.95-15.69) a	41.43 (38.84-45.78) a	2.97 ± 0.071	1.83 ± 0.66	85.67 (48)	0.628
3	14.49 (11.83-17.46) a	42.51 (39.81-46.40) a	3.55 ± 0.074	1.46 ± 0.59	95.94 (49)	0.668
4	13.52 (11.94-16.11) a	41.18 (38.43-45.77) a	3.86 ± 0.094	1.61 ± 0.57	85.63 (48)	0.637

In each LT column, similar letters indicate non-significant differences based on lethal dose ratios.
* Heterogeneity factor.

جدول ۳- مقادیر LT_{50} و LT_{95} (روز) دمای ٤ درجه سلسیوس برآوردشده برای حشرات کامل شب‌پره مدیترانه‌ای آرد ظاهرشده از لاروهای سن پنجم پیش‌تیمار شده با امواج فراصوت

Table 3. LT_{50} and LT_{95} values (days) of 4 °C estimated for adults of *Ephestia kuehniella* emerged from 5th instars pre-exposed to ultrasonic waves

5th instar larvae pre-exposure time (day)	LT_{50} (95% CL)	LT_{95} (95% CL)	a ± SE	b ± SE	χ^2 (df)	HF*
Male						
2	15.24 (12.27-17.97) a	42.33 (38.94-46.41) a	3.43 ± 0.054	2.38 ± 0.33	41.76 (48)	0.239
4	14.13 (11.88-17.52) a	44.84 (41.49-47.31) a	3.57 ± 0.084	1.95 ± 0.21	49.12 (49)	0.328
6	15.64 (12.31-18.01) a	45.66 (41.97-48.66) a	3.44 ± 0.046	2.17 ± 0.34	47.94 (48)	0.246
Female						
2	12.10 (10.08-14.44) a	40.74 (37.94-43.61) a	2.97 ± 0.087	1.37 ± 0.08	38.94 (45)	0.239
4	12.71 (9.14-14.78) a	39.16 (36.14-43.61) a	3.76 ± 0.038	1.46 ± 0.29	52.17 (44)	0.467
6	11.84 (8.74-15.11) a	40.48 (37.55-44.76) a	3.84 ± 0.094	1.67 ± 0.76	40.67 (46)	0.381
Total						
2	13.81 (10.22-15.74) a	41.67 (38.12-45.67) a	3.43 ± 0.037	1.82 ± 0.34	78.21 (48)	0.582
4	14.01 (11.59-17.37) a	42.37 (39.2-45.38) a	2.99 ± 0.074	1.54 ± 0.11	95.45 (49)	0.439
6	13.43 (10.83-16.64) a	43.25 (39.67-46.55) a	2.89 ± 0.039	2.67 ± 0.73	88.19 (48)	0.562

In each LT column, similar letters indicate non-significant differences based on lethal dose ratios.
* Heterogeneity factor.

اثر پیش‌تیمار شفیره‌ها با امواج فراصوت روی تلفات حشرات کامل ظاهرشده در دمای پایین

طبق نتایج، ۸ روز امواج‌دهی شفیره‌ها روی تلفات حشرات کامل ظاهر و قرار داده شده در معرض دمای ۴ درجه سلسیوس تاثیر داشت. مقادیر LT_{50} برای حشرات کامل نر و ماده حاصل از شفیره‌های ۲ تا ۶ روز امواج‌دهی شده به ترتیب حدود ۱۳/۵۳-۱۵/۴۹ و ۱۱/۶۸-۱۲/۲۱ روز بود که در نرها و ماده‌های حاصل از شفیره‌های ۸ روز امواج‌دهی‌شده به ترتیب

به حدود ۹/۲۵ و ۷/۲۸ روز کاهش یافت. به طور کلی، مقادیر LT_{50} برای حشرات کامل حاصل از شفیره‌های ۲ تا ۶ روز امواج‌دهی‌شده حدود ۱۲/۹۱ تا ۱۴/۰۲ روز بود که در حشرات کامل حاصل از شفیره‌های ۸ روز امواج‌دهی‌شده به حدود ۸/۲۵ روز کاهش یافت (جدول ۴).

اثر پیش‌تیمار متوالی مراحل نشوونمایی با امواج فراصوت روی تلفات حشرات کامل ظاهرشده در دمای پایین

قرار دادن متوالی مراحل مختلف نشوونمایی به مدت ۲۴، ۳۳ و ۴۰ روز در معرض امواج فراصوت روی تلفات حشرات کامل ظاهر و قرار داده شده در معرض دمای ۴ درجه سلسیوس تاثیر معنی‌داری داشت. مقادیر LT_{50} برای حشرات کامل نر و ماده حاصل از ۴، ۹، ۱۴ و ۱۹ روز امواج‌دهی مراحل نشوونمایی حدودا ۱۴–۱۶ و ۹–۱۳/۵ روز بودند که در نرها و ماده‌های حاصل از مراحل نشوونمایی ۲۴، ۳۳ و ۴۰ روز امواج‌دهی شده به طور معنی‌داری به حدود ۵–۱۰/۸ و ۶–۸ روز کاهش یافتند (جدول ۵).

اثرات زیرکشنده امواج فراصوت و دمای پایین اثر امواج‌دهی تخم‌ها و سرمادهی حشرات کامل ظاهرشده

اثر مدت زمان قرار داشتن حشرات کامل نر و ماده در معرض دمای پایین روی طول عمر آن‌ها معنی‌دار بود. تجزیه واریانس داده‌ها با لحاظ کردن داده‌های تیمار شاهد نیز نشان داد که بین میانگین‌های طول عمر حشرات کامل نر ($F_{16,51}=64.4915$; $P<0.001$) و ماده ($F_{16,51}=28.5843$; $P<0.001$) اختلاف معنی‌داری وجود داشت. طبق نتایج، ۳ و ۴ هفته قرار داشتن حشرات کامل در معرض دمای پایین، بدون تاثیرپذیری از امواج–دهی قبلی تخم‌ها، باعث کاهش معنی‌دار طول عمر حشرات کامل نر و ماده به حدود ۲ تا ۴/۵ روز شد که با هم نیز اختلاف معنی‌دار داشتند (جدول ۶).

جدول ٤- مقادیر LT_{50} و LT_{95} (روز) دمای ٤ درجه سلسیوس برآوردشده برای حشرات کامل شب‌پره مدیترانه‌ای آرد ظاهرشده از شفیره‌های پیش‌تیمار شده با امواج فراصوت

Table 4. LT_{50} and LT_{95} values (days) of 4 °C estimated for adults of *Ephestia kuehniella* emerged from pupae pre-exposed to ultrasonic waves

Pupae pre-exposure time (day)	LT_{50} (95% CL)	LT_{95} (95% CL)	*a* ± SE	*b* ± SE	χ^2 (df)	HF*
Male						
2	14.67 (11.64-16.29) a	42.94 (38.97-46.12) a	3.24 ± 0.056	2.66 ± 0.13	67.42 (48)	0.584
4	13.53 (10.94-16.21) a	44.13 (40.36-47.28) a	2.83 ± 0.076	2.34 ± 0.18	71.01 (49)	0.574
6	15.49 (12.77-18.53) a	42.35 (39.49-45.88) a	3.69 ± 0.094	1.55 ± 0.14	53.46 (49)	0.441
8	9.25 (6.10-11.76) b	33.29 (29.19-37.44) b	5.71 ± 0.066	1.97 ± 0.45	49.94 (38)	0.349
Female						
2	12.21 (9.75-14.88) a	37.92 (33.89-41.06) a	3.23 ± 0.094	1.24 ± 0.75	50.41 (42)	0.515
4	11.97 (9.37-14.13) a	39.82 (35.60-42.15) a	3.21 ± 0.033	1.12 ± 0.32	61.12 (43)	0.497
6	11.68 (8.64-14.17) a	40.01 (36.46-44.05) a	2.94 ± 0.049	1.63 ± 0.68	55.19 (44)	0.663
8	7.28 (4.46-10.63) b	30.26 (26.21-34.70) b	5.95 ± 0.058	1.74 ± 0.42	53.38 (34)	0.571
Total						
2	12.91 (10.11-14.84) a	40.35 (37.37-44.46) a	3.89 ± 0.094	1.28 ± 0.88	63.27 (48)	0565
4	13.20 (10.32-16.61) a	41.84 (37.96-44.61) a	2.89 ± 0.081	2.43 ± 0.20	72.74 (49)	0.694
6	14.02 (11.51-17.76) a	41.28 (38.99-45.32)a	3.67 ± 0.037	1.35 ± 0.33	84.16 (49)	0.694
8	8.25 (5.49-11.11) b	31.55 (31.68-39.74) b	4.76 ± 0.064	1.27 ± 0.29	49.33 (38)	0.491

In each LT column, different letters indicate significant differences based on lethal dose ratios.
* Heterogeneity factor.

اثر مدت زمان قرار داشتن حشرات کامل در معرض دمای پایین روی زادآوری آن‌ها معنی‌دار بود. تجزیه واریانس با لحاظ کردن داده‌های تیمار شاهد نیز نشان داد که بین میانگین‌های زادآوری اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($F_{16,51}$=42.8169; P<0.001). قرار داشتن حشرات کامل به مدت ۱ تا ۴ هفته در معرض دمای پایین، بدون تاثیرپذیری از قرار داشتن قبلی تخم‌ها در معرض امواج فراصوت، زادآوری آن‌ها را در هر مدت زمان سرما دیدن نسبت به شاهد به طور معنی‌داری کاهش داد به طوری که باعث کاهش زادآوری به ترتیب به حدود ۸۰، ۵۷، ۳۷ و ۲۴ درصد شاهد شد (جدول ۶).

اثر مدت زمان قرار داشتن حشرات کامل در معرض دمای پایین روی تفریخ تخم‌های آن‌ها معنی‌دار بود. تجزیه واریانس داده‌ها با لحاظ کردن داده‌های تیمار شاهد نشان داد که بین میانگین‌های تفریخ تخم‌ها در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت ($F_{16,51}$=30.4619; P<0.001). قرار داشتن حشرات کامل به مدت ۳ و ۴ هفته در معرض دمای پایین، بدون تاثیرپذیری از قرار داشتن قبلی تخم‌ها در معرض امواج فراصوت، درصد تفریخ تخم‌های آن‌ها را نسبت به شاهد به طور معنی‌داری کاهش داد به طوری که باعث کاهش درصد تفریخ تخم‌ها به ترتیب به حدود ۶۷ و ۶۳ درصد شاهد شد (جدول ۶).

جدول ۵- مقادیر LT_{50} و LT_{95} (روز) دمای ٤ درجه سلسیوس برآوردشده برای حشرات کامل شب‌پره مدیترانه‌ای آرد ظاهرشده از مراحل نشوونمایی پیش‌تیمار شده به طور متوالی با امواج فراصوت

Table 5. LT_{50} and LT_{95} values (days) of 4 °C estimated for adults of *Ephestia kuehniella* emerged from developmental stages continuously pre-exposed to ultrasonic waves

Continuously pre-exposure time (day)*	LT_{50} (95% CL)	LT_{95} (95% CL)	a ± SE	b ± SE	χ^2 (df)	HF**
Male						
4	15.23 (12.28-18.12) a	43.66 (39.34-46.51) a	3.46 ± 0.044	2.50 ± 0. 58	64.54 (48)	0.584
9	14.61 (11.78-17.85) a	43.97 (40.36-47.18) a	3.27 ± 0.074	1.68 ± 0. 67	86.58 (47)	0.685
14	14.11 (10.88-17.94) a	40.79 (37.01-45.21) a	3.19 ± 0.067	1.72 ± 0. 65	75.20 (45)	0.615
19	15.66 (12.29-19.06) a	42.64 (38.33-45.56) a	3.34 ± 0.084	1.18 ± 0. 78	81.13 (45)	0.579
24	10.38 (7.17-13.20) b	35.21 (31.45-38.34) b	4.25 ± 0.115	2.07 ± 0. 38	8.63 (40)	0.049
33	9.74 (7.48-12.67) b	33.11 (30.07-37.21) b	4.67 ± 0.165	2.11 ± 0. 79	51.64 (37)	0.419
40	7.67 (5.11-10.33) b	30.67 (26.88-33.55) b	5.64 ± 0.243	1.86 ± 0. 15	44.31 (35)	0.349
Female						
4	12.35 (10.02-15.21) a	39.67 (35.84-43.22) a	3.42 ± 0.067	2.21 ± 0.23	66.33 (42)	0.654
9	13.61 (10.30-16.45) a	38.34 (35.21-42.16) a	3.51 ± 0.081	1.97 ± 0.14	61.29 (42)	0.592
14	11.24 (8.75-13.82) a	41.11 (37.56-45.74) a	2.67 ± 0.055	1.46 ± 0.57	70.19 (45)	0.581
19	9.25 (7.13-13.41) ab	36.33 (32.28-39.94) ab	3.99 ± 0.112	1.58 ± 0.30	48.17 (40)	0.419
24	7.73 (5.31-9.22) b	33.17 (29.15-36.67) b	4.88 ± 0.201	1.71 ± 0.22	68.25 (39)	0.528
33	7.46 (4.87-9.91) b	28.33 (25.03-31.69) b	5.35 ± 0.198	1.28 ± 0.15	42.19 (32)	0.339
40	6.34 (4.11-8.05) b	27.61 (23.75-31.19) b	6.14 ± 0.246	1.69 ± 0.09	38.64 (31)	0.273
Total						
4	14.53 (11.35-17.71) a	43.12 (39.61-45.21) a	3.61 ± 0.058	1.58 ± 0.42	74.31 (48)	0.566
9	13.84 (10.23-17.67) a	42.26 (39.19-45.67) a	3.63 ± 0.092	2.64 ± 0.35	90.11 (47)	0.684
14	13.20 (11.79-17.79) a	40.78 (36.55-44.31) a	3.24 ± 0.068	2.33 ± 0.16	68.25 (45)	0.546
19	12.31 (9.61-15.53) a	40.04 (35.76-44.41) a	4.46 ± 0.078	1.88 ± 0.28	64.88 (45)	0.559
24	8.56 (5.92-11.34) b	33.13 (26.81-34.16) b	5.21 ± 0.162	1.65 ± 0.40	53.48 (40)	0.446
33	7.69 (5.22-10.11) b	30.72 (26.81-34.16) b	4.79 ± 0.137	1.51 ± 0.28	41.69 (37)	0.381
40	6.81 (4.35-9.03) b	28.54 (25.33-32.08) b	6.67 ± 0.264	1.76 ± 0.33	45.22 (35)	0.409

In each LT column, different letters indicate significant differences based on lethal dose ratios.

*Numbers indicate continuous pre-exposure of developmental stages to ultrasonic waves as follows. 4: pre-exposure of eggs; 9: eggs and 1st instar larvae; 14: eggs to 2nd instar larvae; 19: eggs to 3rd instar larvae; 24: eggs to 4th instar larvae; 33: eggs to 5th instar larvae; 40: eggs, five larval instars, and pupae.

** Heterogeneity factor.

جدول ٦- مقایسه میانگین (SE ±) طول عمر، زادآوری و درصد تفریخ تخم‌های شب‌پره مدیترانه‌ای آرد در حشرات کامل تیمارشده با دمای ٤ درجه سلسیوس و ظاهرشده از تخم‌های قرار داشته در معرض امواج فراصوت

Table 6. Mean (±SE) of longevity, fecundity and egg hatchability in adult *Ephestia kuehniella* exposed to 4 °C temperature and emerged from eggs pre-exposed to ultrasonic waves

Eggs pre-exposure time (day)	Adults exposure time (Week)	Adult longevity (day)		Fecundity (egg/female)	Egg hatchibility (%)
		Male	Female		
Control	-	9.31 ± 1.72 a	8.43 ± 1.12 a	347.68 ± 24.49 a	89.61 ± 10.35 a
1	1	8.67 ± 1.22 a	7.84 ± 1.25 a	268.63 ± 21.58 b	92.74 ± 15.12 a
	2	7.12 ± 1.71 a	6.35 ± 1.21 a	195.41 ± 17.43 c	84.42 ± 12.49 a
	3	4.67 ± 0.52 b	3.51 ± 0.64 b	138.75 ± 18.84 d	61.44 ± 9.38 b
	4	2.43 ± 0.31 c	2.28 ± 0.36 c	85.37 ± 12.51 e	54.74 ± 8.61 b
2	1	7.87 ± 1.11 a	8.06 ± 1.78 a	289.67 ± 20.44 b	90.43 ± 13.24 a
	2	8.11 ± 1.65 a	7.27 ± 1.47 a	202.61 ± 19.97 c	78.67 ± 8.56 a
	3	4.48 ± 0.28 b	4.13 ± 0.68 b	124.51 ± 15.67 d	58.94 ± 9.02 b
	4	2.67 ± 0.14 c	2.33 ± 0.25 c	96.22 ± 13.46 e	64.11 ± 6.79 b
3	1	8.51 ± 1.54 a	7.94 ± 1.65 a	302.25 ± 23.41 b	88.66 ± 10.52 a
	2	8.35 ± 1.43 a	7.51 ± 1.34 a	187.41 ± 20.94 c	93.62 ± 11.38 a
	3	4.12 ± 0.66 b	3.38 ± 0.51 b	142.75 ± 16.75 d	53.29 ± 7.51 b
	4	2.64 ± 0.26 c	2.24 ± 0.20 c	74.37 ± 11.67 e	55.43 ± 6.27 b
4	1	9.03 ± 1.68 a	8.49 ± 1.44 a	274.76 ± 18.52 b	80.73 ± 9.49 a
	2	8.55 ± 1.39 a	9.09 ± 1.24 a	213.41 ± 14.35 c	90.97 ± 10.84 a
	3	4.12 ± 0.54 b	3.85 ± 0.19 b	129.75 ± 12.38 d	66.06 ± 9.22 b
	4	2.35 ± 0.23 c	2.33 ± 0.24 c	90.37 ± 11.55 e	49.48 ± 8.63 b
Egg pre-exposure to ultrasonic waves		$F_{3,48}$=0.3497 P=0.2146	$F_{3,48}$=0.2194 P=0.3419	$F_{3,48}$=0.2067 P=0.4167	$F_{3,48}$=1.0546 P=0.0864
Adult exposure to low temperature		$F_{3,48}$=35.4351 P<0.001	$F_{3,48}$=26.4381 P<0.001	$F_{3,48}$=18.5614 P<0.001	$F_{3,48}$=19.4197 P<0.001
Egg pre-exposure × Adult exposure		$F_{9,48}$=1.2846 P=0.1861	$F_{9,48}$=0.3812 P=0.2419	$F_{9,48}$=0.2894 P=0.3679	$F_{9,48}$=0.6897 P=0.1893

In each column, mean values followed by different letters are significantly different (Tukey-HSD; α=0.05).

اثر امواج‌دهی لاروهای سن اول و سرمادهی حشرات کامل ظاهرشده

طبق نتایج، اثر فاکتور امواج‌دهی لاروهای سن اول روی طول عمر حشرات کامل ظاهرشده غیرمعنی‌دار، اثر مدت زمان قرار داشتن حشرات کامل در معرض دمای پایین معنی‌دار و اثر متقابل این دو فاکتور نیز غیرمعنی‌دار بود. تجزیه واریانس داده‌ها با لحاظ کردن داده‌های تیمار شاهد نیز نشان داد که بین میانگین‌های طول عمر حشرات کامل نر ($F_{16,51}$=50.2549; P<0.001) و ماده ($F_{16,51}$=31.0684; P<0.001) اختلاف معنی‌داری وجود داشت. همانند نتایج به دست آمده در مورد امواج‌دهی تخم‌ها، ۳ و ۴ هفته قرار داشتن حشرات کامل در معرض دمای پایین، بدون تاثیرپذیری از امواج‌دهی قبلی لاروهای سن اول، باعث کاهش معنی‌دار طول عمر حشرات کامل نر و ماده به حدود ۲ تا ۴/۵ روز شد که اختلاف بین دو میانگین با هم نیز معنی‌دار بود (جدول ۷).

اثر مدت زمان قرار داشتن حشرات کامل در معرض دمای پایین معنی‌دار روی زادآوری حشرات کامل ظاهرشده معنی‌دار بود. تجزیه واریانس داده‌ها با لحاظ کردن داده‌های تیمار شاهد نیز نشان داد که بین میانگین‌های زادآوری در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت ($F_{16,51}$=28.6419; P<0.001). قرار داشتن حشرات کامل حتی به مدت ۱ هفته در معرض دمای پایین، بدون تاثیرپذیری از قرار داشتن قبلی لاروهای سن اول در معرض امواج فراصوت، زادآوری آن‌ها را در هر مدت زمان سرما دیدن نسبت به شاهد به طور معنی‌داری کاهش داد به طوری که سرمادهی حشرات کامل به مدت ۱، ۲، ۳ و ۴ هفته باعث کاهش زادآوری به ترتیب به حدود ۸۳، ۶۳، ۴۱ و ۲۷ درصد شاهد شد (جدول ۷).

جدول ۷- مقایسه میانگین (± SE) طول عمر، زادآوری و درصد تفریخ تخم‌های شب‌پره مدیترانه‌ای آرد در حشرات کامل تیمارشده با دمای ٤ درجه سلسیوس و ظاهرشده از لاروهای سن اول قرار داشته در معرض امواج فراصوت

Table 7. Mean (±SE) of longevity, fecundity and egg hatchability in adult *Ephestia kuehniella* exposed to 4 °C temperature and emerged from 1st instars pre-exposed to ultrasonic waves

1st instar larvae pre-exposure time (day)	Adults exposure time (Week)	Adult longevity (day)		Fecundity (egg/female)	Egg hatchability (%)
		Male	Female		
Control	-	10.13 ± 1.75 a	8.68 ± 1.45 a	325.94 ± 20.98 a	84.57 ± 9.94 a
1	1	7.66 ± 1.45 a	7.64 ± 1.16 a	276.22 ± 19.16 b	88.16 ± 10.47 a
	2	9.31 ± 1.37 a	8.82 ± 1.46 a	213.64 ± 18.09 c	90.34 ± 8.57 a
	3	3.97 ± 0.64 b	3.98 ± 0.60 b	128.48 ± 12.97 d	55.21 ± 7.39 b
	4	2.51 ± 0.30 c	2.48 ± 0.20 c	88.33 ± 11.84 e	62.14 ± 7.64 b
2	1	9.23 ± 1.46 a	8.67 ± 1.28 a	264.46 ± 17.43 b	87.52 ± 11.49 a
	2	8.72 ± 1.17 a	9.11 ± 1.39 a	210.87 ± 15.61 c	85.71 ± 9.64 a
	3	4.53 ± 0.67 b	3.22 ± 0.33 b	130.82 ± 16.11 d	61.17 ± 8.30 b
	4	2.15 ± 0.31 c	2.08 ± 0.44 c	90.55 ± 8.37 e	54.68 ± 7.43 b
3	1	8.22 ± 1.05 a	7.80 ± 1.76 a	268.71 ± 20.63 b	91.25 ± 12.34 a
	2	9.51 ± 1.47 a	9.02 ± 1.56 a	201.28 ± 15.64 c	90.11 ± 10.75 a
	3	4.44 ± 0.46 b	3.79 ± 0.74 b	128.87 ± 12.34 d	65.31 ± 9.71 b
	4	2.17 ± 0.31 c	2.20 ± 0.54 c	80.51 ± 9.37 e	54.49 ± 7.33 b
4	1	9.35 ± 1.41 a	8.83 ± 1.75 a	270.60 ± 17.73 b	86.16 ± 10.81 a
	2	7.67 ± 1.11 a	7.25 ± 1.49 a	198.48 ± 16.37 c	87.38 ± 9.67 a
	3	4.67 ± 0.49 b	4.31 ± 0.79 b	139.91 ± 8.33 d	60.44 ± 7.75 b
	4	2.34 ± 0.30 c	2.21 ± 0.70 c	95.11 ± 9.22 e	56.49 ± 8.19 b
1st instars pre-exposure to ultrasonic waves		$F_{3,48}$=0.2167 P=0.4811	$F_{3,48}$=0.7462 P=0.1863	$F_{3,48}$=0.2012 P=0.5116	$F_{3,48}$=0.8194 P=0.1649
Adult exposure to low temperature		$F_{3,48}$=46.8627 P<0.001	$F_{3,48}$=25.5942 P<0.001	$F_{3,48}$=33.5716 P<0.001	$F_{3,48}$=52.2941 P<0.001
1st instars pre-exposure × Adult exposure		$F_{9,48}$=1.6819 P=0.0894	$F_{9,48}$=1.0812 P=0.0764	$F_{9,48}$=1.0163 P=0.0781	$F_{9,48}$=0.3918 P=0.4972

In each column, mean values followed by different letters are significantly different (Tukey-HSD; α=0.05).

اثر مدت زمان قرار داشتن حشرات کامل در معرض دمای پایین روی تفریخ تخم‌های حشرات کامل ظاهرشده معنی‌دار بود. تجزیه واریانس داده‌ها با لحاظ کردن داده‌های تیمار شاهد نشان داد که بین میانگین‌های تفریخ تخم‌ها اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($F_{16,51}$=22.6384; P<0.001). طبق نتایج، قرار داشتن حشرات کامل به مدت ۳ و ۴ هفته در معرض دمای پایین، بدون تاثیرپذیری از قرار داشتن قبلی لاروهای سن اول در معرض امواج فراصوت، درصد تفریخ تخم‌های آن‌ها را (بدون اختلاف معنی‌دار با هم) نسبت به شاهد به طور معنی‌داری به ترتیب به حدود ۷۰ و ۶۹ درصد شاهد کاهش داد (جدول ۷).

اثر امواج‌دهی لاروهای سن پنجم و سرمادهی حشرات کامل ظاهرشده

اثر امواج‌دهی لاروهای سن پنجم و مدت زمان قرار داشتن حشرات کامل در معرض دمای پایین روی طول عمر حشرات کامل ظاهرشده نر و ماده معنی‌دار ولی اثر متقابل این دو فاکتور غیرمعنی‌دار بود. تجزیه واریانس داده‌ها با لحاظ کردن داده‌های تیمار شاهد نیز نشان داد که میانگین‌های طول عمر حشرات کامل نر ($F_{16,51}$=29.8497; P<0.001) و ماده ($F_{16,51}$=52.2937; P<0.001) با هم اختلاف معنی‌داری داشتند. ۳ و ۴ هفته قرار داشتن حشرات کامل در معرض دمای پایین، با تاثیرپذیری از امواج‌دهی قبلی لاروهای سن پنجم، باعث کاهش معنی‌دار طول عمر حشرات کامل نر و ماده به حدود ۲ تا ۴ روز (دارای اختلاف معنی‌دار با هم) شد. ۸ روز قرار دادن لاروهای سن پنجم در معرض امواج فراصوت باعث شد تا طول عمر حشرات کامل پس از ۱ و ۲ هفته سرمادهی در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری (به حدود ۴ تا ۴/۵ روز در نرها و ۳/۲۵ تا ۴ روز در ماده‌ها) کاهش یابد و در حشرات

کامل ۳ و ۴ هفته سرمادیده به زیر ۲ روز برسد (جدول ۸).

اثر امواج‌دهی لاروهای سن پنجم (بر خلاف امواج‌دهی لاروهای سن اول) و اثر مدت زمان قرار داشتن حشرات کامل در معرض دمای پایین روی زادآوری حشرات کامل ظاهرشده معنی‌دار ولی اثر متقابل دو فاکتور غیرمعنی‌دار بود. طبق تجزیه واریانس داده‌ها با لحاظ کردن داده‌های تیمار شاهد، بین میانگین‌های زادآوری اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($F_{16,51}$=64.2819; P<0.001). قرار داشتن حشرات کامل در معرض دمای پایین حتی به مدت ۱ هفته، با تاثیرپذیری از امواج‌دهی قبلی لاروهای سن پنجم، زادآوری آن‌ها را نسبت به شاهد و با هم به طور معنی‌داری کاهش داد. ۸ روز قرار داشتن لاروهای سن پنجم در معرض امواج فراصوت باعث شد تا زادآوری حشرات کامل ظاهرشده در مقایسه با شاهد بیشتر کاهش یابد به طوری که در حشرات کامل ۴ هفته سرمادهی‌شده به طور معنی‌داری به ۵۲/۲۹ تخم/ ماده (حدود ۱۵ درصد شاهد) کاهش یافت (جدول ۸).

اثر مدت زمان قرار داشتن حشرات کامل در معرض دمای پایین روی تفریخ تخم‌های حشرات کامل ظاهرشده معنی‌دار بود. تجزیه واریانس داده‌ها با لحاظ کردن داده‌های تیمار شاهد نشان داد که بین میانگین‌های تفریخ تخم‌ها اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($F_{16,51}$=61.0942; P<0.001). قرار داشتن حشرات کامل به مدت ۳ و ۴ هفته در معرض دمای پایین، بدون تاثیرپذیری از قرار داشتن قبلی لاروهای سن پنجم در معرض امواج فراصوت، درصد تفریخ تخم‌های آن‌ها را (بدون دارا بودن اختلاف معنی‌دار با هم) نسبت به شاهد به طور معنی‌داری کاهش داد به طوری که باعث کاهش درصد تفریخ تخم‌ها به ترتیب به حدود ۶۴ و ۶۹ درصد شاهد شد (جدول ۸).

جدول ۸- مقایسه میانگین (± SE) طول عمر، زادآوری و درصد تفریخ تخم‌های شب‌پره مدیترانه‌ای آرد در حشرات کامل تیمارشده با دمای ٤ درجه سلسیوس و ظاهرشده از لاروهای سن پنجم قرار داشته در معرض امواج فراصوت

Table 8. Mean (±SE) of longevity, fecundity and egg hatchability in adult *Ephestia kuehniella* exposed to 4 °C temperature and emerged from 5th instars pre-exposed to ultrasonic waves

5th instar larvae pre-exposure time (day)	Adults exposure time (Week)	Adult longevity (day)		Fecundity (egg/female)	Egg hatchibility (%)
		Male	Female		
Control	-	9.24 ± 1.32 a	8.49 ± 1.67 a	350.24 ± 22.61 a	87.29 ± 10.31 a
2	1	8.34 ± 1.12 a	8.25 ± 1.26 a	291.44 ± 20.64 b	84.74 ± 8.38 a
	2	8.84 ± 1.79 a	7.67 ± 1.84 a	215.84 ± 21.32 c	85.38 ± 9.64 a
	3	4.25 ± 0.74 b	4.13 ± 0.46 b	136.72 ± 18.42 d	51.64 ± 6.79 b
	4	2.12 ± 0.28 b	2.32 ± 0.14 b	98.58 ± 12.62 e	59.58 ± 7.67 b
4	1	7.89 ± 1.11 a	9.15 ± 1.25 a	301.84 ± 18.64 b	90.42 ± 8.76 a
	2	9.32 ± 1.22 a	9.11 ± 1.44 a	228.76 ± 16.34 c	87.58 ± 10.90 a
	3	3.44 ± 0.28 b	3.66 ± 0.48 b	150.41 ± 17.69 d	58.67 ± 9.11 b
	4	2.45 ± 0.27 b	2.48 ± 0.23 b	105.66 ± 10.33 e	61.13 ± 8.53 b
6	1	8.87 ± 1.15 a	9.15 ± 1.25 a	277.76 ± 19.64 b	88.34 ± 9.83 a
	2	9.18 ± 1.33 a	9.11 ± 1.44 a	220.43 ± 16.90 c	91.20 ± 8.57 a
	3	4.08 ± 0.51 b	3.66 ± 0.48 b	135.76 ± 12.62 d	56.75 ± 8.41 b
	4	2.88 ± 0.26 c	2.48 ± 0.23 c	88.86 ± 10.17 e	58.15 ± 9.69 b
8	1	4.42 ± 0.64 b	4.01 ± 0.67 b	231.32 ± 18.73 c	87.79 ± 10.66 a
	2	4.28 ± 0.56 b	3.75 ± 0.35 b	135.66 ± 16.37 d	92.33 ± 11.92 a
	3	1.77 ± 0.21 d	1.15 ± 0.23 d	102.22 ± 14.78 e	60.12 ± 9.82 b
	4	1.18 ± 0.24 d	1.30 ± 0.19 d	52.29 ± 10.94 f	60.55 ± 8.67 b
5th instars pre-exposure to ultrasonic waves		$F_{3,48}$=1.8528 P=0.0245	$F_{3,48}$=1.6858 P=0.0274	$F_{3,48}$=1.6974 P=0.0226	$F_{3,48}$=0.4681 P=0.3374
Adult exposure to low temperature		$F_{3,48}$=61.5773 P<0.001	$F_{3,48}$=39.5942 P<0.001	$F_{3,48}$=43.5084 P<0.001	$F_{3,48}$=31.9271 P<0.001
5th instars pre-exposure × Adult exposure		$F_{9,48}$=0.7238 P=0.2842	$F_{9,48}$=1.0295 P=0.0843	$F_{9,48}$=0.2167 P=0.3846	$F_{9,48}$=0.3167 P=0.5167

In each column, mean values followed by different letters are significantly different (Tukey-HSD; α=0.05).

اثر امواج‌دهی شفیره‌ها و سرمادهی حشرات کامل ظاهرشده

اثر امواج‌دهی شفیره‌ها و نیز اثر مدت زمان قرار داشتن حشرات کامل در معرض دمای پایین روی طول عمر حشرات کامل نر و ماده معنی‌دار بود اما اثر متقابل در هر دو مورد غیرمعنی‌دار بود. تجزیه‌ی واریانس داده‌ها با لحاظ کردن داده‌های تیمار شاهد نیز نشان داد که بین میانگین‌های طول عمر حشرات کامل نر ($F_{16,51}$=67.6843; P<0.001) و ماده ($F_{16,51}$=55.2998; P<0.001) اختلاف معنی‌داری وجود داشت. به طور کلی، ۶ روز امواج‌دهی شفیره‌ها باعث شد تا طول عمر حشرات کامل ظاهرشده پس از ۴ هفته قراردهی آن‌ها در معرض دمای پایین، و ۸ روز امواج‌دهی شفیره‌ها باعث شد تا طول عمر حشرات کامل ظاهرشده پس از ۳ هفته قراردهی آن‌ها در معرض دمای پایین به زیر ۲ روز برسد (جدول ۹).

اثرات امواج‌دهی شفیره‌ها و مدت زمان قرار داشتن حشرات کامل در معرض دمای پایین روی زادآوری حشرات کامل ظاهرشده معنی‌دار اما اثر متقابل این دو فاکتور غیرمعنی‌دار بود. تجزیه واریانس با لحاظ کردن داده‌های تیمار شاهد نیز نشان داد که بین میانگین‌های زادآوری اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($F_{16,51}$=58.9284; P<0.001). طبق نتایج، میانگین‌های زادآوری حشرات کامل ظاهرشده از شفیره‌های ۲، ۴، ۶ و ۸ روز امواج‌دیده که به مدت ۱، ۲، ۳ و ۴ هفته در معرض دمای پایین قرار داده شده بودند، با میانگین شاهد و نیز با هم اختلاف معنی‌داری داشتند.

جدول ۹- مقایسه میانگین (SE ±) طول عمر، زادآوری و درصد تفریخ تخم‌های شب‌پره مدیترانه‌ای آرد در حشرات کامل تیمارشده با دمای ٤ درجه سلسیوس و ظاهرشده از شفیره‌های قرار داشته در معرض امواج فراصوت

Table 9. Mean (±SE) of longevity, fecundity and egg hatchability in adult *Ephestia kuehniella* exposed to 4 °C temperature and emerged from pupae pre-exposed to ultrasonic waves

Pupae pre-exposure time (day)	Adults exposure time (Week)	Adult longevity (day)		Fecundity (egg/female)	Egg hatchibility (%)
		Male	Female		
Control	-	10.35 ± 1.64 a	8.81 ± 1.67 a	334.68 ± 25.68 a	85.67 ± 11.28 a
2	1	8.64. ± 1.94 a	8.64 ± 1.40 a	281.37 ± 23.18 b	83.48 ± 9.19 a
	2	9.25 ± 1.34 a	9.08 ± 1.68 a	208.49 ± 19.76 c	90.67 ± 10.64 a
	3	4.88 ± 0.69 b	6.64 ± 0.89 b	118.67 ± 16.97 d	57.23 ± 7.81 b
	4	2.17 ± 0.33 c	2.28 ± 0.27 c	82.41 ± 11.17 e	55.45 ± 8.64 b
4	1	8.77 ± 1.49 a	7.88 ± 1.26 a	294.57 ± 22.75 b	88.58 ± 10.11 a
	2	9.37 ± 1.66 a	8.99 ± 1.47 a	215.61 ± 17.72 c	89.46 ± 8.26 a
	3	3.79 ± 0.55 b	3.89 ± 0.31 b	125.33 ± 15.60 d	53.17 ± 9.64 b
	4	2.31 ± 0.59 c	2.41 ± 0.40 c	88.33 ± 10.28 e	54.62 ± 8.73 b
6	1	3.85 ± 0.24 b	4.51 ± 0.87 b	210.54 ± 20.63 c	90.83 ± 10.43 a
	2	4.12 ± 0.43 b	4.12 ± 0.73 b	121.55 ± 13.89 d	85.75 ± 9.64 a
	3	2.25 ± 0.16 c	2.15 ± 0.50 c	76.64 ± 10.47 e	60.50 ± 8.41 b
	4	1.30 ± 0.12 d	1.26 ± 0.28 d	43.56 ± 8.55 f	59.59 ± 7.38 b
8	1	3.96 ± 0.47 b	4.36 ± 0.88 b	220.16 ± 19.84 c	91.08 ± 11.29 a
	2	4.35 ± 0.55 b	4.24 ± 0.64 b	125.66 ± 14.44 d	86.68 ± 10.88 a
	3	1.21 ± 0.16 d	1.30 ± 0.19 d	85.67 ± 13.48 e	58.16 ± 8.60 b
	4	1.32 ± 0.18 d	1.12 ± 0.17 d	48.37 ± 8.77 f	59.55 ± 9.13 b
Pupae pre-exposure to ultrasonic waves		$F_{3,48}$=1.9784 P=0.0221	$F_{3,48}$=2.0136 P=0.0168	$F_{3,48}$=1.3714 P=0.0423	$F_{3,48}$=0.6843 P=0.2794
Adult exposure to low temperature		$F_{3,48}$=58.2918 P<0.001	$F_{3,48}$=49.3147 P<0.001	$F_{3,48}$=32.2741 P<0.001	$F_{3,48}$=57.4092 P<0.001
Pupae pre-exposure × Adult exposure		$F_{9,48}$=0.5384 P=0.3643	$F_{9,48}$=1.0194 P=0.0862	$F_{9,48}$=0.8467 P=0.0749	$F_{9,48}$=0.3315 P=0.4925

In each column, mean values followed by different letters are significantly different (Tukey-HSD; α=0.05).

طبق نتایج، امواج‌دهی شفیره‌ها به مدت ۶ و ۸ روز و سپس قرار دادن حشرات کامل ظاهرشده به مدت ۳ هفته در معرض دمای ۴ درجه سلسیوس باعث کاهش زادآوری به حدود ۲۴ درصد شاهد، و بر اثر قرار دادن آن‌ها به مدت ۴ هفته در دمای پایین باعث کاهش زادآوری به حدود ۱۴ درصد شاهد شد (جدول ۹).

اثر مدت زمان قرار داشتن حشرات کامل در معرض دمای پایین روی تفریخ تخم‌های حشرات کامل ظاهرشده معنی‌دار بود. طبق نتایج تجزیه واریانس با لحاظ کردن داده‌های تیمار شاهد، بین میانگین‌های تفریخ تخم‌ها در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت ($F_{16,51}$=49.5892; P<0.001). قرار داشتن حشرات کامل ظاهرشده به مدت ۳ و ۴ هفته در معرض دمای پایین، بدون تاثیرپذیری از قرار داشتن قبلی شفیره‌ها در معرض امواج فراصوت، درصد تفریخ تخم‌های آن‌ها را نسبت به شاهد به طور معنی‌داری کاهش داد به طوری که قرار داشتن حشرات کامل به مدت ۳ و ۴ هفته در معرض دمای ۴ درجه سلسیوس در هر دو حالت باعث کاهش درصد تفریخ تخم‌ها به حدود ۶۷ درصد شاهد شد (جدول ۹).

بحث

روش‌های کنترل فیزیکی آفات انباری، یا به طور مستقیم ویژگی‌های مختلف و مهم زیستی آفات را تحت تاثیر قرار می‌دهند یا از طریق تغییر دادن شرایط زیست‌محیطی حشره باعث می‌شوند تا این ویژگی‌ها به طور غیرمستقیم تحت تاثیر قرار گیرند (Fields & Muir, 1996; Goncalves et al., 2004). دماهای پایین و امواج فراصوت دو عامل فیزیکی هستند که استفاده از آن دو برای کنترل آفات انباری مورد مطالعه و توجه بوده است.

طبق نتایج مطالعاتی که تا کنون در زمینه اثرات دماهای پایین روی زیست‌شناسی چند آفت انباری مهم انجام شده است، این دماها می‌توانند روی تعدادی از ویژگی‌های مهم نشوونمایی و تولید مثلی آن‌ها مانند نرخ نشوونما، تغذیه، زنده‌مانی و زادآوری تاثیر منفی بگذارند (Longstaff & Evans, 1983; Maharjan et al., 2017). در مورد اثرات کشندگی این دماها، گزارش‌های موجود نشان می‌دهند که مقادیر LT_{50} و LT_{95} با کاهش دما کاهش می‌یابند (Collins & Conyers, 2010; Loganathan et al., 2011). افزایش تلفات حشرات در اثر کاهش بیشتر دما (Andreadis et al., 2012; Maharjan et al., 2017; Tarusikirwa et al., 2020) و نیز در اثر گذشت زمان (Abdelghany et al., 2010; Andreadis et al., 2012; Tarusikirwa et al., 2020) از سایر نتایج گزارش‌شده می‌باشند. با وجود این، اثر آنتاگونیستی استفاده ترکیبی از دمای پایین (۴ درجه سلسیوس) و اسانس اکالیپتوس علیه شب‌پره مدیترانه‌ای آرد نیز گزارش شده است (Rajaei et al., 2021). برخی ویژگی‌های زیستی حشرات می‌توانند در کارایی دماهای پایین روی آن‌ها موثر باشند که از آن جمله می‌توان به اثر گونه (Johnson, 2007; Eliopoulos et al., 2011)، اثر مرحله نشوونمایی (Abdelghany et al., 2010; Loganathan et al., 2011; Eliopoulos et al., 2011; Andreadis et al., 2012; Darwish et al., 2015)، اثر طول عمر (Johnson & Wafford, 1991; Eliopoulos et al., 2011) و نیز اثر سازگاری به دماهای پایین (Evans et al., 1983; Fields, 1993; Williams et al., 2016) اشاره نمود.

فرکانس و شکل موج (Shams Salehi et al., 2016) و مدت زمان قرار داشتن در معرض امواج فراصوت از عوامل موثر در کارایی این امواج علیه حشرات می‌باشند (Ahmadi Moghadam et al., 2016). در تحقیقی روی شپشه قرمز آرد *Tribolium castaneum* Herbst، گزارش شده که اثر دو متغیر فرکانس و زمان روی قدرت

دورکنندگی، و اثر متغیر فرکانس روی جلب‌کنندگی این امواج معنی‌دار بود (Ahmadi Moghadam et al., 2016). برخی محققان با استناد به نتایج تحقیقات خود این گونه اظهار داشته‌اند که پتانسیل امواج فراصوت برای استفاده در مدیریت و کنترل آفات انباری قابل توجه می‌باشد (Huang et al., 2003; Ahmadi Moghadam et al., 2016; Shams Salehi et al., 2016). جمع‌بندی نتایج پژوهش حاضر نیز نشان می‌دهد که این امواج به دلیل تاثیرگذاری منفی روی برخی مراحل نشوونمایی و در نتیجه افزایش حساسیت حشرات کامل ظاهرشده به یک عامل کنترلی دیگر (دمای پایین ۴ درجه سلسیوس)، می‌توانند کارایی حشره‌کشی این عامل را به شکل معنی‌داری افزایش دهند. این گونه اثرات می‌توانند در هنگام استفاده از برخی آفتکش‌های زیست‌سازگار (مانند دماهای پایین، اسانس‌های گیاهی، خاک‌های دیاتومه و غیره) جهت رفع ویژگی‌های نامناسب آن‌ها، از جمله کنداثر بودن‌شان، مورد توجه قرار گیرند. لذا، نگاهی به انواع اثرات گزارش‌شده امواج فراصوت روی حشرات که پیشتر ذکر شدند (اثرات کشندگی و نیز اثرات منفی روی ویژگی‌های زیستی و تولید مثلی آن‌ها)، در تلفیق با نتایج بررسی حاضر، پتانسیل قابل توجه این امواج را در امر مبارزه با آفات انباری نشان می‌دهد.

طبق نتایج این پژوهش، پیش‌تیمار تخم‌های شب‌پره مدیترانه‌ای آرد با امواج فراصوت به مدت ۳ و ۴ روز باعث کاهش زمان‌های کشنده دمای پایین علیه آن‌ها شد. همچنین، پیش‌تیمار لاروهای سن اول و پنجم روی کاهش زمان‌های کشنده دمای پایین علیه حشرات کامل ظاهرشده تاثیری نداشت اما پیش‌تیمار شفیره‌ها به مدت ۸ روز و پیش‌تیمار متوالی مراحل نشوونمایی به مدت ۲۴، ۳۳ و ۴۰ روز باعث کاهش معنی‌دار زمان‌های کشنده دمای پایین علیه حشرات کامل شد. در تحقیقی روی همین گونه، مقادیر LT_{50} دمای ۴ درجه سلسیوس برای حشرات کامل نر و ماده به ترتیب ۱۴/۴۷ و ۱۰/۷۷ روز، و مقادیر LT_{95} نیز به ترتیب ۴۵/۱۷ و ۳۹/۳۸ روز برآورد شدند (Rajaei et al., 2021) که همانند نتایج بررسی حاضر، حساسیت بیشتر حشرات کامل ماده را به دمای پایین نشان می‌دهد. نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهند که اثر امواج فراصوت روی کارایی کشندگی دماهای پایین علیه حشرات کامل شب‌پره مدیترانه‌ای آرد می‌تواند به مرحله نشوونمایی تیمارشده با این امواج و همانند آنچه در مورد شپشه قرمز آرد گزارش شده (Ahmadi Moghadam et al., 2016)، به مدت زمان امواج‌دهی وابسته باشد. طبق این نتایج، تاثیر امواج فراصوت روی شفیره‌های این شب‌پره و طولانی شدن مدت زمان امواج‌دهی مراحل نارس باعث شد تا حشرات کامل ظاهرشده در برابر دمای پایین از تحمل کمتری برخوردار باشند. چون این اولین گزارش در این زمینه می‌باشد، بدیهی است که برای تایید یا رد نتایج حاضر و لذا اظهار نظر بهتر و قطعی‌تر در مورد دلایل بروز این تفاوت‌ها، تحقیقات بیش‌تری باید انجام شوند. به نظر می‌رسد که همانند دماهای پایین، عواملی مانند اثرات گونه، مرحله نشوونمایی، طول عمر و مدت زمان درمعرض‌گذاری روی کارایی امواج فراصوت تاثیرگذار هستند.

در این بررسی، دمای پایین اگر چه در نهایت باعث مرگ حشرات کامل شب‌پره مدیترانه‌ای آرد شد اما طول عمر آن‌ها را از حدود ۸ تا ۱۰ روز، بسته به نوع تیمار به حدود ۲۸ تا ۴۶ روز افزایش داد. این نتیجه توسط محققان دیگری نیز گزارش شده است (Johnson et al., 1997; Ayvaz & Karaborklu, 2008; Abdelghany et al., 2010; Loganathan et al., 2011; Eliopoulos et al., 2011; Jiao et al., 2013; Aldawood et al., 2013; Andreadis & Athanassiou, 2017; Rajaei et al., 2021). کاهش قابل توجه متابولیسم حشرات در دماهای پایین، یکی از علت‌های احتمالی افزایش طول عمر حشرات کامل در این دماها ذکر شده است. با وجود این، کاهش

متابولیسم که می‌تواند به گونه وابسته باشد، پس از مدت زمان معینی به دلیل عدم تامین نیازمندی‌های سلول‌ها به مقدار کافی به مرگ حشرات کامل منجر خواهد گردید (Rajaei et al., 2021). با وجود افزایش قابل توجه مدت زمان زنده‌مانی (طول عمر) حشرات کامل در اثر قرار داشتن در معرض دماهای پایین، چون آن‌ها کاملا بی‌حس و غیرفعال هستند لذا هیچ گونه افزایش جمعیت و در نتیجه افزایش خسارتی بر اثر این پدیده رخ نخواهد داد.

طبق نتایج تحقیق حاضر، اثر فاکتور پیش‌تیمار تخم‌ها یا لاروهای سن اول با امواج فراصوت روی طول عمر، زادآوری و درصد تفریخ تخم‌های حشرات کامل ظاهرشده غیرمعنی‌دار بود. هم‌چنین، اثر فاکتور امواج‌دهی لاروهای سن پنجم یا شفیره‌ها روی طول عمر و زادآوری معنی‌دار ولی روی تفریخ تخم‌ها غیرمعنی‌دار بود. در تمام موارد، اثر فاکتور سرمادهی حشرات کامل ظاهرشده روی این صفات معنی‌دار بود. این نتایج نیز اولین گزارش در مورد تاثیر پیش‌تیمار مراحل مختلف نشوونمایی یک حشره با امواج فراصوت و تاثیر آن روی چند ویژگی زیستی و تولید مثلی حشرات کامل ظاهر و قرار داده شده در معرض دمای پایین (۴ درجه سلسیوس) می‌باشند. این نتایج نشان می‌دهند که تاثیر امواج فراصوت روی این سه صفت بسته به مرحله نشوونمایی امواج‌دهی شده متفاوت است. تاثیراتی مانند کاهش انتقال اسپرم به ماده‌ها (Huang et al., 2003; Huang & Subramanyam, 2004)، و کاهش وزن لاروها (Huang et al., 2003; Huang & Subramanyam, 2004; Shams Salehi et al., 2016) و شفیره‌ها (Shams Salehi et al., 2016) در شب‌پره هندی و شب‌پره مدیترانه‌ای آرد گزارش شده‌اند. با وجود این، در یک تحقیق انجام شده، افزایش معنی‌دار تعداد کیسه‌های اسپرم نر، افزایش زادآوری، کاهش معنی‌دار تعداد شفیره تشکیل‌شده، و عدم تاثیر امواج فراصوت روی وزن لاروها و درصد ظهور حشرات کامل کرم غوزه پنبه گزارش شده‌اند (Zha et al., 2013). فرصت داشتن لاروهای سن اول برای جبران اثرات منفی امواج فراصوت در سنین بعدی را می‌توان یک عامل احتمالی مهم دانست که باعث شده تا زادآوری حشرات کامل ظاهرشده تحت تاثیر آن قرار نگیرد.

طبق نتایج، طول عمر حشرات کامل نر و ماده قرار داده شده در معرض دمای پایین پس از خروج آن‌ها از این شرایط، در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری کاهش یافت. این نتیجه در مورد شب‌پره مدیترانه‌ای آرد (Rajaei et al., 2021)، و بالتوری سبز *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Nadeem et al., 2014) نیز گزارش شده است. اظهار شده است که احتمالا صرف هزینه‌های متابولیسمی و منابع انرژی طی قرار داشتن در معرض دمای پایین جهت تحمل آن، به دلیل بروز اثرات منفی باعث کاهش طول عمر و زنده‌مانی حشرات کامل پس از یک دوره قرار داشتن در معرض دمای پایین شده است (Rajaei et al., 2021).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که دمای پایین باعث کاهش زادآوری و درصد تفریخ تخم‌های حشرات کامل سرمادهی‌شده گردید. کاهش زادآوری و درصد تفریخ تخم‌ها در حشرات کاملی که قبلا در معرض دماهای پایین قرار داشته‌اند، گزارش شده است (Tauber et al., 1993; Johnson et al., 1997; Ayvaz and Karaborklu, 2008; Aldawood et al., 2013; Rajaei et al., 2021). به طور کلی، گزارش شده که فعالیت‌های تولید مثلی و زادآوری حشرات در دماهای پایین‌تر از ۱۰ °C به شدت کاهش یافت (Armitage, 1987; Fields, 1992; Collins & Conyers, 2010). در یک بررسی (Ayvaz & Karaborklu, 2008)، حشرات کامل شب‌پره مدیترانه‌ای آرد که به مدت ۱۰ هفته در دمای ۱۰ درجه سلسیوس نگهداری شده و زنده مانده بودند، قادر به زادآوری نبودند. برخلاف نتیجه گزارش‌شده قبلی مبنی بر اثر آنتاگونیستی

استفاده ترکیبی از دمای پایین و اسانس اکالیپتوس (Rajaei et al., 2021)، استفاده همزمان از این دو عامل فیزیکی (دمای پایین و امواج فراصوت) می‌تواند در امر مبارزه با آفات انباری مورد توجه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری نهایی

استفاده از امواج فراصوت به عنوان یک عامل فیزیکی، علاوه بر این که به عنوان یک روش ایمن، بی‌ضرر و سازگار با محیط زیست شناخته می‌شود، روی حشرات کامل دارای اثرات دورکنندگی است. همچنین، این امواج روی ویژگی‌های زیستی و تولید مثلی حشرات تاثیراتی منفی مانند کاهش وزن لاروها و شفیره‌ها و کاهش طول عمر، زادآوری و درصد تفریخ تخم‌های حشرات کامل را بر جای می‌گذارند. یک روش فیزیکی دیگر یعنی استفاده از دماهای پایین نیز از اجزای سامانه مدیریت تلفیقی آفات انباری، به ویژه بال‌پولکداران حساس به این دماها، به شمار می‌رود. با توجه به کنداثر بودن تیمارهای دمای پایین، استفاده از دو یا چند عامل دیگر که از نظر زیست‌محیطی سالم باشند و بتوانند این محدودیت را برطرف نمایند، می‌تواند مد نظر قرار گیرد. طبق نتایج تحقیق حاضر، پیش‌تیمار برخی مراحل نشوونمایی شب‌پره مدیترانه‌ای آرد در معرض امواج فراصوت توانست در موارد قابل توجهی، اثرات منفی دمای ۴ درجه سلسیوس را روی حشرات کامل تشدید نماید. این نتیجه نشان می‌دهد که پیش‌تیمار مراحل نارس با امواج فراصوت یا به شکلی بهتر، استفاده هم‌زمان و ترکیبی از این دو عامل فیزیکی حشره‌کش، می‌تواند در مدیریت تلفیقی شب‌پره مدیترانه‌ای آرد و شب‌پره‌های مشابه آن مورد توجه قرار گیرد.

سپاس‌گزاری

مقاله حاضر ارایه‌کننده نتایج پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول می‌باشد. در انجام این تحقیق، از امکانات مالی و پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان استفاده شده که بدین وسیله تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

References

Abdelghany, A. Y., Awadalla, S. S., Abdel-Baky, N. F., El-Syrafi, 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.

Abudulai, M., Shepard, B. M., & Mitchell, P. L. (2001). Parasitism and predation on eggs of *Leptoglossus phyllopus* (L.) (Hemiptera: Coreidae) in cowpea: impact of endosulfan sprays. *Journal of Agricultural and Urban Entomology*, *18*(2), 105-115.

Ahmad, A., Subramanyam, B., & Zurek, L. (2007). Responses of mosquitoes and German cockroaches to ultrasound emitted from a random ultrasonic generating device. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 123(1), 25-33. https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2006.00519. x.

Ahmadi Moghaddam, P., Ravanbakhsh, A., & Komarizadeh, M. (2016). Evaluation of ultrasonic waves system in repellency of red beetle of flour (*Tribolium castaneum* Herbs). *Journal of Iranian Plant Protection Research*, *30*(1), 45-81. https://doi.org/10.22067/jpp. v30i1.33224 (In Farsi with English summary).

Aldawood, A. S., Rasool, K. G., Alrukban, A. H., Soffan, A., Husain, M., Sutanto, K. D., & Tufail, M. (2013). Effects of temperature on the development of *Ephestia cautella* (Walker) (Pyralidae: Lepidoptera): a case study for its possible control under storage conditions. *Pakistan Journal of Zoology*, *45*(6), 1573-1578.

Andreadis, S. S., & Athanassiou, C. (2017). A review of insect cold hardiness and its potential in stored product insect control. *Crop Protection*, *91*, 93-99. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.08.013.

Andreadis, S. S., Eliopoulos, P. A., & Savopoulou-Soultani, M. (2012). Cold hardiness of immature and adult stages of the Mediterranean flour moth, *Ephestia kuehniella*. *Journal of Stored Products Research*, *48*, 132-136. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2011.11.001.

Armitage, D. M. (1987). *Controlling insects by cooling grain*. Monograph-British Crop Protection Council.

Arthur, F. H. (1996). Grain protectants: current status and prospects for the future. *Journal of Stored Products Research*, *32*, 293-302. https://doi.org/10.1016/S0022-474X(96)00033-1.

Ayvaz, A., & Karabörklü, S. (2008). Effect of cold storage and different diets on *Ephestia kuehniella* Zeller (Lep: Pyralidae). *Journal of Pest Science*, *81*(1), 57-62. https://doi.org/ 10.1007/s10340-008-0192-2.

Bagheri-Zenouz, E. 2007. *Pest of stored products and management to maintain, biology of insects, acari and microorganisms* (1st ed.). University of Tehran Press. (In Farsi).

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.

Cerutti, F., Bigler, Eden, G., & Bosshart, S. (1992). Optimal larval density and quality control aspects in mass rearing of the Mediterranean flour moth, *Ephestia kuehniella* Zell. (Lep., Phycitidae). *Journal of Applied Entomology*, *114*(1-5), 353-361. https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1992.tb01139.x.

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.

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.

Eliopoulos, P., Prasodimou, G., & Pouliou, A. (2011). Time-mortality relationships of larvae and adults of grain beetles exposed to extreme cold. *Crop Protection*, *30*(8), 1097-1102. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.04.017

Evans, D., Thorpe, G., & Dermott, T. (1983). The disinfestation of wheat in a continuous-flow fluidized bed. *Journal of Stored Products Research*, *19*(3), 125-137. https://doi.org/ 10.1016/0022-474X(83)90044-9.

Fields, P. (1992). The control of stored-product insects and mites with extreme temperatures. *Journal of Stored Products Research*, *28*(2), 89-118. https://doi.org/10.1016/0022-474X(92) 90018-L.

Fields, P. (1993). Reduction of cold tolerance of stored-product insects by ice-nucleating-active bacteria. *Environmental Entomology*, *22*(2), 470-476. https://doi.org/10.1093/ee/22.2. 470.

Fields, P. (2001). Control of insects in post-harvest: low temperature. In C. Vincent, B. Panneton, & F. Fleurat-Lessard (Eds.), *Physical control methods in plant protection* (pp. 95-107). Berlin, Heidelberg.

Fields, P. G., & Muir, W. E. (1996). Physical control. In B. Subramanyam, & D. W. Hagstrum (Eds.), *Integrated management of insect in stored products* (pp. 195-221). Marcel Dekker Inc., New York.

Flinn, P. W., & Hagstrum, D. W. 1990. Simulations comparing the effectiveness of various stored-grain management practices used to control *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). *Environmental Entomology*, *19*(3), 725-729. https://doi.org/10.1093/ee/19.3. 725.

Fullard, J. H., & Yack, J. E. (1993). The evolutionary biology of insect hearing. *Trends in Ecology and Evolution*, *8*, 248-252. https://doi.org/10.1016/0169-5347(93)90200-9.

Gallego, F. J., Rodríguez-Gómez, A., Carmen Reche, M., Balanza, V., & Bielza P. (2022). Effect of the amount of *Ephestia kuehniella* eggs for rearing on development, survival, and reproduction of *Orius laevigatus*. *Insects*, *13*(250), 1-8. https://doi.org/10.3390/insects 13030250.

Goncalves, J. R., Farani, L. R., Guedes, R. N., & Deoliviea, G. R. (2004). Insecticide selectivity to the parasitic mite *Acarophenax lacunatus* (Prostigmata: Acarophenacidae) on *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrychidae). *Neotropical Entomology*, *33*(2), 243-248. https://doi. org/10.1590/S1519-566X2004000200016.

Gross, K. C., Wang, C. Y., & Saltveit, M. (2016). *The commercial storage of fruits, vegetables and florist and nursery stocks*. Agriculture Handbook (Washington). USDA.

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

Habashy, G. H. A., Abd El-Wahab, M. K., El-Deeb, M. A., & El-Gendy, H. A. (2018). Study of ultrasonic waves influence on *Spodoptera littoralis* biology. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, *45*(6B), 2433-2438. https://doi.org/10.21608/zjar.2018.47887.

Hagstrum, D. W., & Flinn, P. W. (2014). Modern stored-product insect pest management. *Journal of Plant Protection Research*, *54*(3), 205-210. https://doi.org/10.2478/jppr-2014-0031
Hoy, R. R., Nolen, T., & Brodfuehrer, P. (1989). The neuroethology of acoustic startle and escape in flying insects. *Journal of Experimental Biology*, *146*, 287-306. https://doi.org/10.1242/jeb.146.1.287.

Huang, F., & Subramanyam, B. (2004). Behavioral and reproductive effects of ultrasound on the Indian meal moth, *Plodia interpunctella*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, *113*, 157-164. https://doi.org/10.1111/j.0013-8703.2004.00217.x.

Huang, F., Subramanyam, B., & Taylor, R. (2003). Ultrasound affects spermatophore transfer, larval numbers, and larval weight of *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Stored Products Research*, *39*, 413-422. https://doi.org/10.1016/S0022-474X(02)00035-8.

Jasmine, P., & Smith, V. R. P. (2020). Effects of ultrasound waves on immature stages of *Aedes aegypti* (L.) mosquitoes. *Applied Ecology and Environmental Sciences*, *8*(5), 324-328. https://doi.org/10.12691/aees-8-5-21.

Jiao, S., Johnson, J. A., Tang, J., Mattinson, D.S., Fellman, J. K., Davenport, T. L., & Wang, S. (2013). Tolerance of codling moth, and apple quality associated with low pressure/low temperature treatments. *Postharvest Biology and Technology*, *85*, 136-140. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.06.001.

Johnson, J. A. (2007). Survival of Indian meal moth and navel orange worm (Lepidoptera: Pyralidae) at low temperatures. *Journal of Economic Entomology*, *100*(4), 1482-1488. https://doi.org/10.1603/0022-0493(2007)100[1482:SOIMAN]2.0.CO;2.

Johnson, J., Valero, K., & Hannel, M. (1997). Effect of low temperature storage on survival and reproduction of Indian meal moth (Lepidoptera: Pyralidae). *Crop Protection*, *16*(6), 519-523. https://doi.org/10.1016/S0261-2194(97)00037-9.

Johnson, J., & Wofford, P. (1991). Effects of age on response of eggs of Indian meal moth and navel orangeworm (Lepidoptera: Pyralidae) to subfreezing temperatures. *Journal of Economic Entomology*, *84*, 202-205. https://doi.org/10.1093/jee/84.1.202.

Koehler, P., Patterson, R., & Webb, J. (1986). Efficacy of ultrasound for German cockroach (*Blattella germanica*) (Orthoptera: Blattellidae) and oriental rat flea (*Xenopsylla cheopis*) (Siphonaptera: Pulicidae) control. *Journal of Economic Entomology*, *79*(4), 1027-1031. https://doi.org/10.1093/jee/79.4.1027.

Kumar, D., & Kalita, P. (2017). Reducing postharvest losses during storage of grain crops to strengthen food security in developing countries. *Foods*, *6*(1), 8. https://dx.doi.org/10.3390/foods6010008.

Lacefield, J. C. (2014). Physics of ultrasound. In D. R. Dance, S. Christofides, A. D. A. Maidment, I. D. McLean, & K. H. Ng (Eds.), *Diagnostic radiology physics: A handbook for teachers and students* (pp. 291-309). International Atomic Energy Agency.

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.

Longstaff, B. (1981). The manipulation of the population growth of a pest species: an analytical approach. *Journal of Applied Ecology*, *18*(3), 727-736. https://doi.org/10.2307/2402364.

Longstaff, B., & Evans, D. (1983). The demography of the rice weevil, *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae), submodels of age-specific survivorship and fecundity. *Bulletin of Entomological Research*, *73*(2), 333-334. https://doi.org/10.1017/S0007485300008920.

Maharjan, R., Yi, H., Young, Y., Jang, Y., Kim, Y., & Bae, S. (2017). Effects of low temperatures on the survival and development of *Callosobruchus chinensis* (L.) (Coleoptera: Bruchidae) under different storage durations. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, *20*, 893-900. https://doi.org/10.1016/J.ASPEN.2017.06.007.

Mankin, R. W. (2012). Applications of acoustics in insect pest management. *CAB Reviews*, *7*(001): 1-7. https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20127001.

Mason, L. J., & Strait, C. A. (1999). Stored product integrated pest management with extreme temperatures. In G.J. Hallman & D.L. Denlinger (Eds.), *Temperature sensitivity in insects and application in integrated pest management* (pp. 141-177). Routledge.

Nadeem, S., Hamed, M., Nadeem, M., & Hasnain, M. (2014). Effect of storage duration and low temperatures on reproductive characteristics of *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae). *Pakistan Journal of Zoology*, *46*(1), 31-35.

Nakakita, H., & Ikenaga, H. (1997). Action of low temperature on physiology of *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) in rice storage. *Journal of Stored Products Research*, *33*(1): 31-38. https://doi.org/10.1016/S0022-474X(96)00022-7

Okorie, P. N., Okareh, O. T., Adeleke, O., Falade, C. O., & Ademowo, O. G. (2015). Effects of an in-built ultrasonic device on *Anopheles gambiae* s.l mosquitoes in an indoor environment. *International Research Journal of Engineering Science, Technology and Innovation*, *4*(1), 5-11. https://doi.org/10.14303/irjesti.2015.074.

Rajaei, A., Yazdanian, M., & Asadeh, Gh. (2021). Lethal and sublethal effects of low temperature, alone and in combination with eucalyptus essential oil, against adult Mediterranean flour moth, *Ephestia kuehniella*. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 43*(4), 91-109. https://doi.org/10.22055/PPR.2021.16769 (In Farsi with English summary).

Robert, D. (1989). The auditory behaviour of flying locusts. *Journal of Experimental Biology*, *147*, 279-301. https://doi.org/10.1242/jeb.147.1.279

Robertson, J. L., Russell, R. M., Preisler, H. K., & Savin, N. E. (2017). *Bioassay with arthropods* (3rd ed.). Routledge.

Rodriguez, R. L., & Greenfield, M. D. (2004). Behavioral context regulates dual function of ultrasonic hearing in lesser wax moths: bat avoidance and pair formation. *Physiological Entomology, 29*, 159-168. https://doi.org/10.1111/j.1365-3032.2004.00380.x.

Shahriari, M., Sahebzadeh, N., & Zibaee, A. (2022). Biochemical response of Mediterranean flour moth, *Ephestia kuehniella* Zeller (Lep.: Pyralidae) to the toxicity of trans-anethole. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 45*(2): 121-136. https://doi/10.22055/ppr.2022.17573 (In Farsi with English summary).

Shams Salehi, S., Rajabpour, A., Rasekh, A., & Farkhari, M. (2016). Repellency and some biological effects of different ultrasonic waves on Mediterranean flour moth, *Ephestia kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Stored Products Research*, *69*, 14-21. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2016.05.002.

Skals, N., Plepys, D., El-sayed, A. M., Lofstedt, C., & Surlykke, A. (2003). Quantitative analysis of the effects of ultrasound from an odor sprayer on moth flight behavior. *Journal of Chemical Ecology*, *29*(1), 71-82. https://doi.org/10.1023/A:1021924529533.

Spangler, H. G., Greenfield, M. D., & Takessian, A. (1984). Ultrasonic mate calling in the lesser wax moth. *Physiological Entomology*, *9*(1), 87-95. https://doi.org/10.1111/j.1365-3032.1984.tb00684.x.

Stejskal V., Vendl T., Li Z., & Aulicky, R. (2019). Minimal thermal requirements for development and activity of stored product and food industry pests (Acari, Coleoptera, Lepidoptera, Psocoptera, Diptera and Blattodea): A Review. *Insects, 10*, 149. https://doi.org/10.3390/insects10050149.

Svensson, G. P., Skals, N., & Löfstedt, C. (2003). Disruption of the odour-mediated mating behaviour of *Plodia interpunctella* using high-frequency sound. *Entomologia Experimentalis et Applicata, 106*(3), 187-192. https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2003.00022.x.

Tadesse, M. (2020). Post-harvest loss of stored grain, its causes and reduction strategies. *Food Science and Quality Management, 96*, 26-35. https://doi.org/10.7176/FSQM/96-04.

Tarusikirwa, V. L., Mutamiswa, R., Chidawanyika, F., & Nyamukondiwa, C. (2020). Cold hardiness of the South American tomato pinworm *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae): both larvae and adults are chill-susceptible. *Pest Management Science*, *77*(1), 184-193. https://doi.org/10.1002/ps.6006.

Tauber, M., Tauber, C., & Gardescu, S. (1993). Prolonged storage of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Environmental Entomology*, *22*(4), 843-848. https://doi.org/10.1093/ee/22.4.843.

Williams, C. M., Szejner-Sigal, A., Morgan, T. J., Edison, A. S., Allison, D. B., & Hahn, D. A. 2016. Adaptation to low temperature exposure increases metabolic rates independently of growth rates. *Integrative and Comparative Biology*, *56*(1): 62-72. https://doi.org/10.1093/icb/icw009.

Yack, J., Scudder, G. G. E., & Fullard, J. H. (1999). Evolution of the metathoracic tympanal ear and its mesothoracic homologue in the Macrolepidoptera (Insecta). *Zoomorphology*, *119*, 93-103. https://doi.org/10.1007/s004350050084.

Yazdanian, M., Talebi-Chaichi, P. & Haddad Irani-Nezhad, K. (2005). The study of larval feeding behaviours, sexual dimorphism in larvae and pupae and different developmental stages of the Mediterranean flour moth, *Anagasta kuehniella* (Zeller). *Agricultural Science*, *14*(4), 51-67. (In Farsi with English summary).

Zha, Y. P., Chen, J. Y., Jin, Z. B., Wang, C. B., & Lei, C. L. (2013). Effects of ultrasound on the fecundity and development of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Agricultural and Urban Entomology*, *29*(1), 93-98. https://doi.org/10.3954/13-05.1.

Zha, Y. P., & Lei, C. L. (2012). Effects of ultrasound-stress on antioxidant enzyme activities of *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Agricultural and Urban Entomology*, *28*(1), 34-41. https://doi.org/10.3954/1523-5475-28.1.34.

Zha, Y. P., Xu, F., Chen, Q. C., & Lei, C. L. (2008). Effect of ultrasound on acetylcholine sterase activity in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Canadian Entomologist*, *140*(5), 563-568. https://doi.org/10.4039/n08-025.

© 2023 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)
45(4), Winter, 2023

10.22055/ppr.2023.18018

Pre-exposure of developmental stages of Mediterranean flour moth to ultrasonic waves and its effect on lethal and sublethal effects of low temperature

S. Zeytounli[1], M. Yazdanian[2*], V. Rahiminejhad[2]

1. M.Sc. Graduated 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@gau.ac.ir)

Received: 30 November 2022 Accepted: 15 January 2023

Abstract

Background and Objectives

Ultrasonic waves are mechanical waves that can adversely affect insects' biological and reproductive characteristics. On the other hand, low temperatures are regarded as a non-chemical and residue-free method for controlling stored-product insects because they affect the growth, development, population parameters, survival, reproduction, and various physiologic aspects of insects. In this research, due to the delayed effects of low temperatures, we examined the influence of pre-exposure of different developmental stages of the Mediterranean flour moth, *Ephestia kuehniella* Zeller, to ultrasonic waves on the lethal and sub-lethal effects of 4 °C temperature against emerged adults. The study's main goal was to mitigate the delayed effects of low temperatures.

Materials and Methods

All experiments were conducted at the Entomological Research Laboratory within the Department of Plant Protection at the Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. The insect utilized for the research was reared on wheat flour at room conditions. Ultrasonic waves (20-60 kHz) were applied to eggs, first- and fifth instar larvae, and pupae. In addition, the following developmental stages were continuously exposed to ultrasonic waves: 4 days: egg pre-exposure; 9 days: eggs and first-instar larvae; 14 days: eggs to second-instar larvae; 19 days: eggs to third-instar larvae; 24 days: eggs to fourth-instar larvae; 33 days: eggs to fifth-instar larvae; and 40 days: eggs, five larval instars, and pupae. After pre-exposure treatments, emerged adults were exposed to 4 °C. Furthermore, LT_{50} and LT_{95} values were estimated for adults. Moreover, the sublethal effects of low temperature on male and female longevity, the fecundity of newly-emerged adults, and the percentage of egg hatches were investigated.

Results

According to the results, pre-treatment of Mediterranean flour moth eggs with ultrasonic waves for 3 and 4 days significantly reduced the LT_{50} and LT_{95} of the exposed eggs when exposed to low temperature. In addition, pre-treatment of first and fifth instar larvae to ultrasonic waves did not reduce LTs of low temperature on emerged adults, whereas pre-treatment of pupae for eight days and consecutive pre-treatment of different developmental stages for 24, 33, and 40 days reduced LTs of low temperature significantly against emerged adults. In this study, although low temperature ultimately caused the death of adult insects, it increased the adults' longevity from 8-10 days up to 28-46 days. Furthermore, no significant effect of pre-treatment of eggs and first instar larvae with ultrasonic waves was observed on the longevity, fecundity and percentage of egg hatch of emerged adults. Moreover, pre-treatment of fifth instar larvae and pupae had a noticeable effect on adult longevity and fecundity, but did not affect egg hatchability. In all cases, pre-treatment of newly emerged adults with low temperature had a major effect on these traits. According to the findings, the longevity of male and female adults exposed to low temperature was significantly shorter than that of the control group following their release from these conditions. The results demonstrated that low temperature reduced pre-treated adult insects' fecundity and egg-hatching rate.

Discussion

The current study's findings amply demonstrated that pre-exposure of some developmental stages (for example, larvae and pupae) of the Mediterranean flour moth could reduce LTs of low temperatures against emerged adults while also increasing the negative effects of these temperatures on their longevity, fecundity, and percentage egg hatch. This observation can be used to control stored-product insect pests.

Keywords: Stored-products moth, Physical control, Lethal time, Reproductive effects

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

Citation: Zeytounli, S., Yazdanian, M. & Rahiminejhad, V. (2023). Pre-exposure of developmental stages of Mediterranean flour moth to ultrasonic waves and its effect on lethal and sublethal effects of low temperature. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, *45*(4), 83-105. https://doi.org/10.22055/ppr.2023.18018.