

تغییرات فصلی نقطه انجماد و تحمل به سرما در لاروهای بید چغندر قند *Scrobipalpa ocellatella* (Lepidoptera: Gelechiidae) در کرج

زهرا گنجی و سعید محرمی پور*

گروه حشره‌شناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: moharami@modares.ac.ir

Seasonal changes in supercooling point and cold tolerance in field collected larvae of the beet moth, *Scrobipalpa ocellatella* (Lepidoptera: Gelechiidae) in Karaj, Iran

Z. Ganji and S. Moharrampour

Department of Entomology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, P. O. Box: 14115-336, Tehran, Iran.

*Corresponding author, E-mail: moharami@modares.ac.ir, moharrampour@gmail.com

چکیده

بخشی از جمعیت بید چغندر قند *Scrobipalpa ocellatella* (Boyd) زمستان‌های سخت را به صورت لارو در بقایای چغندر و سایر پناهگاه‌های مناسب سپری می‌کند. به منظور مطالعه توانایی زمستان‌گذرانی این حشره، لاروهای سن آخر به صورت ماهیانه از شهریور تا اسفند ۱۳۹۰ جمع‌آوری شدند. تغییرات فصلی در شاخص‌های سرماسختی (نقطه انجماد و دمای حداقل کشنده) بید چغندر قند مورد مطالعه قرار گرفت. میانگین نقطه انجماد لاروهای بید چغندر قند جمع‌آوری شده از مزرعه بین $0/99 \pm -15$ تا $0/92 \pm -17/8$ درجه سلسیوس در نوسان بود. به علاوه حدود ۵۰ درصد از لاروهای جمع‌آوری شده در مهر ماه پس از ۲۴ ساعت قرار گرفتن در دمای $12 -$ درجه سلسیوس تلف شدند؛ این شاخص به تدریج کاهش یافته و در بهمن ماه به صفر رسید. دمای حداقل کشنده برای ۵۰ درصد افراد از $13/2 -$ درجه سلسیوس در مهر ماه به $16/4 -$ درجه سلسیوس در بهمن رسید. در تمام طول زمستان نقطه انجماد لاروهای زمستان‌گذران در ماه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری با هم نشان ندادند. این درحالی است که هم‌زمان با کاهش تدریجی دمای هوا، تحمل بید چغندر قند نسبت به سرما افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی: بید چغندر قند، *Scrobipalpa ocellatella*، تغییرات فصلی، نقطه انجماد، دمای حداقل کشنده

Abstract

A part of population of the beet moth, *Scrobipalpa ocellatella* (Boyd) in severe winter condition overwinters as larvae. In order to study overwintering potential of the pest, last instar larvae were collected monthly from September 2011 to March 2012. Seasonal changes in cold hardiness indices such as supercooling point (SCP) and lower lethal temperature of the beet moth were studied. The mean supercooling points of field collected larvae varied from -15.0 ± 0.99 to -17.8 ± 0.92 °C. Samples collected in October exhibited about 50% mortality, after 24 h exposure to -12 °C. It was gradually decrease until January (no mortality was observed) in January. Lethal temperature for 50% mortality (LT_{50}) decreased from -13.2 °C in October to -16.4 °C in January. Supercooling points of overwintering larvae thorough the winter did not change significantly; while during the gradual decrease in ambient temperature, cold tolerance of *S. ocellatella* is progressively increased.

Key words: beet moth, *Scrobipalpa ocellatella*, seasonal changes, supercooling point, lower lethal temperature

مقدمه

بندپایان می‌باشد که آن‌ها را برای ورود به فصل زمستان آماده می‌کند و با دماهای پایین و دوره نوری روز کوتاه فعال می‌شود (Horwath & Duman, 1982). به‌طور کلی دو نوع سرماسختی در بندپایان وجود دارد: سرماسختی سریع که واکنشی سریع در برابر کاهش دما است و سرماسختی تدریجی که سازگاری فصلی و بلندمدت به سرما (طی چند هفته تا چند ماه) می‌باشد و در بسیاری حشرات از تابستان تا زمستان رخ می‌دهد و مانع از آسیب سرما یا

یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده جمعیت حشرات، مواجه شدن با دماهای پایین در ماه‌های سرد سال می‌باشد؛ عدم سازگاری حشرات با شرایط نامناسب در زمستان، منجر به مرگ یا آسیب‌های جبران‌ناپذیر به فرآیندهای حیاتی حشره خواهد شد (Zhao, 1997). سرماسختی توانایی یک حشره برای افزایش سطح تحمل به سرما است و یک سازگاری فیزیولوژیکی مهم در

ریشه‌های باقی‌مانده در مزرعه می‌گذرانند، ولی چنانچه زمستان معتدل باشد به همه شکل دیده می‌شود و اگر زمستان خیلی سرد باشد تنها به صورت لاروهای کامل در لابه‌لای بوته‌ها و سرهای قطع شده چغندر و مغز دمبرگ‌ها باقی می‌مانند (Behdad, 1982). بررسی‌های فراوانی در زمینه زیست‌شناسی (Kheyri et al., 1980; Valich et al., 2005; Timus & Croitoru, 2006) کنترل شیمیایی، بیولوژیکی و کنترل تلفیقی (Saad & El-Abhrawi, 1977; Robert & Blaisinger, 1978; Marie, 2004; Sabry et al., 2011; Arnaudov et al., 2012) چغندر قند انجام شده است. با این حال، تاکنون میزان تحمل بید چغندر قند در دماهای پایین و تغییرات فصلی آن مورد مطالعه قرار نگرفته است. بنابراین، به منظور بررسی تغییرات فصلی سرماسختی بید چغندر قند، نقطه انجماد (SCP) و تحمل حشره به دماهای زیر صفر مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

داده‌های هواشناسی

جهت آگاهی از دمای مزرعه از اطلاعات نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (ایستگاه هواشناسی کشاورزی کرج واقع در دانشکده کشاورزی پردیس دانشگاه تهران) به مختصات $35^{\circ}48'23''$ شمالی و $50^{\circ}57'14''$ شرقی و ارتفاع $1292/9$ متر از سطح دریا استفاده شد.

جمع‌آوری نمونه

نمونه‌برداری از مزرعه‌ای در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند (ایستگاه تحقیقاتی مهندس سید عبدالرسول مطهری) به مختصات $35^{\circ}50'22.56''$ شمالی و $50^{\circ}51'58.68''$ شرقی و به ارتفاع 1253 متر از سطح دریا واقع در کمال شهر کرج انجام شد. نمونه‌ها به صورت ماهیانه از شهریور تا اسفند 1390 جمع‌آوری شد.

مرگ در دماهای پایین می‌شود (Leather et al., 1993). این نوع از سرماسختی در اثر کاهش تدریجی دمای هوا ایجاد شده و اثر طولانی مدت دارد. سازگاری به سرما همان‌طور که به تدریج به وجود می‌آید به تدریج نیز از بین می‌رود (Lee et al., 1987; Lee, 2010). حشرات از سازوکارهای گوناگون برای افزایش سرماسختی خود بهره می‌برند و به این ترتیب می‌توانند در دماهای پایین زنده بمانند (Lee, 1991; Danks, 1996; Bale, 2002). به‌طور کلی حشرات از دماهای زیر صفر به کمک دو راهکار عمده مصون می‌مانند: اجتناب از یخ‌زدگی و تحمل به یخ‌زدگی مایعات بدن. حشراتی که از راهکار اول بهره می‌برند حساس به یخ‌زدگی و آن‌ها که از راهکار دوم استفاده می‌کنند متحمل به یخ‌زدگی نامیده می‌شوند. حشرات متحمل به یخ‌زدگی، تشکیل بلورهای یخ در خارج سلول را تحمل می‌کنند، درحالی‌که این رویداد برای حشرات حساس به یخ‌زدگی کشنده است و این حشرات برای گریز از یخ‌زدن با سازوکارهای مختلف، توانایی فوق‌سرد شدن (supercooling capacity) خود را افزایش می‌دهند (Lee, 2010). راهکار سرماسختی در حشرات مختلف متفاوت است و از روی تغییر در شاخص‌هایی مانند نقطه انجماد (Supercooling point (SCP)) یا دماهای پایین‌کننده (lower lethal temperatures (LLTs)) تعیین می‌شود (Leather et al., 1993). نقطه انجماد، پایین‌ترین دما پیش از شروع تشکیل بلورهای یخ در مایعات بدن است که با آزاد شدن ناگهانی گرمای بدن همراه است (Lee, 1989).

بید چغندر قند یا لیتا *Scrobipalpa ocellatella* یکی از مهم‌ترین آفات چغندر می‌باشد که پراکنش جهانی داشته و از بسیاری کشورها گزارش شده است (Behdad, 1982). تعداد نسل این آفت بسته به شرایط آب و هوایی هر منطقه متفاوت و در ایران بین ۳ تا ۶ نسل در سال متغیر است (Kheyri et al., 1980). این آفت زمستان را به صورت لارو در بوته‌های چغندر قند و سر

می‌رساند و نمونه‌ها از آن خارج می‌شدند و وضعیت زنده ماندن آنها پس از اندازه‌گیری نقطه انجماد مورد بررسی قرار گرفت. در صورت وجود تردید در مورد مرده و یا زنده بودن لاروها از استریومیکروسکوپ استفاده می‌شد.

تعیین میزان تحمل لاروهای سن آخر به سرما

میزان تحمل لاروهای سن آخر بید چغندر قند در دماهای -۵، -۷، -۱۰، -۱۲، -۱۵، -۱۷، -۱۹ و -۲۱- درجه سلسیوس مورد مطالعه قرار گرفت تا بتوان میزان مرگ‌ومیر تقریبی در حدود ۱۰ تا ۹۰ درصد را به دست آورد. برای هر دما ۴ تکرار در نظر گرفته شد. از لوله‌های آزمایش ۱۵ میلی-لیتری برای انجام این آزمایش استفاده شد. جهت جدا نگاه داشتن لاروها از یکدیگر و جذب رطوبت احتمالی از سطح بدن لاروها، در هر لوله آزمایش یک تکه دستمال کاغذی خشک قرار داده شد. در هر تکرار با توجه به میزان آلودگی آن ماه، بین ۴ تا ۱۰ حشره استفاده شد. برای رسیدن به دمای مطلوب از دستگاه سردکننده قابل برنامه‌ریزی استفاده گردید و دمای دستگاه از ۲۰+ درجه سلسیوس تا دمای موردنظر با سرعت ۰/۵ درجه در دقیقه سرد شد و لاروها به مدت مشخص (۲ و ۲۴ ساعت) در آن دما نگهداری و سپس با همان سرعت به دمای ۲۰ درجه سلسیوس بازگشته و ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه (حدود ۲۵ درجه سلسیوس) نگهداری و پس از این مدت از نظر زنده ماندن بررسی شدند. لازم به ذکر است که ملاک زنده بودن لارو مشاهده هر گونه حرکت لارو مانند تکان دادن ضمایم بدن و ضربان قلب در زیر استریومیکروسکوپ بود. در صورت تردید در خصوص زنده بودن حشرات، از قلم‌موی نرم به‌عنوان محرک استفاده شد.

تعیین دمای حداقل کشنده Lower Lethal Temperature (LLT)

از داده‌های به دست آمده از آزمایش‌های تحمل لاروها به سرما (۲۴ ساعت سرمادهی) برای محاسبه

سر ریشه‌های چغندر قند به‌همراه طوقه و برگ‌ها توسط بیل باغبانی جدا شده و در گونی‌های کنفی جمع‌آوری شدند. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه فیزیولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس منتقل شد. به‌منظور حفظ شرایط طبیعی، نمونه‌ها در طی انجام آزمایش‌ها در دمای محیط و بیرون از آزمایشگاه نگهداری می‌شدند. پس از شکافتن پوست ریشه و دمبرگ‌ها و بررسی برگ‌های لوله شده چغندر قند، اقدام به جمع‌آوری لاروها از محل‌های تغذیه می‌شد. لاروها با کمک قلم‌موی نرم به پتری‌دیش حاوی دستمال کاغذی خشک منتقل می‌شدند. استفاده از دستمال کاغذی به‌منظور خشک نمودن سطح بدن لاروها (جهت جلوگیری از القای یخ‌زدگی) صورت می‌گرفت. در طول مدت جداسازی نمونه، برگ چغندر قند در اختیار حشرات قرار می‌گرفت.

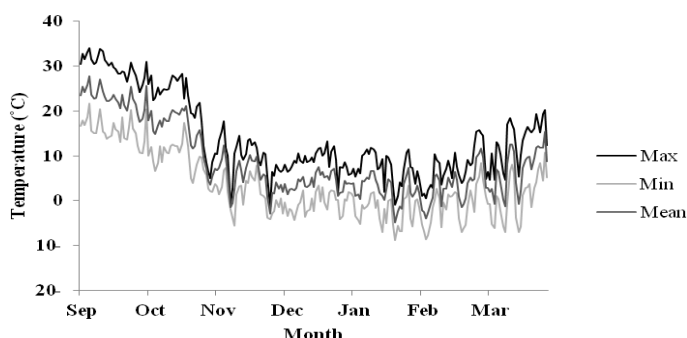
تعیین نقطه انجماد

نقطه انجماد نمونه‌های جمع‌آوری شده از مزرعه به روش *Khani et al. (2007)* تعیین شد. به‌طور معمول در هر ماه، نقطه انجماد حدود ۲۰ عدد لارو اندازه‌گیری شد. به این ترتیب که حسگر جنس نیکل-کروم دستگاه ثبت‌کننده دما (Testo, model 177-T4, Germany) در تماس با سطح شکمی لاروهای سن آخر قرار داده شد و در محل خود تثبیت گردید و سپس به دستگاه سردکننده قابل برنامه‌ریزی (Binder, model MK53, Germany) منتقل شدند. دمای این دستگاه به‌نحوی برنامه‌ریزی شد که از ۲۰+ تا ۳۰- درجه سلسیوس با سرعت تقریبی ۰/۵ درجه سلسیوس در دقیقه به‌تدریج سرد شود و طی این مدت هر ۳ ثانیه دمای بدن حشره توسط دستگاه دمایی Testo Comfort-Software Basic ثبت شد. نقطه‌ای که پس از آن، افزایش سریع دما به‌علت آزاد شدن گرمای درونی رخ می‌دهد، به‌عنوان نقطه انجماد منظور شد (Lee, 2010). سپس دستگاه به شکل معکوس دما را به ۲۰+ درجه سلسیوس

نیز حدود ۸ درجه کاهش داشت و به ۵/۶- درجه سلسیوس رسید. پس از آن تا آذر و دی ماه کاهش جزئی (به ترتیب ۱ و ۲ درجه) در دمای هوا، روی داد. حداقل مطلق دمای آذر ماه ۴/۴- درجه سلسیوس ثبت شد. میانگین دمای دو ماه دی و بهمن ۲/۶ درجه سلسیوس گزارش شد. حداقل مطلق دمای ثبت شده در دی و بهمن ماه برابر با ۸/۸- درجه سلسیوس بود. پس از آن تا اسفند ماه افزایش دمای هوا روی داد و میانگین دمای هوا و حداقل مطلق دما به ترتیب به ۷/۱ و ۷- درجه سلسیوس رسید (شکل ۱).

نقطه انجماد (SCP) بدن لاروها

با این که بیشینه و کمینه SCP در ماه‌های مختلف به ترتیب از ۶- تا ۲۵- درجه سلسیوس در بین افراد جمعیت مشاهده شد، اما میانگین SCP در ماه‌های مختلف، بین ۱۵- و ۱۸- درجه سلسیوس در نوسان بود و از روند خاصی پیروی نکرد. بین نقطه انجماد شهریور تا اسفند ماه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($F = 0.736$; $df = 5.94$; $P = 0.598$) (شکل ۲). با این وجود پایین‌ترین میزان SCP در آذر ماه (۱۷/۸- درجه سلسیوس) مشاهده شد. نمودار جعبه‌ای نقطه انجماد ماهیانه در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۱- تغییرات کمینه، میانگین و بیشینه دمای روزانه در نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به محل نمونه‌برداری از شهریور تا اسفند سال ۱۳۹۰.

Fig. 1. Seasonal changes in minimum, mean and maximum air temperatures at the nearest weather station to collection site from September 2011 to March 2012.

دماهای پایین‌کننده به ترتیب برای مرگ‌ومیر ۵۰ و ۸۰ درصد از جمعیت (LT_{50} و LT_{80}) استفاده شد. مقادیر فوق به کمک معادله رگرسیونی مدل لجیستیک (Binary Logistic)، محاسبه شد (Saeidi *et al.*, 2012).

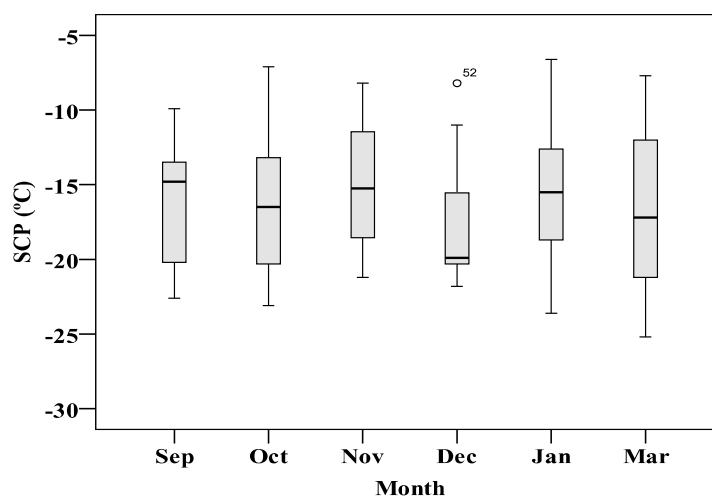
تجزیه آماری

اطلاعات به دست آمده به صورت میانگین \pm خطای معیار گزارش شدند. تجزیه داده‌ها بعد از نرمال کردن از معادله $(X/100)^{-0.5}$ Arcsine با کمک آزمون (Independent samples t-test) و تجزیه واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) انجام شد و مقایسه میانگین داده‌های مختلف با کمک آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد و با استفاده از نرم‌افزار (SPSS 18.0 (SPSS Inc., 2009) انجام شد.

نتایج

داده‌های هواشناسی

میانگین دمای هوا در شهریور ماه، حدود ۲۲ درجه سلسیوس بود. این دما در مهر ماه به ۱۵/۷ درجه سلسیوس رسید و حداقل مطلق دما در این دو ماه به ترتیب ۱۰/۶ و ۲ درجه سلسیوس ثبت شد. در آبان ماه شاهد کاهش شدید دمای هوا (۱۰ درجه سلسیوس) بودیم و دمای آبان ماه به ۵/۷ درجه سلسیوس و حداقل مطلق دما



شکل ۲- تغییرات نقطه انجماد (SCP) در لاروهای سن بید چغندر قند جمع‌آوری شده در ماه‌های شهریور تا اسفند ۱۳۹۰. **Fig. 2.** Supercooling point variation fluctuation in last instar larvae of *Scrobipalpa ocellatella* collected from September 2011 to March 2012.

بین دو ماه بهمن و اسفند اختلاف معنی‌دار مشاهده شد ($F = 5.017$; $df = 3,12$; $P < 0.05$) درصد مرگ‌ومیر لاروهای سن آخر بید چغندر قند از مهر تا اسفند ماه سال ۱۳۹۰ در جدول ۱ گزارش شده است. بین ۲ و ۲۴ ساعت سرمادهی اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد؛ به غیر از دمای ۱۷- درجه سلسیوس در آذر ماه که در ۲ ساعت سرمادهی تنها ۱۲ درصد مرگ‌ومیر، درحالی‌که در ۲۴ ساعت سرمادهی حدود ۶۰ درصد مرگ‌ومیر مشاهده شد ($t = -2.931$, $df = 6$, $P < 0.05$).

دمای حداقل کشنده

دمای حداقل کشنده برای مرگ‌ومیر ۵۰ و ۸۰ درصد (به ترتیب LT_{50} و LT_{80}) از جمعیت لاروهای سن آخر زمستان‌گذران بید چغندر قند از مهر تا اسفند تغییرات فصلی قابل توجهی نشان داد. دمای حداقل کشنده برای ۵۰ درصد از افراد جمعیت (LT_{50}) در مهر ماه ۱۳/۲- درجه سلسیوس محاسبه شد که ۳ درجه سلسیوس از میانگین نقطه انجماد همان ماه بیشتر است. این دما در بهمن ماه به ۱۶/۴- درجه سلسیوس رسید (حدود یک درجه سلسیوس

تحمل به سرما

میزان تحمل افراد به دماهای زیر صفر درجه سلسیوس در ابتدای پاییز در کمترین میزان خود بود. پس از آن به تدریج به مقاومت افراد افزوده شده و در اواسط زمستان به بیشترین میزان رسید. سپس همزمان با افزایش دمای هوا از تحمل کاسته شد. در آزمایش‌های انجام شده، هیچ مرگ‌ومیری در دمای ۵- درجه سلسیوس رخ نداد. در آذر و بهمن ماه با افزایش تحمل به سرما همه لاروها ۲۴ ساعت دمای ۷- درجه سلسیوس را تحمل کردند. میزان تحمل لاروهای سن آخر از مهر تا بهمن افزایش یافت. به نحوی که در ماه مهر نیمی از لاروهای آزمایش شده در تیمار ۲۴ ساعته دمای ۱۲- درجه سلسیوس تلف شدند، درحالی‌که در بهمن همه لاروها در این دما زنده ماندند. پس از آن در میزان تحمل به سرما کاهش مشاهده شد و در اسفند ۵۰ درصد مرگ‌ومیر در دمای ۱۲- درجه سلسیوس روی داد.

بین میزان تحمل لاروهای سن آخر ماه‌های مختلف پس از ۲۴ ساعت قرار گرفتن در دماهای ۵-، ۷- و ۱۰- درجه سلسیوس اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. در میزان تحمل لاروهای سن آخر به دمای ۱۲- درجه سلسیوس

کمتر از میانگین نقطه انجماد همان ماه). بنابراین ۵۰ درصد از افراد جمعیت در این ماه دماهای نزدیک به SCP خود را تحمل کرده‌اند. در اسفند ماه LT_{50} افزایش جزئی داشت (۱۵/۹- درجه سلسیوس) که نشان‌دهنده کاهش تحمل به سرما است. نتایج در جدول ۱- درصد مرگ‌ومیر لاروهای سن آخر بید چغندر قند، بید چغندر قند در دماهای ۵- تا ۲۱- درجه سلسیوس از شهریور تا اسفند ماه ۱۳۹۰.

جدول ۲- میانگین نقطه انجماد، دمای حداقل کشنده (LT_{80} و LT_{50}) و حدود اطمینان بالا و پایین آن‌ها در لاروهای سن آخر بید چغندر قند از شهریور تا اسفند ۱۳۹۰.

Table 1. Mortality rate in last instar larvae of the beet moth, *Scrobipalpa ocellatella* (-5 to -21 °C) from September 2011 to March 2012.

Exposure time (h)	Temperature (°C)	% Mortality				
		October	November	December	January	March
24	-5	0	0	0	0	NT
	-7	12.5	25.0	0	0	NT
	-10	31.3	31.3	29.2	0	NT
	-12	50.0	31.3	25.0	0	50.0
	-15	56.3	43.8	62.5	43.8	25.0
	-17	68.8	87.5	62.5	60.4	58.3
	-19	93.8	NT	93.8	62.5	83.3
2	-21	NT	NT	NT	93.8	NT
	-12	50.0	NT	NT	NT	NT
	-15	NT	35.4	50.0	43.8	NT
	-17	NT	45.8	12.0	52.5	NT
	-19	NT	NT	81.3	65.6	NT
	-21	NT	NT	NT	93.8	NT

NT: not tested.

جدول ۲- میانگین نقطه انجماد، دمای حداقل کشنده (LT_{80} و LT_{50}) و حدود اطمینان بالا و پایین آن‌ها در لاروهای سن آخر بید چغندر قند از شهریور تا اسفند ۱۳۹۰.

Table 2. Mean SCP, lower lethal temperature (LT_{50} and LT_{80}) values and their lower and upper confidence limits in last instar larvae of the beet moth from September 2011 to March 2012.

Months	n	SCP ± SE (°C) ¹	n	LT_{50} (Lower, Upper) (°C / 24 h) ^{2,3}	LT_{80} (Lower, Upper) (°C / 24 h) ^{2,3}
September	10	-15.9 ± 1.29		NT	NT
October	13	-16.3 ± 1.46	94	-13.2 (-13.3, -13.0) a	-17.4 (-19.7, -16.4) a
November	20	-15.0 ± 0.99	92	-14.5 (-16.9, -13.8) b	-20.3 (-29.6, -17.6) b
December	20	-17.8 ± 0.92	81	-14.3 (-14.3, -14.1) b	-17.7 (-19.7, -16.8) a
January	15	-15.7 ± 1.03	81	-16.4 (-16.4, -16.3) d	-19.3 (-21.3, -18.5) a
March	22	-16.5 ± 1.19	42	-15.9 (-16.0, -15.2) c	-19.2 (-24.5, -18.0) a

NT: not tested.

¹ There was no significant difference among means ($F = 0.736$; $df = 5, 94$; $P = 0.598$).

² 95% lower and upper confidence limits are shown in parenthesis.

³ Values followed by the same letters in a column are not significantly different if their 95% confidence intervals overlap.

بحث

میزان تحمل لاروهای سن آخر بید چغندر قند در تمامی ماه‌های مورد مطالعه، به مدت ۲۴ ساعت در دماهای زیر صفر درجه سلسیوس بررسی شد. همچنین، علاوه بر ۲۴ ساعت، زنده‌مانی حشرات پس از ۲ ساعت سرمادهی نیز بررسی شد. این آزمایش به منظور مطالعه اثر مدت سرمادهی بر میزان تحمل حشرات صورت گرفت. در مطالعات بسیاری، برای تعیین سرماسختی، حشرات به مدت ۲۴ ساعت در دماهای زیر صفر قرار می‌گیرند (Coyle et al., 2011; Bemani et al., 2012; Kawarasaki et al., 2013). همچنین میزان توانایی حشرات مختلف پس از ۲ ساعت سرمادهی مورد بررسی قرار گرفته است (Bennett & Lee, 1989; Lu et al., 2012; Nguyen et al., 2014). درصد مرگومیر لاروهای بید چغندر قند در ۲ و ۲۴ ساعت سرمادهی تقریباً برابر بود. با توجه به نتایج ۲ و ۲۴ ساعت سرمادهی به لاروهای بید چغندر قند می‌توان گفت که زمان سرمادهی (۲ تا ۲۴ ساعت) تأثیری در نرخ زنده‌مانی لاروها نداشته است. دمای کشنده برای ۵۰ درصد از افراد جمعیت (LT_{50}) از $13/2$ - درجه در مهر ماه به $16/4$ - درجه سلسیوس در بهمن رسید. این در شرایطی است که میانگین دمای ماهیانه بسیار بالاتر و حدود ۴ درجه سلسیوس بود. در سه ماه مهر، آبان و آذر تنها یک سوم (۳۰ درصد) از افراد جمعیت پس از ۲۴ ساعت قرار گرفتن در دمای 10 - درجه سلسیوس از بین رفتند. این در حالی است که پایین‌ترین دمایی که حشرات در پاییز و زمستان سال ۱۳۹۰ تجربه نمودند، $8/8$ - درجه سلسیوس بود و به نظر نمی‌رسد تهدید جدی برای لاروهای زمستان‌گذران این حشره محسوب شود.

در مهر ماه، دمای LT_{50} نسبتاً بالاتر از میانگین نقطه انجماد بود. در ماه‌های بعد فاصله LT_{50} و نقطه انجماد، با افزایش تحمل به تدریج کاسته شد تا جایی که تقریباً برابر شدند و در این شرایط آسیب دماهای پایین به حداقل می‌رسد. بسیاری از حشرات پیش از یخ‌زدن مایعات بدن می‌میرند و دچار مرگ پیش از یخ‌زدگی می‌شوند (Baust & Rojas, 1985; Bale, 1987; Bale, 1996). محاسبه مرگومیر ۵۰ درصد از افراد، شاخص مناسبی برای میزان تحمل حشره نسبت به دماهای پایین و تعیین استراتژی یا راهکار سرماسختی است و کمترین خطا در آن مشاهده می‌شود (Turnock & Fields, 2005). نزدیک شدن دمای LT_{50} به نقطه انجماد بیانگر افزایش میزان تحمل و کاهش امکان مرگ پیش از یخ‌زدگی است. با افزایش میزان تحمل، لاروهای بید چغندر قند قادر بودند دماهای نزدیک به SCP خود را تحمل کنند و به این ترتیب به بیشترین میزان تحمل خود رسیدند. بنابر این براساس طبقه‌بندی Bale (1996) به نظر می‌رسد که لاروهای بید چغندر قند از راهکار حساس به یخ‌زدگی بهره می‌برد. با افزایش تدریجی دمای هوا از میزان تحمل لاروهای زمستان-گذران کاسته شد؛ درحالی که توانایی سرماسختی به وجود آمده به طور کامل از بین نرفت و با وجود روند کاهشی میزان تحمل، حشرات در اوایل بهار مقاوم‌تر از حشرات ابتدای پاییز بودند. سازوکار سرماسختی و سازگاری به سرما، همان‌طور که به تدریج به وجود می‌آید، به تدریج نیز از بین می‌رود و حتی حشرات در فصل بهار هم‌چنان قابلیت سرماسختی دارند. این موضوع به نفع حشرات تمام می‌شود؛ زیرا در فصل بهار امکان افت ناگهانی دمای هوا وجود دارد. این مقاومت در مواجه شدن با کاهش دمای ناگهانی که در بهار ممکن است روی دهد، به یاری حشره می‌آید. حال آن‌که اگر به محض افزایش دمای هوا، سازگاری‌های به-

گرفته شوند (Van Lenteren *et al.*, 2006). نقطه انجماد حشرات مختلف حتی گونه‌های مناطق قطبی، پایین‌تر از حداقل مطلق دمای هواست که در زمستان تجربه می‌کنند (Bale, 2002; Clark & Worland, 2008). برای بیشتر حشرات ساکن مناطق معتدل، خطر آسیب سرما بیشتر از آسیب یخ‌زدگی است و مرگ در دماهای بالاتر از نقطه انجماد روی می‌دهد (Bale, 2002). بنابراین، علاوه بر نقطه انجماد، دما و زمان حداقل کشنده به‌عنوان شاخص‌های تحمل به سرما مورد مطالعه قرار می‌گیرند (Watanabe, 2002). در این مطالعه، حشره به‌مدت ۲۴ ساعت در معرض دماهایی قرار گرفت که بسیار پایین‌تر از حداقل مطلق دما در شرایط طبیعی است. بدین معنی که دماهای فوق بسیار پایین‌تر از دماهایی است که ممکن است حشره آن را در طبیعت تجربه نماید. لذا هدف از این مطالعه، بررسی حداکثر توان بید چغندر قند برای تحمل دماهای زیر صفر درجه بود. نتایج ما نشان داد که لاروهای زمستان‌گذران از پتانسیل بالایی برای تحمل دماهای زیر صفر برخوردارند. بید چغندر قند نه تنها دماهای پایین در زمستان کرج را به‌خوبی تحمل می‌نماید، بلکه نقطه انجماد پایین این حشره، زنده ماندن در دماهای زیر صفر به‌مدت طولانی را امکان‌پذیر می‌سازد. علاوه بر این، لاروهای بید چغندر قند درون بقایای چغندر پس از برداشت و یا درون چغندره‌های برداشت نشده در مزرعه زمستان‌گذرانی می‌کنند که تا حد زیادی موجب محافظت آن‌ها از دماهای پایین کشنده می‌شود.

دست آمده از بین برود حشره ممکن است با شوک سرما مواجه شود (Sømme, 1999). معمولاً در حشرات حساس به یخ‌زدگی با افزایش سرماسختی، SCP کاهش می‌یابد (Lee, 2010). اما چنین رابطه‌ای در لاروهای زمستان‌گذران بید چغندر قند مشاهده نشد. این امر یعنی افزایش تحمل به سرما بدون کاهش معنی‌دار در SCP در تعدادی از حشرات مانند پروانه ساقه‌خوار نیشکر *Sesamia nonagrioides* Lef و کرم خوشه‌خوار سیب *Epiphyas postvittana* (Walker) انگور *Lobesia botrana* (Denis and Schiffermüller) گزارش شده است (Gillyboeuf *et al.*, 1994; Andreadis *et al.*, 2005; Bürgi & Mills, 2010). تنوع فراونی در نقطه انجماد (۸/۵- تا ۱۶/۸- درجه سلسیوس) در شب‌پره *Adoxophyes orana* (Fischer von Roslerstamm) که زمستان را به‌صورت سنین مختلف لاروی سپری می‌کند، گزارش شده است (Jo & Kim, 2001). همچنین، نقطه انجماد در مگس ریشه کلم در تمام طول سال تقریباً بدون تغییر باقی می‌ماند، درحالی‌که میزان تحمل این حشره در پاسخ به دماهای پایین در زمستان افزایش می‌یابد (Košťál & Šimek, 1995). نتایج مشابه با داده‌های این مطالعه، برای کرم سرخ پنبه، *Pectinophora gossypiella* (Walker) از خانواده Gelechiidae گزارش شده و میانگین نقطه انجماد طی زمستان بین ۱۴/۶- تا ۱۷/۱- درجه سلسیوس بوده است (Kalsta *et al.*, 2006). تحمل به سرما با شاخص‌های گوناگونی سنجیده می‌شود که بهتر است در مجموع و نه به‌تنهایی در نظر

منابع

- Andreadis, S. S., Milonas, P. G. & Savopoulou-Soultani, M. (2005) Cold hardiness of diapausing and non-diapausing pupae of the European grapevine moth, *Lobesia botrana*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 117, 113-118.
- Arnauvov, V., Raykov, S., Davidova, R., Hristov, H., Vasilev, V. & Petkov, P. (2012) Monitoring of pest populations: an important element of integrated pest management of field crops. *Agricultural Science and Technology* 4 (1), 77-80.

- Bale, J. S.** (1987) Insect cold hardiness: freezing and supercooling - an ecophysiological perspective. *Journal of insect physiology* 33, 899-908.
- Bale, J. S.** (1993) Classes of insect cold hardiness. *Functional Ecology* 7, 751-753.
- Bale, J. S.** (1996) Insect cold hardiness: A matter of life and death. *European Journal of Entomology* 93, 369-382.
- Bale, J. S.** (2002) Insects and low temperatures: from molecular biology to distributions and abundance. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 357, 849-861.
- Baust, J. G. & Rojas, R. R.** (1985) Insect cold hardiness: facts and fancy. *Journal of Insect Physiology* 31, 755-759.
- Behdad, E.** (1982) *Pests of field crops in Iran*. 589 pp. Neshat, Esfahan, Iran. [In Persian].
- Bemani, M., Izadi, H., Mahdian, K., Khani, A. & Amin Samih, M.** (2012) Study on the physiology of diapause, cold hardiness and supercooling point of overwintering pupae of the pistachio fruit hull borer, *Arimania comaroffi*. *Journal of Insect Physiology* 58, 897-902.
- Bennett, L. E. & Lee, R. E.** (1989) Simulated winter to summer transition in diapausing adults of the lady beetle (*Hippodamia convergens*): supercooling point is not indicative of cold-hardiness. *Physiological Entomology* 14, 361-367.
- Bürgi, L. P. & Mills, N. J.** (2010) Cold tolerance of the overwintering larval instars of light brown apple moth *Epiphyas postvittana*. *Journal of Insect Physiology* 56, 1645-1650.
- Clark, M. & Worland, M. R.** (2008) How insects survive the cold: molecular mechanisms—a review. *Journal of Comparative Physiology B* 178, 917-933.
- Coyle, D. R., Duman, J. G. & Raffa, K. F.** (2011) Temporal and species variation in cold hardiness among invasive rhizophagous weevils (Coleoptera: Curculionidae) in a northern hardwood forest. *Annals of the Entomological Society of America* 104, 59-67.
- Danks, H. V.** (1996) The wider integration of studies on insects cold-hardiness. *European Journal of Entomology* 93, 383-403.
- Fedorenko, V. P.** (2006) The most important sugar beet pests in Ukraine and integral measures for their control. *Proceeding of the National Academy Science* 110, 21-38.
- Gillyboeuf, N., Anglade, P., Lavenseau, L. & Peypelut, L.** (1994) Cold hardiness and overwintering strategy of the pink maize stalk borer, *Sesamia nonagrioides* Lef (Lepidoptera, noctuidae). *Oecologia* 99, 366-373.
- Hammad, S. M., Youssef, K. E. H., & Assem, M. A. H.** (1968) The biology of the sugar-beet mining moth *Scrobipalpa ocellatella* (Boyd) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Bulletin de la Societe Entomologique d'Egypte* 52, 49-51.
- Horwath, K. L. & Duman, J. G.** (1982) Involvement of the circadian system in photoperiodic regulation of insect antifreeze proteins. *Journal of Experimental Zoology* 219, 267-270.
- Jo, H. M., & Kim, Y.** (2001) Relationship between cold hardiness and diapause in the smaller fruit tortrix, *Adoxophyes orana* (Fischer von Roslerstamm). *Journal of Asia-Pacific Entomology* 4, 1-9.
- Kalsta, O. P., Moilonas, P. G. & Savopoulou-Soultani, M.** (2006) Diapause development and cold hardiness of *Pectinophora gossypiella* (Lepidoptera: Gelechiidae) larvae in Greece. *European Journal of Entomology* 103, 541-545.
- Kawarasaki, Y., Teets, N. M., Denlinger, D. L. & Lee, R. E. Jr** (2013) The protective effect of rapid cold-hardening develops more quickly in frozen versus supercooled larvae of the Antarctic midge, *Belgica antarctica*. *The journal of experimental biology* 216, 3937-3945.
- Khani, A., Moharrampour, S., & Barzegar, M.** (2007) Cold tolerance and trehalose accumulation in overwintering larvae of the codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *European Journal of Entomology* 104, 385- 392.

- Kheyri, M., Naim, A., Fazeli, M., Djavan-Moghaddam, H. & Eghtedar, E.** (1980) Some studies on *Scrobipalpa ocellatella* Boyd in Iran. *Applied Entomology and Phytopathology* 48, 1-39. [In persian].
- Košťál, V. & Šimek, P.** (1995) Dynamics of cold hardiness, supercooling and cryoprotectants in diapausing and non-diapausing pupae of the cabbage root fly, *Delia radicum* L. *Journal of Insect Physiology* 41, 627-634.
- Košťál, V., Vambera, J. & Bastl, J.** (2004) On the nature of pre-freeze mortality in insects: water balance, ion homeostasis and energy charge in the adults of *Pyrrhocoris apterus*. *Journal of Experimental Biology* 207, 1509-1521.
- Leather, S. R., Walters, K. F. A., & Bale, J. S.** (1993) *Ecology of Insect Overwintering*. 239 pp. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Lee, R. E. Jr** (1989) Insect cold-hardiness: to freeze or not to freeze. *Bioscience* 39, 308-313.
- Lee, R. E. Jr** (1991) Principles of insect low temperature tolerance. pp. 17-46 in Lee, R. E. Jr. & Denlinger, D. L. (Eds) *Insects at low temperature*. Chapman and Hall.
- Lee, R. E. Jr** (2010) A primer on insect cold-tolerance. pp. 3-34 in Denlinger, D. L. & Lee R. E. Jr. (Eds) *Low Temperature Biology of Insects*. Cambridge University.
- Lee, R. E. Jr, Chen, C. P., & Denlinger, D. L.** (1987) A rapid cold-hardening process in insects. *Science* 238, 1415-1417.
- Van Lenteren, J., Bale, J., Bigler, F., Hokkanen, H. & Loomans, A.** (2006) Assessing risks of releasing exotic biological control agents of arthropod pests. *Annual Review of Entomology* 51, 609-634.
- Lu, M. X., Liu, Z. X., Wang, X. & Du, Y. Z.** (2012) Seasonal cold tolerance of *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Annals of the Entomological Society of America* 105, 479-483.
- Marie, S. S.** (2004) Use of the egg parasitoid *Trichogramma evanescens* West for controlling the rib miner, *Scrobipalpa ocellatella* Boyd in sugar beet in Egypt (Lepidoptera: Gelechiidae). *Egyptian Society for Biological Control of Pests* 14 (2), 128-135.
- Nguyen, C., Bahar, M. H., Baker, G. & Andrew, N. R.** (2014) Thermal tolerance limits of diamondback moth in ramping and plunging assays. *PLoS ONE* 9, e87535.
- Potyondi, L., & Kimmel, J.** (2003) Present situation in Hungarian sugarbeet production. Paper presented at the 1st joint 1/RB-ASSBT Congress. San Antonio (USA).
- Robert, P. C. & Blaisinger, P.** (1978) Role of non-host plant chemicals in the reproduction of an oligophagous insect: the beet moth *Scrobipalpa ocellatella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Entomologia Experimentalis et Applicata* 24, 632-636.
- Saad, A. & El-Abhrawi, A.** (1977) Efficiency of pesticides against sugar-beet borer *Scrobipalpa ocellatella* Boyd in Iraq. *Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen Rijksuniversiteit Gent* 42, 957-960.
- Sabry, K. H., Abdel-Raheem, M. A. & El-Fatih, M. M.** (2011) Efficacy of the entomopathogenic fungi; *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* on some insect pests under laboratory conditions. *Egyptian Society for Biological Control of Pests* 21, 33-38.
- Saeidi, F., Moharrampour, S., & Barzegar, M.** (2012) Seasonal patterns of cold hardiness and cryoprotectant profiles in *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae). *Environmental Entomology* 41, 1638-1643.
- SPSS Inc.** (2009) PASW Statistics for Windows, Version 18.0. Chicago: SPSS Inc.
- Sømme, L.** (1999) The physiology of cold hardiness in terrestrial arthropods. *European Journal of Entomology* 96, 1-10.
- Timus, A. M. & Croitoru, N. J.** (2006) The phytosanitary form and fighting measures diseases and pests of sugar beet from Republic of Moldova. *Zbornik Matice srpske za prirodne nauke* 110, 227-238.
- Turnock, W. J. & Fields, P. G.** (2005) Winter climates and cold hardiness in terrestrial insects. *European Journal of Entomology* 102, 561-576.

- Valich, N., Vuchajnk, F., Ferenchak, B., Mlinarich, M. & Trdan, S.** (2005) Monitoring of sugarbeet moth (*Scrobipalpa ocellatella* Boyd, Lepidoptera, Gelechiidae) in Slovenia using pheromone traps. *7th Slovenian Conf. Plant Prot., Zrece, Slovenia, 8-10 March 2005*. 454-458.
- Watanabe, M.** (2002) Cold tolerance and myo-inositol accumulation in overwintering adults of a lady beetle, *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *European Journal of Entomology* 99, 5-10.
- Zhao, Z.** (1997) Progress in the research on mechanism of insect cold-hardiness. *Insect Science* 4, 265-276.