

واکنش تابعی زنبورهای *Psix saccharicola* و *Trissolcus agriope***Acrosternum arabicum** روی تخم‌های سرمادیده‌ی سن سبز پسته (Hymenoptera: Scelionidae)
(Hemiptera: Pentatomidae)محمدآمین جلالی^{*}، سیده فاطمه رنجبر^۲، مهدی ضیال‌دینی^۱ و فرزانه فروزان^۲

۱. دانشیار گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، ایران

۲. دانشجوی دوره دکتری، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۰۱ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۷)

چکیده

ذخیره‌سازی در دمای پایین برای در دسترس بودن میزبان در زمان‌های مختلف، یک روش ارزشمند برای افزایش تولید انبوه دشمنان طبیعی برای برنامه‌های کنترل بیولوژیک می‌باشد. ذخیره‌سازی سرمایی میزبان بیشتر در دماهایی زیر دمای بهینه انجام شده و می‌تواند سازگاری‌های دشمنان طبیعی را تحت تأثیر قرار دهد. زنبورهای پارازیتوئید تخم، *Psix saccharicola* و *Trissolcus agriope* از خانواده سلینوئیده از جمله عوامل زیستی مؤثر علیه آفت مهم سن سبز پسته *Acrosternum arabicum* می‌باشند. در پژوهش حاضر، تأثیر ذخیره‌سازی تخم میزبان در دمای 4 ± 1 درجه سلسیوس بر واکنش تابعی زنبورهای پارازیتوئید *T. agriope* و *P. saccharicola* در تراکم‌های مختلف (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۵۰، ۶۵، ۸۰ و ۹۵) و در شرایط آزمایشگاهی بررسی شد. تجزیه و تحلیل رگرسیون لجستیک، واکنش تابعی نوع سوم را برای زنبور *T. agriope* روی هر دو تیمار تخم‌های تازه و سرمادیده و نوع سوم را برای زنبور *P. saccharicola* روی تیمار تخم‌های تازه و نوع دوم واکنش تابعی را روی تیمار تخم‌های سرمادیده نشان داد. تیمارهای استفاده شده تغییری در نوع واکنش تابعی در *T. agriope* نداشته‌اند، اما در *P. saccharicola* باعث تغییر نوع واکنش تابعی از نوع سوم به نوع دوم پاسخ شدند، اگر چه زمان دستیابی در هر دو گونه زنبور پارازیتوئید در تیمار تخم‌های سرما دیده نسبت به تیمار تخم‌های تازه افزایش داشته است. با توجه به نتایج بدست آمده، به نظر می‌رسد ذخیره‌سازی تخم میزبان در سرما می‌تواند روش ارزشمندی برای استفاده در برنامه‌های پرورش انبوه *T. agriope* باشد. هرچند این روش ممکن است تأثیرات منفی روی عملکرد زنبورهای پارازیتوئید از جمله *P. saccharicola* داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: زمان دستیابی، سرما نگهداری، کنترل بیولوژیک، نرخ حمله.

Functional response of egg parasitoids, *Psix saccharicola* and *Trissolcus agriope* (Hymenoptera: Scelionidae) on cold-stored eggs of *Acrosternum arabicum* (Hemiptera: Pentatomidae)Mohammad Amin Jalali^{1*}, Fateme Ranjbar², Mahdi Ziaaddini¹ and Farzaneh Forouzan²

1. Associate Prof., Department of Plant Protection, College of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran.
2. Ph.D. Student, Department of Plant Protection, College of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran.

(Received: July 29, 2020- Accepted: July 29, 2020)

ABSTRACT

Storage at low temperature for host availability at different times is a valuable way to increase the mass production of natural enemies for biological control programs. Usually, host cold storage is done at temperatures below the optimum temperature and can affect the adaptations of natural enemies. Egg parasitoids, *Trissolcus agriope* and *Psix saccharicola* from Scelionidae family are as biological control agents against important pest of pistachio, greenstink bug, *Acrosternum arabicum*. In this study, effect of host egg storage at 4 ± 1 °C on functional response of *Trissolcus agriope* and *Psix saccharicola* were evaluated at different densities (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 50, 65, 80 and 95) under laboratory conditions. Logistic regression analysis revealed a functional response type III for *T. agriope* on both fresh and cold-stored eggs and type III and II for *P. saccharicola* on fresh eggs and cold-stored eggs, respectively. Although the type of treatment did not change the type of functional response in *T. agriope* but were reduced the type of response from III on fresh eggs to type II on cold-stored eggs in *P. saccharicola*. However handling time in both species were increased in cold-stored eggs treatment compared to fresh eggs treatment. Our results suggest that *T. agriope* can successfully parasitize cold-stored eggs of *A. arabicum* without considerable undesirable effects on its parasitism rates. However, this method may have negative effects on the performance of some other parasitoid wasp, including *P. saccharicola*.

Keywords: Attack rate, Biological control, Cold storage, Handling time.

* Corresponding author E-mail: ma.jalali@vru.ac.ir

مقدمه

یکی از موانع بسیار مهم در موفقیت برنامه‌های رهاسازی انبوه عوامل کنترل بیولوژیک، مشکلات و هزینه‌های پرورش و رهاسازی انبوه در زمان مشخص می‌باشد. بیشتر حشرات مورد استفاده در کنترل بیولوژیک عمر نگهداری (shelf-life) کوتاهی دارند و بایستی بلافاصله قبل از استفاده، تولید شوند. این مشکل بخصوص در مورد زنبورهای خانواده سلیونیده به شکل مشخص‌تری بروز می‌کند؛ چرا که امکان پرورش افراد این خانواده روی غذاهای مصنوعی وجود ندارد (Orr 1988). چندین گونه از زنبورهای خانواده سلیونیده به عنوان پارازیتوئیدهای تخم سن سبز یکدست پسته، *Acrosternum arabicum* Wanger گزارش شده است و این گونه از فراوان‌ترین گونه‌های پنتاتومید فعال در باغ‌های پسته کشور بخصوص استان کرمان است که سالانه خسارات چشمگیری روی محصول پسته ایجاد می‌کند (Mehrnejad et al. 2016, Mohammadpour et al. 2013). گسترش روش‌های موثر ذخیره‌سازی می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌های تولید به واسطه افزایش دوره تولید در ماه‌های متوالی شود (Colinet and Boivin 2011). نگهداری تخم‌های میزبان در دمای پایین و مناسب می‌تواند مدت زمان در دسترس بودن میزبان برای تولید پارازیتوئید را افزایش دهد (Leopold 1998). علاوه بر این، ذخیره‌سازی موفقیت‌آمیز پارازیتوئیدها نیز در دماهای پایین (سرمانگهداری)، روشی ساده برای زنده نگه‌داشتن پارازیتوئیدها و یک روش ارزشمند برای استفاده از حشرات در کنترل بیولوژیک می‌باشد (van Lenteren and Tommasini 2003).

سرمانگهداری، به معنای نگهداری حشره در دمای مناسب به منظور کاهش سرعت رشد و در عین حال حفظ خصوصیات مطلوب آن حشره می‌باشد. توسعه روش‌های موثر ذخیره عوامل کنترل بیولوژیک بدون به خطر افتادن کارایی آن‌ها برای رهاسازی در برنامه‌های کنترل بیولوژیک بسیار حیاتی است (Leopold 1998). علی‌رغم این، شواهدی وجود دارد که بیان می‌کند، نگهداری طولانی مدت دشمن طبیعی و نیز میزبان

آن‌ها در دماهای پایین (با تغییر در کیفیت میزبان) می‌تواند روی عملکرد زنبورهای پارازیتوئید اثرات مثبت، منفی و خنثی داشته باشد (Orr 1988) و یا حتی ویژگی‌های رفتاری حشره را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین پژوهش‌های زیادی در ارتباط با تأثیر ذخیره‌سازی سرمایی مراحل مختلف میزبان (تخم و مراحل نابالغ) روی ویژگی‌های زیستی پارازیتوئیدها انجام شده است (Foester and Doetzer 2004, Rundle et al. 2004, Pandey and Johnson 2005, Kivan and Kilic 2005, Foerster and Doetzer 2006, Mahmoud and Lim 2007, Chen and Leopold 2007, Colinet et al. 2007, Alim and Lim 2010, Mainali and Lim 2013). تخم‌هایی با کیفیت پایین شایستگی کمتری به عنوان میزبان دارند چرا که جنین میزبان برای رشد و نمو از مواد مغذی داخل تخم استفاده می‌کند. کیفیت پایین تخم میزبان باعث ایجاد اثرات منفی بر پارامترهای بیولوژیک پارازیتوئیدها از جمله درصد پارازیتیسیم، طول دوره‌ی رشد و نمو (Da Rocha et al. 2006)، ظهور بالغین (Bruce et al. 2009)، اندازه‌ی بدن و نسبت جنسی (Ruberson and Kring 1993) می‌شود. دمایی مناسب جهت نگهداری حشرات از جمله زنبورهای پارازیتوئید ۴ تا ۱۵ درجه سلسیوس می‌باشد (van Lenteren and Tommasini 2003). در یک آزمایش نشان داده شد که نگهداری تخم‌های سن *A. arabicum* در دمای ۴ درجه سلسیوس تا ۶۰ روز، می‌تواند بدون ایجاد اثرات منفی قابل توجه روی فعالیت پارازیتیسیمی زنبور *Psix saccharicola* Mani در پرورش آزمایشگاهی این دشمن طبیعی به کار گرفته شود (Forouzan et al. 2018).

مناسب‌ترین روش برای درک روابط پارازیتیسیم، مطالعه‌ی واکنش تابعی و عددی یک دشمن طبیعی است که از مهم‌ترین عوامل مؤثر در انتخاب یک پارازیتوئید در برنامه‌های کنترل بیولوژیک محسوب می‌شوند (Hassel 1978, Nachman 2006). از نظر تئوریک، دشمن طبیعی زمانی قادر به تنظیم جمعیت میزبان خواهد بود که نسبتی از تراکم جمعیت آفت که توسط عامل کنترل بیولوژیک از بین می‌رود با افزایش

حفظ کلنی و بخش دیگر به منظور انجام آزمایش‌ها استفاده شد.

جمع‌آوری و پرورش زنبور پارازیتوئید

برای جمع‌آوری زنبور پارازیتوئید از روش تله‌ی تخم استفاده شد (Mohammadpour *et al.* 2016). دسته‌های تخم یک‌روزه سن *A. arabicum* روی کارت‌های زرد رنگ به ابعاد 7×7 سانتی‌متر چسبانده شدند و در جهت‌های مختلف روی درختان پسته و همچنین روی بوته‌های علف‌های هرز میزبان و در ارتفاعات مختلف نصب و پس از ۴۸ ساعت جمع‌آوری و با تله‌ی تخم تازه جایگزین شدند. تخم‌های پارازیت‌شده توسط زنبورهای پارازیتوئید درون ژرمیناتور (دمای $13 \pm 2^\circ\text{C}$ ، رطوبت نسبی $5 \pm 65\%$ و دوره‌ی نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی) تا مرحله‌ی خروج حشرات کامل زنبور قرار داده شد. به منظور دسترسی به زنبورهای با طول عمر مشخص، زنبورهای پارازیتوئید جمع‌آوری شده از دسته‌های تخم پارازیت‌شده، در لوله‌ی آزمایش ۱۵ میلی‌لیتری روی دسته‌های تخم یک‌روزه‌ی سن به مدت ۲۴ ساعت رهاسازی و سپس تخم‌های پارازیت‌شده داخل انکوباتور با شرایط آزمایشگاهی فوق تا زمان خروج حشرات کامل نگهداری شد. بخشی از حشرات کامل برای حفظ کلنی و بخش دیگر جهت انجام آزمایش‌ها استفاده شد. تغذیه‌ی زنبورها با رژیم غذایی عسل 10% به صورت قطرات ریز روی کاغذهایی به ابعاد 1×5 سانتی‌متر انجام و برای تأمین رطوبت لازم از پنبه‌ی استریل مرطوب استفاده شد. از نتاج حاصل از اولین نسل پرورش یافته در آزمایشگاه جهت انجام آزمایش‌ها استفاده شد.

سرماده‌ی تخم میزبان و آزمایش واکنش تابعی

دسته‌های تخم میزبان در دمای 1 ± 4 درجه‌ی سلسیوس نگهداری و در شرایط تاریکی به مدت یک‌ماه ذخیره شدند و سپس در تراکم‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵، ۵۰، ۶۵، ۸۰ و ۹۵ عددی برای انجام آزمایش‌های واکنش تابعی مورد استفاده قرار

تراکم میزبان، زیادت‌ر شود. به عبارت دیگر عامل کنترل بیولوژیک از خود واکنش تابعی نشان دهد (Holling 1977, Hassel *et al.* 1959). در ارتباط با این مهم که چطور ذخیره‌سازی تخم میزبان (تغییر در کیفیت میزبان) در دماهای پایین می‌تواند واکنش تابعی و یا به نوعی قدرت جستجوگری دو گونه از مهم‌ترین پارازیتوئیدهای تخم سن سبز یک‌دست پسته را تحت تأثیر قرار می‌دهد، مطالعاتی انجام نشده است، لذا در پژوهش حاضر واکنش تابعی دو زنبور پارازیتوئید تخم، *P. Trissolcus agriope* Kozlov and Le و *A. saccharicola* روی تخم‌های تازه و سرما‌دیده سن *A. arabicum* مورد مطالعه قرار گرفت. هدف از انجام این آزمایش بررسی امکان استفاده از تخم‌های سرما‌دیده سن میزبان در برنامه‌های پرورش انبوه این دو زنبور پارازیتوئید می‌باشد. نتایج این آزمایش می‌تواند به درک بهتر رفتار زنبورهای پارازیتوئید و امکان استفاده از دماهای پایین در بهینه‌سازی برنامه‌های پرورش انبوه آنها مفید واقع شود.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری و پرورش سن میزبان، *A. arabicum*

جمعیت اولیه سن میزبان در چند نوبت از باغ‌های پسته شهرستان رفسنجان و از روی علف‌های هرز میزبان جمع‌آوری شده و پس از انتقال به آزمایشگاه در ظروف پلاستیکی مستطیلی به ابعاد $12 \times 30 \times 20$ سانتی‌متر که با دستمال کاغذی فرش شده و دارای درب‌های توری دار جهت تهویه بودند، روی جیره‌ی غذایی لوبیا سبز، مغز دانه آفتابگردان و بادام زمینی در شرایط دمایی $13 \pm 2^\circ\text{C}$ ، رطوبت نسبی $5 \pm 65\%$ و دوره‌ی نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی نگهداری و پرورش داده شدند (Pourkhatoun *et al.* 2016). آب مورد نیاز حشرات توسط پتری‌های کوچک که درب آن‌ها سوراخ شده و توسط رول‌های پنبه‌ای مسدود شده بود تأمین گردید. ظروف به صورت روزانه بازدید و هم‌زمان با جمع‌آوری دسته‌های تخم از روی دستمال‌های کاغذی داخل ظروف، غذای حشرات با غذای تازه جایگزین و بخشی از دسته‌های تخم برای

در مرحله دوم و پس از تعیین نوع واکنش تابعی، فراسنجه‌های قدرت جستجو یا نرخ حمله (a یا b) و زمان دستیابی (T_h) با استفاده از رگرسیون غیرخطی (NLIN) در نرم افزار SAS تخمین زده شد. در واکنش تابعی نوع دوم معادله ۲ و در واکنش تابعی نوع سوم معادله ۳ استفاده شده‌اند (پارامترهای a و T_h برای واکنش تابعی نوع دوم و b ، c و d برای واکنش تابعی نوع سوم). در این روابط N_e تعداد تخم‌های پارازیت شده N_0 تراکم اولیه میزبان، a قدرت جستجوگری، T مقدار زمان کل در دسترس (۱۲ ساعت)، T_h زمان دستیابی برای هر میزبان و b ، c و d نیز ضرایب ثابت معرفی شده‌اند.

(۲)

$$N_e = N_0 \{1 - \exp[a(T_h N_e - T)]\}$$

(۳)

$$N_e = N_0 \left\{ 1 - \exp \left[\frac{(d + bN_0)(T_h N_e - T)}{(1 + cN_0)} \right] \right\}$$

علاوه بر محاسبه‌ی فراسنجه‌های ذکر شده، ضریب تبیین (r^2) با استفاده از رابطه‌ی زیر نیز تخمین زده شد.

مجموع مربعات تصحیح شده / مجموع مربعات باقی‌مانده
 $r^2 = 1 -$

نتایج و بحث

آماره‌های رگرسیون لجستیک برای تعیین نوع واکنش تابعی روی تخم‌های تازه و سرمادیده سن *A. arabicum* در جدول ۱ نمایش داده شده است. تجزیه‌ی رگرسیون لجستیک نشان داد که نوع واکنش تابعی زنبور پارازیتوید *P. saccharicola* با تغییر در نوع و کیفیت تخم میزبان، از نوع سوم پاسخ در تیمار تخم‌های تازه، به نوع دوم در تیمار تخم‌های سرما دیده تغییر کرده است (جدول ۲). مقادیر نرخ جستجو (a)، زمان دستیابی (T_h) و مقدار ضریب تبیین (r^2) برای هر دو گونه زنبور در جدول (۲) آمده است. همچنین تجزیه‌ی داده‌ها نشان داد که واکنش تابعی زنبور *T. agriope* نسبت به تراکم‌های مختلف تخم

گرفتند. آزمایش در شرایط دمایی 1 ± 27 درجه‌ی سلسیوس، رطوبت نسبی 5 ± 65 و دوره‌ی نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی و داخل لوله‌های فاکون به حجم ۵۰ میلی‌لیتری انجام شد. هر تراکم و در ده تکرار به مدت ۱۲ ساعت، در اختیار یک عدد زنبور ماده‌ی بارور یک‌روزه حاصل از نسل ششم قرار داده شد. پس از پایان ۱۲ ساعت، زنبور حذف و تخم‌های پارازیت شده‌ی میزبان درون انکوباتور با شرایط پرورشی ذکر شده تا زمان خروج حشرات کامل نگهداری شدند. آزمایش روی تخم‌های تازه سن به عنوان شاهد و با تراکم‌های مشابه و در همان شرایط دمایی انجام شد و میزان پارازیتسم برای هر تراکم شمارش و ثبت شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های واکنش تابعی طبق روش جولیانو (Juliano 2001) در دو مرحله (انتخاب مدل و آزمون فرض) تجزیه و تحلیل شد. در مرحله اول جهت تعیین نوع واکنش‌ها (انتخاب مدل) از رگرسیون لجستیک (رابطه زیر) و نرم افزار SAS (SAS Institute, 1999) استفاده گردید:

$$\frac{N_e}{N_0} = \frac{\exp(P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3)}{1 + \exp(P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3)}$$

در این رابطه N_e تعداد تخم‌های پارازیت شده، N_0 تراکم اولیه میزبان و P_0 ، P_1 ، P_2 و P_3 فراسنجه‌هایی هستند که با استفاده از رویه CATMOD در نرم افزار SAS تخمین زده می‌شوند. در این رویه منفی یا مثبت بودن ضریب خطی (P_1) در تابع چند جمله‌ای به ترتیب نوع دوم و سوم واکنش تابعی را نشان می‌دهد (Juliano 2001). در رابطه بالا چنانچه جمله درجه سوم معنادار نباشد، حتی در صورت معنادار بودن جملات درجه دوم و خطی، تعیین نوع واکنش با این رابطه اشکال خواهد داشت. در این صورت با حذف بالاترین درجه (N_0^3 و در صورت لزوم N_0^2)، مدل را ساده‌تر کرده تا جمله معنادار گردد و سپس تجزیه‌ها تکرار می‌گردد (Juliano 2001).

میزبان روی هر دو تیمار تخم‌های تازه و سرمادیده (جدول ۱)، چرا که شیب قسمت خطی منحنی نسبت میزبان‌های پارازیت‌دهنده مثبت بود (جدول ۱).
 (N_e/N_0) به تعداد میزبان موجود در تراکم اولیه (N_0)

جدول ۱- آماره‌های رگرسیون لجستیک برای تعیین نوع واکنش تابعی در دو زنبور پارازیتوئید *Psix saccharicola* و *Trissolcus agriope* پرورش یافته روی تخم‌های تازه و سرما دیده *Acrosternum arabicum*

Table 1- Logistic regression statistics determining the functional response type in two parasitoid wasps *Psix saccharicola* and *Trissolcus agriope* reared on fresh and cold stored eggs of *Acrosternum arabicum*.

Parasitoid species	Treatment	Full Model					Reduced Best Fit Model				
		Coefficient	Estimate	SE	χ^2	P-value	Coefficient	Estimate	SE	χ^2	P-value
<i>Psix saccharicola</i>	Fresh eggs	Constant (P_0)	1.5955	0.3518	20.5626	<.0001					
		Linear (P_1)	0.0702	0.0238	8.6571	0.0033					
		Quadratic (P_2)	-0.00185	0.000460	16.1752	<.0001					
		Cubic (P_3)	9.897E-6	2.646E-6	13.9879	0.0002					
	Cold stored eggs	Constant (P_0)	2.6899	0.3814	49.7287	<.0001	Constant (P_0)	2.7281	0.1037	691.4642	<.0001
		Linear (P_1)	-0.0287	0.0247	1.3492	0.2454	Linear (P_1)	-0.0294	0.00142	428.9020	<.0001
		Quadratic (P_2)	0.000017	0.000467	0.0013	0.9716					
		Cubic (P_3)	-2.24E-7	2.659E-6	0.0071	0.9330					
<i>Trissolcus agriope</i>	Fresh eggs	Constant (P_0)	0.9177	0.2673	11.7831	0.0006	Constant (P_0)	1.0934	0.1571	48.4331	<.0001
		Linear (P_1)	0.0280	0.0187	2.2490	0.1337	Linear (P_1)	0.0138	0.00621	4.9416	0.0262
		Quadratic (P_2)	-0.00060	0.000370	2.6087	0.1063	Quadratic (P_2)	-	0.000053	32.6391	<.0001
		Cubic (P_3)	1.757E-6	2.185E-6	0.6468	0.4212		0.00030			
	Cold stored eggs	Constant (P_0)	0.6143	0.2753	4.9794	0.0257					
		Linear (P_1)	0.0776	0.0195	15.8227	<.0001					
		Quadratic (P_2)	-0.00160	0.000388	17.0236	<.0001					
		Cubic (P_3)	7.408E-6	2.28E-6	10.5550	0.0012					

صورت وابسته به تراکم عمل کرده و با افزایش تراکم میزبان نسبت میزبان‌های پارازیت شده تا تراکم ۸۰ عدد تخم افزایش یافته و در تراکم‌های بالاتر، به صورت وابسته به عکس عمل کرده است (شکل ۱). مقایسه‌ی حدود اطمینان ۹۵٪ نشان داد که زمان دستیابی به میزبان در دو گونه زنبور پارازیتوئید در تخم‌های سرمادیده مقدار اندکی بیش‌تر از زمان دستیابی به میزبان در تیمار تخم‌های تازه بوده است به ترتیب ۴۵٪ و ۴۰٪ در زنبور *P. saccharicola* و ۵۳٪ و ۴۶٪ در *T. agriope* ثبت شده است. بنابراین

منحنی واکنش تابعی دو گونه زنبور پارازیتوئید روی هر دو تیمار تخم‌های تازه و سرمادیده در شکل (۱) نشان داده شده است. در واکنش تابعی نوع دوم، پارازیتوئید نسبت به تراکم‌های مختلف تخم در تیمارهای مختلف به صورت وابسته‌ی معکوس به تراکم عمل می‌کند. در این وضعیت با افزایش تراکم میزبان، درصد میزبان پارازیت‌دهنده به تدریج کاهش یافته و منحنی حاصله در نهایت به صورت مجانب در می‌آید، ولی در واکنش تابعی نوع سوم، زنبور پارازیتوئید، ابتدا در تراکم‌های پایین‌تر میزبان به

دما و در واقع کیفیت تخم میزبان در واکنش تابعی پارازیتوئید به میزبان و سطح پارازیتیسمی از تخم تازه به تخم سرمادیده در زنبور *P. saccharicola* تأثیر قابل ملاحظه‌ای گذاشته است چرا که باعث تغییر نوع واکنش تابعی از نوع سوم به نوع دوم پاسخ شده است. اما نوع واکنش تابعی در *T. agriope* با تغییر در نوع تخم میزبان ثابت مانده است. اگر چه زمان دستیابی در هر دو گونه زنبور در تخم‌های سرمادیده بیشتر از تیمار تخم‌های تازه محاسبه شده است.

مطالعه‌ی واکنش تابعی عوامل بیوکنترل قبل از رهاسازی آن‌ها، از اهمیت ویژه‌ای در برنامه‌های کنترل بیولوژیک برخوردار است (Bernal *et al.* 1994). نتایج به دست آمده از پژوهش‌ها نشان می‌دهد که جمعیت میزبان قادر است روی ویژگی‌های زیستی پارازیتوئید اثرگذار باشد (Montoya *et al.* 2002, Kivan and Kilic 2004) و حتی منجر به تغییر در نوع واکنش تابعی شود (Mills and Lacaan 2004). گونه، اندازه و ظاهر میزبان (Hassell *et al.* 1977, Streams 1994)، پراکنش میزبان (Hemerik and Yano 2011)، دسترسی متناوب و مداوم به میزبان و میزان گرسنگی (Holling 1959)، دما (Mohaghegh *et al.* 2001) و شرایط آزمایشگاهی (Hemerik and Yano 2011)، نوع و ساختمان گیاهی که میزبان روی آن مستقر است (De Clercq *et al.* 2000) و همچنین نوع آنالیز استفاده شده برای تخمین داده‌ها (Trexler *et al.* 1988) از جمله عواملی هستند که واکنش تابعی یک پارازیتوئید را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در بیشتر پژوهش‌ها در ارتباط با واکنش تابعی پارازیتوئیدها، واکنش تابعی نوع دوم ثبت گزارش شده است و تعداد کمتری واکنش تابعی نوع سوم را بیان نموده‌اند (Fernandes-Arhex and Corley 2003).

مشابه با نوع واکنش تابعی مشاهده شده روی زنبور *T. agriope* در پژوهش حاضر، برخی از مطالعات پیشین نیز واکنش تابعی نوع سوم را برای زنبورهای خانواده سلینوئیده عنوان کرده‌اند (Asgari *et al.* 2002, Fathipor *et al.* 2001, Allahyari *et al.* 2004, Lumman *et al.* 2008, Jamshidnia *et al.* 2010).

بر اساس نتایج بدست آمده در این پژوهش تیمار تخم‌های تازه با داشتن نرخ جستجوگری بالاتر و زمان دستیابی کوتاه‌تر، که از جنبه‌های مثبت پارازیتیسمی زنبور در این تیمارها محسوب می‌شود، مناسب‌تر از تیمار تخم سرمادیده عمل کرده است. مناسب بودن نگهداری تخم میزبان در دمای پایین، اغلب براساس میزان پارازیتیسم توسط پارازیتوئیدها و رشد و نمو موفق نتایج آن‌ها ارزیابی می‌شود (Drooz and Weems 1982, Kivan and Kilik 2005). اگر چه شواهد حاکی از این است که هم میزبان و هم پارازیتوئید به واسطه‌ی قرار گرفتن در معرض سرمای طولانی مدت تحت تأثیر عواقب و پیامدهای ذخیره‌سرمایی قرار می‌گیرند (Hance *et al.* 2007). دمای پایین باعث کاهش ذخایر انرژی به دلیل شرایط گرسنگی طولانی مدت می‌شود (Colinet *et al.* 2006). از این رو، پیامدهای ذخیره‌سازی سرد، می‌تواند در اثر سرما، گرسنگی و یا ترکیبی از سرما و گرسنگی باشد. ذخایر انرژی، به ویژه لیپیدها، در طول دوره‌ی قرار گرفتن در معرض سرما مصرف می‌شوند (Colinet *et al.* 2006). کاهش کیفیت میزبان، مشکلی است که در فرآیند سرمانگهداری در مراحل مختلف میزبان مطرح می‌شود. کاهش کیفیت میزبان در ذخیره‌سازی سرمایی به عنوان تابعی از زمان ذخیره‌سازی و دمای ذخیره‌سازی بیان شده است. کاهش کیفیت میزبان می‌تواند منجر به کاهش در قدرت بدنی، توانایی تولیدمثل و سایر صفات تاریخ زندگی دشمنان طبیعی شود (Leopold 1998). مطالعات پیشین نشان می‌دهند که درون سلول‌ها، با ذخیره‌سازی در نیتروژن و یا در فریزر در دمای 135°C ، سوخت و ساز بدن کاهش می‌یابد (Franks 1982, Steponkus *et al.* 1990, Leopold 1991, Mazur *et al.* 1992, Leopold 1998).

طراحی دستوالعمل‌های ذخیره‌سازی سرد، اغلب بر پایه‌ی استفاده از درجه حرارت خاص و تعیین دمای آستانه برای رشد است و در نتیجه دمای انتخاب شده برای ذخیره‌سازی، باید بر اساس تعادل نسبی بین نیاز به کاهش سوخت و ساز و خطرات ناشی از ذخیره‌سازی

میزبان مشاهده شد که این آسیب‌ها ناشی از دمای ذخیره‌سازی و یا مدت زمان قرار گرفتن در معرض سرما می‌باشد (Kivan and Kilic 2005).

واکنش تابعی در کنار فاکتورهای دیگر از جمله نرخ ذاتی رشد جمعیت، به عنوان ابزاری برای کنترل کیفی پارازیتوئیدهای پرورش یافته در آزمایشگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد (van Driesche and Bbellows 1996). با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان گفت که دو گونه زنبور پارازیتوئید *P. saccharicola* و *T. agriope* بدلیل داشتن واکنش تابعی نوع سوم و نرخ بالای پارازیتیسیم می‌توانند از پارازیتوئیدهای موثر تخم روی سن *A. arabicum* باشند. نتایج حاصل در ارتباط با تغییر نوع واکنش تابعی در *P. saccharicola* نشان می‌دهد که این زنبور نسبت به تخم‌های یخچالی حساس بوده است.

تخم‌های یخچالی اثرات منفی روی نوع واکنش تابعی *T. agriope* نداشته‌اند هر چند که به مقدار اندکی سبب افزایش زمان دستیابی در این پارازیتوئید شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که زنبور *T. agriope* به خوبی قادر است روی تخم‌های سرمادیده سن میزبان پرورش یابد و این موضوع می‌تواند هزینه‌های پرورش انبوه زنبور *T. agriope* را کاهش داده و استفاده از آن را در برنامه‌های کنترل بیولوژیک علیه سن *A. arabicum* و احتمالاً سایر سن‌های خسارت‌زای خانواده پنتاتومیده روی محصول پسته را آسان‌تر سازد.

سرمایی انتخاب شود (Colinet and Boivin 2011). بنابراین استفاده از دمایی نزدیک به دمای آستانه می‌تواند از آسیب‌هایی که به صورت تدریجی به سلول‌های تخم میزبان وارد می‌شود، جلوگیری کند و باعث حفظ کیفیت مواد مغذی تخم برای رشد و نمو پارازیتوئید شود.

کاهش در کیفیت تخم به عنوان یک منبع غذایی برای نتاج پارازیتوئید می‌تواند موجب کاهش رشد و نمو لارو و یا توانایی افراد بالغ برای ظهور شود. از سوی دیگر، انجماد و ذوب پس از آن و دماهای پایین می‌تواند تغییراتی در سختی پوسته‌ی تخمک میزبان ایجاد کنند (Kivan and Kilic 2005) و تخم را برای پارازیت کردن به وسیله‌ی پارازیتوئید سخت سازد. عکس این مطلب نیز صادق است. در مواردی گزارش شده است که تخم‌های یخچالی میزبان نسبت به تخم تازه‌ی میزبان برای پارازیت شدن به وسیله‌ی زنبور مناسب‌تر هستند و زمانی که تخم یخچالی میزبان در اختیارشان گذاشته می‌شود، تخم‌ریزی بیشتری دارند و نتاج آن‌ها بهتر و بیشتر زنده می‌ماند (Orr 1998, Kivan and Kilic 2005).

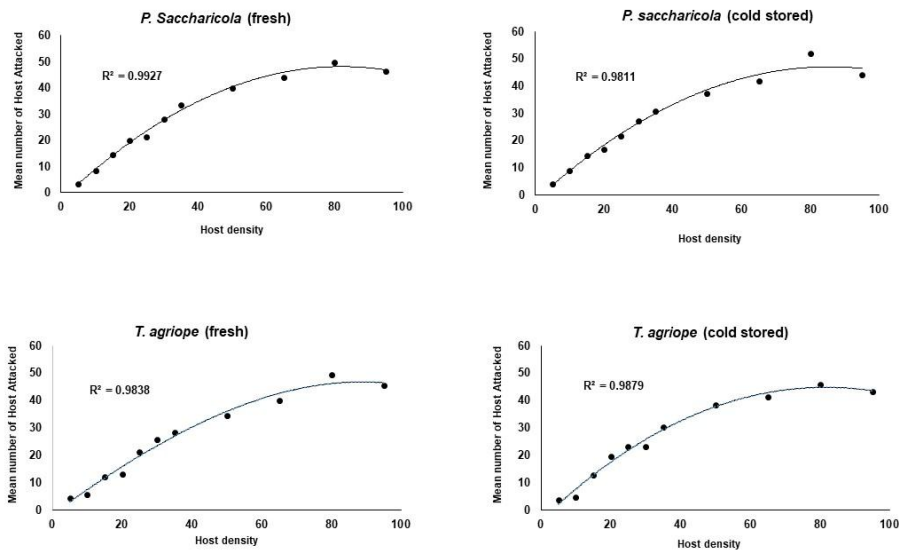
به نظر می‌رسد از بین رفتن ضخامت پوسته‌ی تخم میزبان در طول نگهداری در سرما، دلیلی برای افزایش پارازیتیسیم باشد. این مطلب همچنین در مورد تخم‌هایی که در دماهای منفی نیز ذخیره می‌شوند صادق است. با این وجود، اثرات نامطلوبی در پارازیتوئیدهای پرورش یافته روی تخم‌های یخچالی

جدول ۲- فراسنجه‌های واکنش تابعی (\pm خطای استاندارد) تخمین زده شده برای دو زنبور پارازیتوئید *Psix saccharicola* و *Trissolcus agriope* پرورش یافته روی تخم‌های تازه و سرمادیده *Acrosternum arabicum*

Table 2- Functional response parameters (\pm standard error) estimated for two parasitoids *Psix saccharicola* and *Trissolcus agriope* reared on fresh and cold stored eggs of *Acrosternum arabicum*

Parasitoid species	Type of host eggs	Type	Attack Rate	Handling Time	r^2 *
			a (h^{-1}) [†]	T_h (h) [†]	
<i>Psix saccharicola</i>	Fresh	III		0.4014±0.012	0.9927
	Cold storage	II	0.1700±0.0192	0.4526±0.023	0.9811
<i>Trissolcus agriope</i>	Fresh	III		0.4634±0.022	0.9838
	Cold storage	III		0.5336±0.033	0.9879

* در بهترین برازش ($a=bN$) برای واکنش تابعی نوع سوم، مقدار فراسنجه b برابر با 0.001 ± 0.005 تخمین زده شد.



شکل ۱- نمودارهای واکنش تابعی دو زنبور پارازیتوید *Trissolcus agriope* و *Psix saccharicola*، پرورش یافته روی تخم‌های تازه (fresh) و یا سرمادیده (cold stored) سن سبز پسته، *Acrosternum arabicum*

FIG. 1. Observed numbers (symbols) of fresh and cold-stored eggs of *Acrosternum arabicum* parasitized by two egg parasitoids, *Trissolcus agriope* and *Psix saccharicola*

مالی و نیز از گروه گیاه‌پزشکی دانشکده‌ی کشاورزی جهت در اختیار قرار دادن امکانات آزمایشگاهی قدردانی می‌گردد.

سپاسگزاری

این پژوهش حاصل از طرح پژوهشی شماره AGR97PP9597 دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان می‌باشد. بدین وسیله از آن دانشگاه به سبب حمایت

REFERENCES

- Allahyari H, Azmayesh fard P, Nozari J (2004) Effects of host on functional response of offspring in two populations of *Trissolcus grandis* on the sunn pest. Journal of Applied Entomology 128: 39-43.
- Alim MA, Lim UT (2010) Biological attributes of *Ooencyrtus nezarae* Ishii (Hymenoptera: Encyrtidae) reared on refrigerated eggs of *Riptortus pedestris* (=clavatus) Fabricius (Hemiptera: Alydidae). Journal of Asia-Pacific Entomology 13: 139-143.
- Asgari Sh, Kamali K, Fathipour Y, Solaymannejadian E (2002) Comparison of functional and numerical responses of egg parasitoid of sunn pest, *Trissolcus semistriatus* reared on *Eurygaster integriceps* and *Graphosoma lineatum*. Pests and plant diseases 69 (2) 97- 110. (In Persian).
- Banamolaei P, Iranipour S, Asghari S (2018). Functional Response of Two Populations of *Trissolcus vassilievi* (Mayr) on Sunn Pest Eggs (*Eurygaster integriceps* Puton). Journal of Applied Researches in Plant Protection 6 (4): 89-106.
- Bernal JS, Bellows TS, Gonzales D (1994) Functional response of *Diaerteiella rapae* (McIntosh) (Hym.: Aphidiidae) to *Diuraphis noxia* (Mordwilko) (Hom.: Aphididae) hosts. Journal of Applied Entomology 118: 300-309.
- Bruce AY, Schulthess F, Mueke J (2009) Host acceptance, suitability, and effects of host deprivation on the west African egg parasitoid *Telenomus isis* (Hymenoptera: Scelionidae) reared on east African stemborers under varying temperature and humidity regimens. Environmental Entomology 38: 904-919.
- Chen WL, Leopold RA (2007) Progeny quality of *Gonatocerus ashmeadi* (Hymenoptera: Mymaridae) reared on stored eggs of *Homalodisca coagulata* (Hemiptera: Cicadellidae). Journal of Economic Entomology 100: 685-694.
- Chown SL, Nicolson S (2004) Insect physiological ecology: mechanisms and patterns. Oxford

University Press.

- Colinet H, Boivin G** (2011) Insect parasitoids cold storage: A comprehensive review of factors of variability and consequences. *Biological Control* 58: 83- 95.
- Colinet H, Hance T, Vernon P** (2006) Water relations, fat reserves, survival, and longevity of a cold-exposed parasitic wasp *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Aphidiinae). *Environmental Entomology* 35: 228-236.
- Colinet H, Vernon P, Hance T** (2007) Does thermal-related plasticity in size and fat reserves influence supercooling abilities and cold-tolerance in *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Aphidiinae) mummies? *Journal of Thermal Biology* 32: 374-382.
- Da Rocha L, Kolberg R, Mendona JRMS, Redaelli LR** (2006) Effects of egg age of *Spartocera denticentris* (Berg) (Hemiptera: Coreidae) on parasitism by *Gryon gallardoi* (Brethes) (Hymenoptera: Scelionidae). *Neotropical Entomology* 35: 654–659.
- De Clercq P, Mohaghegh J, Tirry L** (2000) Effect of host plant on the functional response of the predator *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). *Biological Control* 18: 65-70.
- Drooz A, Weems M** (1982) Cooling eggs of *Eutrapela clemataria* (Lepidoptera: Geometridae) to– 10 C forestalls decline in parasite production with *Ooencyrtus ennemophagus* (Hymenoptera: Encyrtidae). *The Canadian Entomologist* 114: 1195-1196.
- Fathipour Y** (2001) Functional response of *Trissolcus grandis* (Hym., Scelionidae) to different egg densities of *Eurygaster integriceps* (Het., Scutelleridae) and effects of wheat genotypes on it. *Applied Entomology and Phytopathology* 6 8: 123-136.
- Fernández-arhex V, Corley JC** (2003) The functional response of parasitoids and its implications for biological control. *Biocontrol Science and Technology* 13(4): 403-413.
- Foerster LA, Doetzer AK, Castro LCFD** (2004) Emergence, longevity and fecundity of *Trissolcus basalis* and *Telenomus podisi* after cold storage in the pupal stage. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39: 841-845.
- Foerster LA, Doetzer AK** (2006) Cold storage of the egg parasitoids *Trissolcus basalis* (Wollaston) and *Telenomus podisi* Ashmead (Hymenoptera: Scelionidae). *Biological Control* 36: 232-237.
- Forouzan F, Jalali MA, Ziaaddini M, Hashemi Rad H** (2018) Effect of cold storage on biological traits of *Psix saccharicola* (Hymenoptera: Platygasteridae), an egg parasitoid of *Acrosternum arabicum* (Hemiptera: Pentatomidae). *Journal of economic entomology* 111(3): 1144-1150.
- Franks F** (1982) The properties of aqueous solutions at subzero temperatures, *In: (ed.)*, Water and aqueous solutions at subzero temperatures. Springer. Pp. 215- 338.
- Hance T, Van Baaren J, Vernon P, Boivin G** (2007) Impact of extreme temperatures on parasitoids in a climate change perspective. *Annual Review of Entomology* 52: 107.
- Hassell M P** (1978) *The Dynamics of Arthropod Predator Prey Systems*. New Jersey: Princeton University Press.
- Hassell M, Lawton J, Beddington J** (1977). Sigmoid functional responses by invertebrate predators and parasitoids. *The Journal of Animal Ecology* 249-262.
- Hemerik L, Yano E** (2011) Scaling up from individual behaviour of *Orius sauteri* foraging on *Thrips palmi* to its daily functional response. *Population Ecology* 53(4): 563.
- Holling CS** (1959) Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *The Canadian Entomologist* 91: 385-398.
- Jamshidnia A, Kharazi-Pakdel A, Allahyari H, Soleymannejadian E** (2010) Functional response of *Telenomus busseolae* (Hym.: Scelionidae) an egg parasitoid of the sugarcane stem borer, *Sesamia nonagrioides* (Lep.: Noctuidae) at different temperatures. *Biocontrol Science and Technology* 20(6): 631-640.
- Juliano SA** (2001) Nonlinear curve fitting: predation and functional response curves, *In: S. M. Scheiner and J.Gurevitch (ed.)*, Design and Analysis of Ecological Experiments. Oxford University Press New York.
- Kivan M, Kilic N** (2004) Parasitism and development of *Trissolcus simoni* in eggs of different host species. *Phytoparasitica* 32: 57–60.
- Kivan M, Kilic N** (2005) Effects of storage at low-temperature of various heteropteran host eggs on the egg parasitoid, *Trissolcus semistriatus*. *BioControl* 50: 589-600.
- Laumann RA, Moraes MCB, Pareja M, Alarcao GC, Botelho AC, Maia AHN, Leonardez E, Borges M** (2008) Comparative biology and functional response of *Trissolcus* spp. (Hymenoptera: Scelionidae) and implications for stink bugs (Hemiptera: Pentatomidae) biological control. *Biological Control* 44(1): 32-41.
- Leopold RA** (1991) Cryopreservation of insect germplasm: Cells, tissues and organisms, *In: (ed.)*, Insects

- at low temperature. Springer. pp. 379-407.
- Leopold RA** (1998) Cold storage of insects for integrated pest management. *In*: Hallman GJ, Denlinger DL (ed.), Temperature sensitivity in insects and application in integrated pest management. pp. 235-267.
- Mainali BP, Lim UT** (2013) Quality assessment of *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae) eggs cold-stored at different temperature and relative humidity regime. *Biological Control* 64: 132-137.
- Mazur P, Cole KW, Hall JW, Schreuders PD, Mahowald, AP** (1992) Cryobiological preservation of *Drosophila* embryos. *Science-New York Then Washington* 258: 1932-1932.
- Mehrnejad MR** (2013) Abundance of parasitoids associated with two major stink bugs on pistachio trees. *Applied Entomology and Phytopathology* 81(1): 83-84.
- Mills NJ, Lacan I** (2004) Ratio dependence in the functional response of insect parasitoids: evidence from *Trichogramma minutum* foraging for eggs in small patches. *Ecological Entomology* 29: 208-216.
- Mohaghegh J, DeClercq P, Tirry L** (2001) Functional response of the predators *Podisus maculiventris* (Say) and *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) to the beet armyworms, *Spodoptera exigua* Hubner (Lepidoptera: Noctuidae): effect of temperature. *Journal of Applied Entomology* 125: 131-134.
- Mohammadpour, M., Ziaaddini, M., Jalali, M. A., Hashemirad, H. and Mohammadi-Khoramabadi, A** (2016) Egg parasitoids of the pistachio green stink bug, *Brachynema germari* (Hemiptera: Pentatomidae) in Kerman province, Iran. *Zoology and Ecology*, 26: 28-34.
- Mahmoud A, Lim UT** (2007) Evaluation of cold-stored eggs of *Dolycoris baccarum* (Hemiptera: Pentatomidae) for parasitization by *Trissolcus nigripedius* (Hymenoptera: Scelionidae). *Biological Control* 43: 287-293.
- Montoya P, Liedo P, Benrey B, Barrera JF, Cancino J, Aluja M** (2002) Functional response and superparasitism by *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae), a parasitoid of fruit flies (Diptera: Tephritidae). *Annals of the Entomological Society of America* 93(1): 47-54.
- Nachman. G.** (2006). A functional response model of a predator population foraging in a patchy habitat. *Journal of Animal Ecology* 75(4): 948-958.
- Orr DB 1988.** Scelionid wasps as biological control agents: a review. *Florida Entomologist* 71 (4): 506-528.
- Pandey R, Johnson MW** (2005) Effects of cool storage on *Anagyrus ananatis* Gahan (Hymenoptera: Encyrtidae). *Biological Control* 35: 9-16.
- Pourkhatoon S, Ziaaddini M, Alizadeh A, Jalali MA, Ebrahimi M** (2016). Biological characteristic of *Brachynema germari* (Hemiptera: Pentatomidae): comparative study of composite and natural diet. *Journal of Economic Entomology* 109(3): 1273-1282.
- Ruberson JR, Kring TJ** (1993) Parasitism of developing eggs by *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) host age preference and suitability. *Biological Control* 3: 39-46.
- Rundle BJ, Thomson LJ, Hoffmann AA** (2004) Effects of cold storage on field and laboratory performance of *Trichogramma carverae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) and the response of three *Trichogramma* spp. (*T. carverae*, *T. nr. brassicae*, and *T. funiculatum*) to cold. *Journal of Economic Entomology* 97: 213-221.
- SAS Institute** (1999). SAS/STA User's Guide, Version 1.3.0.161. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Steponkus P, Myers S, Lynch D, Gardner L, Bronshteyn V, Leibo S, Rall W, Pitt R, Lin TT**
- MacIntyre R** (1990) Cryopreservation of *Drosophila melanogaster* embryos 345(6271): 170- 172.
- Streams FA** (1994) Effect of prey size on attack components of the functional response by *Notonecta undulata*. *Oecologia* 98(1): 57-63.
- Trexler JC, McCulloch CE, Travis J** (1988) How can the functional response best be determined? *Oecologia* 76(2): 206-214.
- van Driesche RG, Bellows TS Jr** (1996) *Biological Control*. Chapman and Hall New York.
- van Lenteren JC, Tommasini M** 2003. Mass production, storage, shipment and release of natural enemies, *In*: van Lenteren JC (ed.), *Quality control and production of biological control agents: theory and testing procedures*. CABI Publishing, Wallingford, UK. pp.182-189.