Archive of SID

مقاله تحقیقی

بررسی واکنش تابعی و عددی زنبور انگل‌وارهٔ *Aphidius matricariae* (Hym.: Braconidae) با تغذیه از شتهٔ کاهو، *Nasonovia ribisnigri* (Hem.: Aphididae)

افروز فارسی، فرحان کچیلی، محمد سعید مصدق، آرش راسخ

گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

مسئول مکاتبات: افروز فارسی، پست الکترونیک: afrooz.farsi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۲/۰۵ ۷(۲) ۱۱۳-۱۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۲۲

چکیده

واکنش تابعی و عددی زنبور انگل‌واره *Aphidius matricariae Haliday* روی شته *Nasonovia ribisnigri* Mosely در شرایط آزمایشگاهی در دمای۲۰±۱ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۶۵±۵ درصد و دوره نوری ۱۶:۸ ساعت (تاریکی:روشنایی) مورد ارزیابی قرار گرفت. تراکم‌های ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۳۲ و ۶۴ عدد پوره سن سوم شته *N. ribisnigri* در ۱۰ تکرار به مدت ۲۴ ساعت در اختیار زنبور ماده بالغ جفت‌گیری کرده (کمتر از ۲۴ ساعت عمر) قرار گرفت. نوع واکنش تابعی و پراسنجه‌های حاصل از آن به‌ترتیب با استفاده از رگرسیون لجستیک و رگرسیون غیرخطی محاسبه شدند. بر اساس نتایج، واکنش تابعی زنبور ماده نسبت به تراکم‌های مختلف پوره سن سوم شته *N. ribisnigri* از نوع دوم تعیین شد. مقادیر نرخ حمله و زمان دستیابی به‌ترتیب ۰/۰۳۶۷ بار بر ساعت و ۰/۴۱۱۴ ساعت به‌دست آمد. همچنین، حداکثر نرخ حمله (T/T_h) ۵۸/۳۳ پوره میزبان محاسبه شد. نتایج واکنش عددی نشان داد، با افزایش تراکم میزبان، میانگین تعداد شته‌های مومیایی شده به‌طور معنی‌داری از ۷/۸ عدد در تراکم ۲ به ۱۴۰/۷ عدد در تراکم ۶۴ میزبان افزایش یافت. بر اساس نتایج به‌دست آمده، به نظر می‌رسد، زنبور انگل‌واره *A. matricariae* می‌تواند به عنوان عامل مهار زیستی مناسبی در کاهش جمعیت شته کاهو *N. ribisnigri* مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: *Nasonovia ribisnigri*، *Aphidius matricariae*، کارایی، زمان دست یابی، قدرت جستجوگری

مقدمه

شته‌ها از دیرباز به‌عنوان آفات مهم محصولات کشاورزی مطرح بوده‌اند. در حال حاضر مهم‌ترین و کلیدی‌ترین آفت کاهو در مناطق مهمی از کشور همچون استان خوزستان و تهران گونهٔ جدیدی از شته‌ها به‌نام *Nasonovia ribisnigri* Mosely (Hem.: Aphididae)، می‌باشد که قادر است با استقرار در برگ‌های داخلی و سر کاهو، کلنی‌های خود را در جمعیت بالا تشکیل دهد و بدین وسیله از دسترس سموم تماسی محفوظ مانده و خسارت‌های زیادی به محصولات کاهو در مزارع وارد سازند (Bagheri *et al.*, 2008; Farsi *et al.*, 2014). این شته در خسارت غیر مستقیم باعث انتقال تعداد زیادی ویروس از جمله ویروس رگ نواری انگور فرنگی، ویروس موزاییک گل‌کلم، ویروس موزاییک خیار و ویروس موزاییک کاهو می‌شود که آخرین مورد از اهمیت اقتصادی قابل توجهی برخوردار است (McDougall & Creek, 2007). آستانه زیان اقتصادی به منظور کنترل شیمیایی این شته در مزرعه در زمانی که ناقل ویروس باشد، ۰/۵ شته در هر گیاه برآورد شده است (Mackenzie, 1986). در اروپا و انگلستان، سطوح مختلفی از مقاومت شته کاهو نسبت به گروه مختلفی از حشره‌کش‌ها از جمله فسفات‌ها، کاربامات‌ها و پیرتروئیدهای ترکیبی مشاهده شده است (Barber *et al.*, 1998; Kift *et al.*, 2004). منشأ شته کاهو شمال اروپا بوده و در حال حاضر در اکثر مناطق اروپا (فرانسه، آلمان، ایتالیا،

www.SID.ir

Archive of SID

روسیه و انگلیس)، آسیا، شمال و جنوب آمریکا (کالیفرنیا و آریزونا)، آمریکای جنوبی (آرژانتین) و اخیراً در نیوزلند (۲۰۰۲) و استرالیا (۲۰۰۴) انتشار یافته است (Mackenzie & Vernon, 1988; Palumbo, 1999; Blackman & Eastop, 2000; Stufkens & Teulon, 2003; McDougall & Creek, 2007). این آفت برای اولین بار از ایران در سال ۱۳۷۳، از روی گیاه *Crepis* sp.(Asteraceae) (البرز مرکزی) گزارش شده است (Rezvani, 2010). باقری و همکاران (۱۳۸۷) نیز برای اولین بار این گونه را به عنوان مهم‌ترین شته کاهو از جنوب استان خوزستان گزارش نمودند (Bagheri *et al.*, 2008).

در حال حاضر موفق‌ترین و مؤثرترین سیستم‌های مدیریت تلفیقی آفات بر پایه استفاده از روش‌های غیرشیمیایی استوار می‌باشند. تولیدکننده‌های کاهو در سواحل مرکزی کالیفرنیا، اسپانیا، نیوزلند و استرالیا برای مدیریت و کنترل شته *N. ribisnigri* بر کنترل بیولوژیک تکیه دارند (Nebreda *et al.*, 2005; McDougall & Creek, 2007; Bugg *et al.*, 2008; Smith *et al.*, 2008; Hopper *et al.*, 2011). گروه‌های مختلفی از دشمنان طبیعی در مقایسه با سموم با طیف گسترده، در دستیابی و کشتن این آفت مؤثر و موفق‌تر ظاهر شده‌اند، به ویژه این که به‌راحتی می‌توانند به دورن سرهای کاهو نفوذ یابند (Smith *et al.*, 2008). مهم‌ترین انگل‌واره شته‌ها متعلق به زنبورهای زیرخانواده Aphidiinae هستند (Bennison, 1992; He *et al.*, 2006). زنبور *Aphidius matricariae* Haliday (Braconidae) انگل‌واره مهم گونه‌های مختلف شته می‌باشد که دارای گسترش جهانی بوده و به‌ویژه در شرایط اقلیمی معتدل بسیار فعال است (Rabasse & Shalaby, 1980; Polgar, 1987; Shijko, 1989; Hagvar & Hofsvang, 1991; Zamani *et al.*, 2007; Tahiri Adabi *et al.*, 2010; Rezaei *et al.*, 2019). این زنبورها، انگل‌واره داخلی و انفرادی شته‌ها هستند که با قدرت بالای جستجوگری، بیشترین پتانسیل را در کنترل شته‌های گلخانه و مزارع دارند، حتی اگر تراکم شته‌ها اندک باشد (Hart *et al.*, 1978; Reed *et al.*, 1992; Zamani *et al.*, 2012; Shrestha *et al.*, 2014). تاکنون مطالعات اندکی روی دشمنان شته کاهو در ایران صورت گرفته است (Farsi *et al.*, 2014 & 2019)، در بررسی‌های Farsi *et al.* (2014) بر روی دشمنان طبیعی شته کاهو در استان خوزستان، ده گونه شکارگر و دو گونه انگل‌واره شناسایی گردید که در این میان گونه‌های *Scymnus levaillanti* Mulsant.، *Episyrphus balteatus* De Geer و *A. matricariae* به‌ترتیب با فراوانی نسبی ٦٨، ٤٥ و ٩٤ درصد گونه غالب شکارگرها، مگس‌های سیرفید و انگل‌واره‌ها بودند. انگل‌واره *Praon volucre* Haliday گونه دیگری است که از روی شته کاهو شناسایی گردید. همچنین Farsi *et al.* (2019) با بررسی تأثیر دما روی پراسنجه‌های جدول زندگی *A. matricariae*، دامنه دمایی ۲۰– ۲۵ درجه سلسیوس را به عنوان دمای مناسب برای مهار زیستی شته کاهو توسط این زنبورگزارش نمودند.

معیارهای مختلفی برای ارزیابی و انتخاب عوامل مهار زیستی از جمله انگل‌واره‌ها وجود دارد (Hassell, 2000). یکی از این روش‌ها ارزیابی پراسنجه‌های رفتاری انگل‌واره با استفاده از مدل‌های مربوط به سیستم میزبان– انگل‌واره می‌باشد (Hassell & Varely, 1969). از جمله این پراسنجه‌ها می‌توان به تأثیر تراکم‌های مختلف میزبان بر میزان پارازیتیسم (واکنش تابعی) و تغییر در تعداد افراد انگل‌واره در واکنش به تغییرات تراکم میزبان (واکنش عددی) اشاره نمودکه تعیین آنها برای ارزیابی توانایی انگل‌واره‌ها در تنظیم جمعیت آفات و مقایسه کارایی آنها در کنترل جمعیت میزبان اهمیت دارد (Solomon, 1949; Holling, 1959). واکنش تابعی، پایه و اساس مطالعات شکارگری و پارازیتیسم در برنامه های کنترل بیولوژیک کلاسیک و کاربردی و نیز مدیریت تلفیقی آفات محسوب می‌شود (Bernal *et al.*, 1994). مطالعه رفتار جستجوگری انگل‌واره نیازمند فهم تأثیر انگل‌واره بر جمعیت میزبان و سازگاری آن (موفقیت زادآوری) است. بدین ترتیب که انگل‌واره در رویارویی با افزایش تراکم میزبان، اغلب با تغییر میزان تخمگذاری، توانایی خود را در پارازیتیسم نشان می‌دهد (Hassell & Varely, 1969; Wajnberg *et al.*, 2008).

www.SID.ir

Archive of SID

واکنش تابعی با مجموعه‌ای از عوامل محیطی و رفتاری تعیین می‌شود. پراسنجه‌های واکنش تابعی، قدرت جستجوگری یا ثابت حمله (a) و زمان دستیابی (T_h) هستند که شاخص‌های مناسبی برای مقایسه کارایی انگل واره‌ها و شکارگران می‌باشند. در حقیقت واکنش تابعی یک پدیده رفتاری مانند جستجو می‌باشد. در حالی که واکنش عددی یک راهبرد از سوی ماده بالغ است تا در زمان فراوانی میزبان بر تعداد نتاج خود بیافزاید. در حقیقت این واکنش از سوی ماده بالغ مجموعه‌ای از ویژگی‌های رفتاری مانند تجمع و ویژگی‌های دموگرافی مانند تولیدمثل که نشان‌دهنده شایستگی یک دشمن طبیعی می‌باشد را با هم شامل می‌شود (Solomon, 1949; Holling, 1966). سه نوع متفاوت واکنش تابعی توسط Holling (1959) ارائه شد. در واکنش تابعی نوع اول، با افزایش تراکم میزبان، تعداد میزبان‌های مورد حمله قرار گرفته به صورت خطی افزایش می‌یابد تابه یک مقدار حداکثر برسد، ولی در ادامه با افزایش تراکم میزبان، این مقدار ثابت باقی می‌ماند.در واکنش تابعی نوع دوم که در میان حشرات (مانند انگل‌واره‌ها) بسیار رایج است، انگل‌واره به صورت وابسته به عکس تراکم میزبان عمل می‌کند، یعنی با افزایش تراکم میزبان، درصد میزبان‌های پارازیت شده کاهش می‌یابد. در واکنش تابعی نوع سوم، انگل‌واره در یک محدوده معین از تراکم‌های میزبان به افزایش تراکم آن واکنش مثبت نشان می‌دهد و متناسب با آن بر درصد میزبان‌های پارازیت شده خود می‌افزاید (افزایش قدرت جستجوگری یا کاهش زمان دستیابی) و به همین دلیل، نقش این نوع از واکنش تابعی در کنترل جمعیت آفات از نوع دوم مؤثرتر است (Holling, 1959; vak Lenteren & Bakker, 1976). واکنش تابعی نوع سوم (سیگموییدی)، بیشتر در مهره‌داران شکارگر گزارش شده است، اما تعداد زیادی از بی‌مهرگان نیز دارای این نوع واکنش تابعی هستند (Holling, 1959). طبق بررسی برخی محققین، واکنش تابعی گونه‌های مختلف زنبورهای انگل‌واره خانواده Braconidae از جمله *A. matricariae*، *A. colemani* Viereck، *A. ervi* Haliday، *A. gifuensis* Ashmead و *Diaeretiella rapae* M'Intosh از نوع دوم و *P. volucre* از نوع سوم گزارش شده است (Fathipour *et al*., 2006; Zamani, *et al*., 2006; Tahriri *et al*., 2007; Bazyar, *et al.,* 2011; Hajrahmatollahi *et al*., 2015; Pasandideh *et al*., 2015; Zafar Khan *et al*., 2016; Tazerouni *et al*., 2016 & 2017; Mottaghinia *et al*., 2017).

استفاده از روش مهار زیستی در مدیریت آفات زمانی موفقیت‌آمیز خواهد بود که جنبه‌های مختلف زیستی، بوم شناختی و رفتاری دشمنان طبیعی به دقت مورد مطالعه و بررسی قرارگیرد. از آن‌جایی که مطالعات بسیار اندکی روی انگل‌واره‌های شته کاهو در ایران صورت گرفته است (Farsi *et al*., 2014 & 2019)، لازم دانسته شد واکنش تابعی و عددی زنبور *A. matricariae* انگل‌واره مهم شته کاهو *N. ribisnigri* مورد بررسی قرار گیرد. بی شک توجه به عملکرد همزمان این دو پدیده بینش بهتری را برای ارزیابی شایستگی دشمن طبیعی در کنترل آفت فراهم می‌آورد. همچنین از نتایج حاصله می‌توان علاوه بر شناخت بخشی از سیستم میزبان انگل‌واره در قالب پراسنجه‌های رفتاری، در ارزیابی میزان کارایی زنبور در کنترل شته کاهو و همچنین افزایش کارایی تکنیک‌های پرورش انبوه زنبور انگل‌واره استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

پرورش شته *Nasonovia ribisnigri* و انگل‌واره *Aphidius matricariae*

به منظور تهیه میزبان برای انگل‌واره‌ها، مراحل مختلف رشدی شته‌های *N. ribisnigri* از روی کاهوهای آلوده در مزرعه به آزمایشگاه منتقل شدند. به منظور تشکیل کلنی شته، از ظروف طلقی و استوانه‌ای شکلی به قطر دهانه ۷ و ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر استفاده شد. درون هر یک از این ظروف، شیشه‌ای به قطر دهانه ۲/۵ و ارتفاع ۷/۵ سانتی‌متر حاوی آب گذاشته و در هر یک از آنها یک برگ کاهو قرار داده شد. بر روی هر برگ مراحل مختلف شته اعم از پوره، ماده بی‌بال و بال‌دار رهاسازی شده و برای جلوگیری از ورود شته‌ها به آب، اطراف هر برگ توسط پنبه به خوبی پوشانیده شد. به منظور تهویه، بر روی درپوش ظروف

www.SID.ir

Archive of SID

پلاستیکی سوراخی تعبیه گردید و روی آن یک پارچه توری ریز بافت قرار گرفت (Diaz & Fereres, 2005).

برای پرورش زنبور انگل‌وارهٔ *A. matricariae*، شته‌های مومیایی از روی برگ‌های جمع‌آوری شده از مزرعه کاهو، جدا شده و به طور جداگانه به داخل ظروف پتری به ابعاد ۱×۶ سانتی‌متر منتقل شدند. پس از خروج زنبور، پتری-های حاوی زنبور درون سبدهای پرورشی به ابعاد ۲۹×۲۹×۴۲ سانتی‌متر که بدنه آن به منظور تهویه سوراخ شده و با یک پارچه توری ریز بافت برای تهویه پوشیده شده بود، قرار داده شد و در آنها باز شد تا زنبورها بر روی کاهوهای آلوده به شته مستقر شده و تخمریزی نمایند. تغذیه زنبورها با محلول آب و عسل ۲۰ درصد انجام گرفت. پرورش حشرات مورد استفاده در این تحقیق در دمای ۱±۲۰ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و دوره نوری ۱۶:۸ ساعت (تاریکی:روشنایی) در اتاقک رشد صورت گرفت.

آزمایش واکنش تابعی انگل‌واره *A. matricariae*

این آزمایش در تراکم‌های ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۳۲ و ۶۴ عدد پوره سن سه شته انجام شده و برای هر تراکم ۱۰ تکرار در نظر گرفته شد. برای این منظور پس از تهیه برگ‌های کاهو و قرار دادن آنها در ظرف‌های استوانه‌ایی، برگ‌ها به طور جداگانه با تراکم‌های مورد نظر از شته کاهو آلوده شد و ۶۰ جفت زنبور انگل‌واره نر و ماده با کمتر از ۲۴ ساعت عمر به‌طور جداگانه بر روی آنها رهاسازی شدند. سپس ظرف‌ها در اتاقک رشد با دمای ۱±۲۰ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و دوره نوری ۱۶:۸ ساعت (تاریکی:روشنایی) نگه‌داری شدند. بعد از گذشت ۲۴ ساعت پارازیتوائیدها از داخل ظروف حذف شدند. در نهایت با سرکشی روزانه به ظرف‌ها، با تشکیل مومیایی‌ها، تعداد شته‌های پارازیته شده شمارش و ثبت شد (Zamani, *et al*., 2006; Tahriri *et al*., 2007).

برای تعیین نوع واکنش تابعی و پراسنجه‌های حاصل از آن از روش دو مرحله‌ای Juliano (2001) استفاده شد. ابتدا در مرحله اول داده‌ها با استفاده از تابع لجستیک چند جمله‌ای (معادله ۱) زیر برازش شدند:

$$\frac{N_a}{N_0} = \frac{\exp(P_0+P_1N_0+P_2N_0^2+P_3N_0^3)}{1+\exp(P_0+P_1N_0+P_2N_0^2+P_3N_0^3)} \quad \text{معادله (۱)}$$

در این معادله، N_a تعداد میزبان پارازیته شده، N_0 تعداد میزبان اولیه در اختیار انگل‌واره و P_0، P_1، P_2 و P_3 به ترتیب عرض از مبداء، قسمت خطی، درجه دو و درجه سه بوده که با شیب منحنی واکنش تابعی مرتبط بوده و با استفاده از رویه CATMOD در برنامه آماری SAS 9.1 محاسبه شدند. منفی یا مثبت بودن شیب قسمت خطی (P_1) به‌ترتیب نشان‌دهنده واکنش تابعی‌های نوع دوم و سوم می‌باشد (Juliano, 2001).

در مرحله دوم پس از تعیین نوع واکنش تابعی برای برآورد پراسنجه‌ها از مدل ترجیحی رگرسیون غیر خطی حداقل مربعات تعداد میزبان‌های پارازیته شده به تعداد میزبان اولیه و رویه NLIN در برنامه آماری SAS 9.1 استفاده شد (Juliano, 2001). از آنجایی که تراکم شته‌ها در مدت زمان آزمایش ثابت نبود و میزبان پارازیته شده در طی زمان آزمایش جایگزین نشد، از مدل نوع دوم راجرز (Rogers, 1972) برای تعیین پراسنجه‌های واکنش تابعی نوع دوم (معادله ۲) استفاده شد.

$$N_a = N_0\{1-\exp[a(T_hN_0-T)]\} \quad \text{معادله (۲)}$$

در این مدل a نرخ حمله یا قدرت جستجو، T_h زمان دستیابی و T کل زمانی که انگل‌واره و میزبان در تماس با یکدیگرند (۲۴ ساعت). علاوه بر پراسنجه‌های قدرت جستجو و زمان دستیابی، میزان برازش داده‌های واکنش تابعی با مدل بر اساس مقدار ضریب تبیین (r^2) و حداکثر میزان پارازیتیسم برآورد شده (T/T_h) نیز محاسبه شدند (Hassell, 2000).

آزمایش واکنش عددی انگل‌واره *A. matricariae*

این آزمایش در تراکم‌های ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۳۲ و ۶۴ عدد پوره سن سه شته انجام شده و برای هر تراکم ۱۰ تکرار در نظر گرفته شد. روش انجام آن مشابه روش انجام شده در آزمایش قبلی می‌باشد، با این تفاوت که هر جفت انگل‌واره

www.SID.ir

Archive of SID

نر و ماده هر روز به یک ظرف استوانه‌ایی جدید که حاوی برگ و پوره تازه است، منتقل شدند. این جابجایی هر روز تا پایان عمر زنبور ماده ادامه یافت. زنده‌مانی و باروری زنبور تا آخر عمر هر زنبور انگل‌واره ماده ثبت شد. مقایسه میانگین داده‌ها در هر تراکم با روش LSD و در سطح ۵ درصد با استفاده از برنامه آماری SAS 9.1 و رسم منحنی‌ها با استفاده از از نرم‌افزار SigmaPlot 11.0 صورت گرفت.

نتایج

بررسی واکنش تابعی انگل‌واره *A. matricariae*

منحنی‌های واکنش تابعی انگل‌واره *A. matricariae* نسبت به تغییرات تراکم شته میزبان در دمای ۲۰ درجه سلسیوس در شکل یک نشان داده شده است. مقادیر منفی به‌دست آمده برای شیب خطی (P_1) منحنی درجه سه رگرسیون لجستیک نشان‌دهنده واکنش تابعی نوع دوم می‌باشد (جدول ۱). بدین معنی که انگل‌واره نسبت به تراکم‌های مختلف میزبان خود به صورت وابسته به عکس تراکم عمل کرده است. در این وضعیت با افزایش تراکم میزبان، نسبت میزبان‌های پارازیته شده به‌تدریج کاهش می‌یابد و منحنی حاصله در نهایت به صورت مجانب در می‌آید (شکل ۲). در این بررسی با استفاده از معادله راجرز قدرت جستجو (a) و زمان دستیابی (T_h) انگل‌واره *A. matricariae* به‌ترتیب ۰/۰۳۶۷ بار بر ساعت و ۰/۴۱۱۴ ساعت به‌دست آمد (جدول ۲). حداکثر نرخ حمله (T/T_h) یا نسبت کل زمان آزمایش به زمان دستیابی به‌عنوان شاخصی مناسب به منظور تعیین حداکثر پارازیتیسم یک انگل‌واره در روز استفاده می‌شود، که این مقدار ۵۸/۳۳ پوره میزبان با ضریب تبیین (r^2) ۰/۹۴۷ محاسبه شد.

جدول ۱– نتایج رگرسیون لجستیک نسبت پوره‌های سن سوم شته کاهو *Nasonovia ribisnigri* پارازیته شده توسط زنبور انگل‌واره *Aphidius matricariae*

Table 1. Logistic regression analyses of the proportion of *Nasonovia ribisnigri* third instar nymphs parasitized by *Aphidius matricariae*

Parameters	Estimate	SE	Chi– squares	*P*
Constant (P_0)	0.83	0.36	5.16	0.02
Linear (P_1)	–0.05	0.05	0.79	0.37
Quadratic (P_2)	0.0006	0.002	0.10	0.75
Cubic (P_3)	–3.16 E–6	0.00002	0.02	0.88

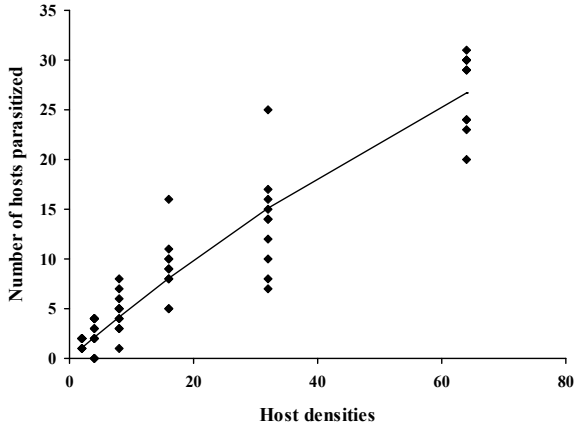
جدول ۲– مقادیر برآورد شده برای قدرت جستجوگری، زمان دستیابی و حداکثر نرخ حمله توسط مدل نوع دوم راجرز انگل‌واره *Aphidius matricariae* نسبت به پوره‌های سن سوم شته کاهو *Nasonovia ribisnigri*

Table 2. Estimated parameters of searching efficiency (a), handling time (T_h) and maximum attack rate (T/T_h) by the Rogers type II equation for *Aphidius matricariae* on third instar nymphs of *Nasonovia ribisnigri*

Rogers type	Estimate	Approximate 95% CL		Maximum attack rate (T/T_h)	r^2
		Lower	Upper		
II				58.33	0.947
Searching efficiency (a)	0.0367±0.0051	0.0265	0.0469		
Handling time (T_h)	0.4114±0.0941	0.2233	0.5994		

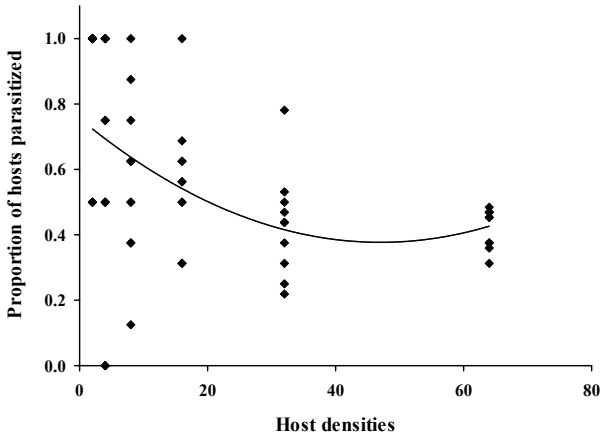
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱– واکنش تابعی انگل‌واره *Aphidius matricariae* نسبت به تراکم‌های مختلف پوره‌های سن سوم شته کاهو *Nasonovia ribisnigri*

Fig. 1. Functional response of *Aphidius matricariae* on different density of third instar nymphs of *Nasonovia ribisnigri*



شکل ۲– نسبت میزبان‌های پارازیته شده توسط انگل‌واره *Aphidius matricariae* نسبت به تراکم‌های مختلف پوره‌های سن سوم شته کاهو *Nasonovia ribisnigri*

Fig. 2. Proportion of hosts parasitized by *Aphidius matricariae* on different density of third instar nymphs of *Nasonovia ribisnigri*

بررسی واکنش عددی انگل‌واره *A. matricariae*

مقایسه میانگین تعداد شته‌های مومیایی شده در طول زندگی انگل‌واره‌های ماده *A. matricariae* نشان داد که با افزایش تراکم میزبان، میانگین تعداد کل شته‌های مومیایی شده به‌طور معنی‌داری از ۷/۸ عدد در تراکم ۲ به ۱۴۰/۷ عدد در تراکم ۶۴ میزبان افزایش یافت ($P<$۰/۰۰۰۱، ۵، df=۵۴، F=۱۲۶/۴۶) (جدول ۳). همچنین تراکم ۴ میزبان اختلاف معنی‌داری با تراکم‌های ۲ و ۸ نشان نداد. آنالیز رگرسیون همچنین رابطه غیرخطی مثبتی را میان تعداد شته‌های مومیایی شده توسط انگل‌واره ماده و افزایش تراکم میزبان نشان داد ($P<$۰/۰۰۰۱، ۳، df=۵۷، F=۳۰۴/۱۸ و R^2=۰/۹۵۶) (شکل ۳).

www.SID.ir

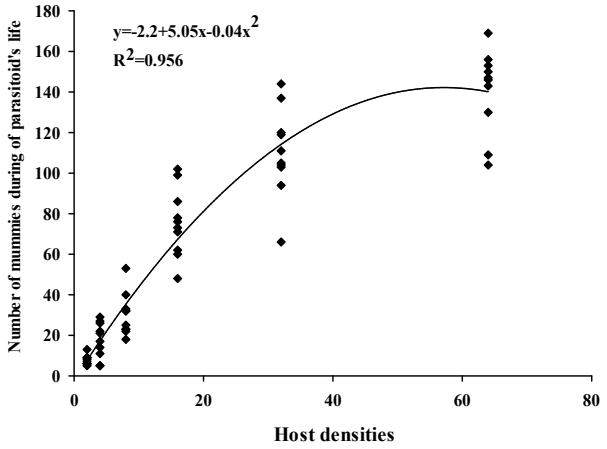
Archive of SID

جدول ۳- میانگین (± خطای استاندارد) تعداد کل مومیایی‌های پارازیت شده در طول زندگی انگل‌واره *Aphidius matricariae* در تراکم‌های مختلف شته میزبان، *Nasonovia ribisnigri*

Table 3. Mean (±SE) total number of mummies parasitized during the life of *Aphidius matricariae* at different density of host, *Nasonovia ribisnigri*

Host Density	Mean± SE	N (Range)
2	7.8± 0.74 e*	10 (5–13)
4	17.7± 2.77 de	10 (5–29)
8	30.10± 3.29 d	10 (18–53)
16	75.5±5.35 c	10 (48–102)
32	110.3± 6.96 b	10 (66–144)
64	140.7± 6.50 a	10 (104–169)

*Means in each column followed by the same letters are not significantly different at $P<0.05$ (LSD test).



شکل ۳- تعداد مومیایی‌های تولید شده در طول زندگی انگل‌واره *Aphidius matricariae* در تراکم‌های مختلف پوره‌های سن سوم شته کاهو *Nasonovia ribisnigri*

Fig. 3. Number of mummies parasitized during the life of *Aphidius matricariae* at different density of third instar nymphs of *Nasonovia ribisnigri*

بحث

در برنامه مهار زیستی، مطالعه واکنش تابعی قبل از رهاسازی هر دشمن طبیعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. واکنش تابعی یکی از اجزای مهم پویایی جمعیت است و نوع آن یکی از عوامل مهم در انتخاب دشمن طبیعی مناسب برای استفاده در برنامه‌های مهار زیستی می‌باشد. نوع واکنش تابعی و پراسنجه‌های آن می‌تواند تحت تاثیر عواملی از قبیل گیاه میزبان، تراکم میزبان، رطوبت نسبی، سن دشمن طبیعی، دما، نوع طعمه یا میزبان تغییر کند (Allahyari *et al*., 2004). در واکنش تابعی، هرگاه پارازیتیسم به صورت وابسته به تراکم میزبان تغییر کند، انگل‌واره بهتر می‌تواند جمعیت میزبان را تنظیم نماید و از آن‌جایی که فقط در واکنش تابعی نوع سوم حداقل در محدوده معینی از تراکم میزبان چنین اتفاقی می‌افتد، بر این اساس می‌توان واکنش نوع سوم را ویژگی مطلوب‌تری برای یک انگل‌واره در نظر گرفت (O'Neil, 1990). با این حال تحقیقات تجربی نشان دادند که که در انگل‌واره‌ها، واکنش تابعی نوع دوم رایج‌تر است (Holling, 1959; vak Lenteren & Bakker, 1976).

www.SID.ir

Archive of SID

در بررسی حاضر، واکنش تابعی زنبور انگل‌واره *A. matricariae* نسبت به تغییرات تراکم شته کاهو *N. ribisnigri*از نوع دوم بود. مشابه با نتایج این تحقیق، واکنش تابعی *A. matricariae* در تراکم‌های مختلف شته جالیز (Zamani *et al*., 2006; Amini *Aphis gossypii* Glover، شته سبز هلو *Myzus persicae* Sulzer; Jam *et al*., 2012) (Hart *et al*., 1978; Tazerouni, *et al*., 2016; Rezaei *et al*., 2019)، شته سیاه باقلا *A. faba* Scopoli; (Tahriri *et al*., 2007) و شته معمولی گندم *Schizaphis graminum* Rodani (Hajrahmatollahi *et al*., 2015) نیز از نوع دوم گزارش شده است. این در حالی است که Rashki *et al*. (2013) واکنش تابعی زنبور انگل‌واره *A. matricariae* نسبت به تراکم‌های مختلف شته سبز هلو را از نوع سوم گزارش داد. همچنین بررسی‌های Tazerouni *et al*. (2017) روی واکنش تابعی وابسته به سن زنبور *A. matricariae* بر روی شته جالیز *A. gossypii* نشان دادند که واکنش تابعی این انگل‌واره در روزهای اول، دوم، سوم، چهارم و پنجم عمر زنبور از نوع سوم و در روز ششم عمر از نوع دوم بود. این نکته نیز باید در نظر گرفته شود که در شرایط آزمایشگاهی اغلب دشمنان طبیعی به دلیل محدود شدن در یک محیط کوچک برای مدت زمان مشخص اغلب واکنش تابعی نوع دوم نشان می‌دهند، اما در شرایط طبیعی به دلیل امکان حرکت آزادانه بین پچ‌های مختلف ممکن است واکنش تابعی از نوع سوم را نشان دهند (Montoya *et al*., 2000). همچنین، در انگل‌واره‌ها و شکارگرها علت بروز کمتر واکنش تابعی نوع سوم در شرایط آزمایشگاهی ممکن است مربوط به در دسترس بودن بیشتر میزبان یا طعمه در تراکم‌های پایین نسبت به شرایط طبیعی باشد (van Lenteren & Bakker, 1976). به همین دلیل در میان زنبورهای انگل‌واره، واکنش تابعی نوع دوم نسبت به نوع سوم معمول‌تر است (Collins *et al*., 1981). همچنین، در بررسی‌های آزمایشگاهی انگل‌واره‌ها مجبور به باقی ماندن در لکه هستند، در حالی که در شرایط طبیعی مزرعه، زنبورها احتمالاً در هنگام پایین آمدن تراکم میزبان و یا زمانی که تعداد زیادی از میزبان‌ها پارازیته شده باشند، اقدام به ترک لکه زیستگاهی خواهند کرد. بنابراین در شرایط مزرعه ممکن است واکنش تابعی نوع سوم معمول باشد (Collins *et al*., 1981). بررسی‌های انجام شده نشان داده است که واکنش تابعی زنبور انگل‌واره *Aphelinus thomsoni* Graham نسبت به شته *Drepanosiphum plantanoidis* Schrank موقعی که به انگل‌واره‌ها اجازه مهاجرت از منطقه آزمایشی داده می‌شد از نوع سیگموئیدی (نوع سوم) بوده و زمانی که زنبورها در محیط بسته‌ای روی میزبان برای مدت ثابتی قرار داشتند، از نوع دوم بوده است (Collins *et al*., 1981). همچنین پیچیدگی فضایی درون لکه زیستگاهی، یکی دیگر از عواملی است که منجر به بروز واکنش تابعی نوع سوم در انگل‌واره‌ها می‌شود که بندرت به این عامل در بررسی‌های آزمایشگاهی پرداخته شده است (Walde & Murdoch, 1988). علاوه بر این، بررسی‌ها همچنین نشان دادند که پراکنش میزبان‌ها درون لکه نیز می‌تواند بر پارازیتیسم زنبور تأثیرگذار باشد (Cheke, 1974). به عنوان مثال، میزان پارازیتیسم انگل‌واره *Encarsia formosa* Gahan در زمانی که پراکنش میزبان تجمعی بود، خیلی بیشتر از زمانی بود که پراکنش آن به صورت تصادفی بود (Burnett, 1958). بنابراین افزایش فضای جستجو (به عنوان مثال فاصله بین میزبان‌ها) منجر به تغییر واکنش تابعی زنبور از نوع اول به سوم شد (Burnett, 1958). به عقیده Cornell, & Pimentel (1978) ترجیح میزبانی و یادگیری، دو جنبه مهم رفتاری انگل‌واره‌ها هستند که منجر به وقوع واکنش تابعی نوع سوم در مزرعه می‌شود.

یکی از روش‌های تعیین کارایی یک انگل‌واره از طریق تعیین نوع واکنش تابعی و مقادیر پراسنجه‌ای آن یعنی قدرت جستجو (نرخ افزایش پاسخ انگل‌واره به تراکم میزبان) و زمان دست‌یابی است (Hassell, 1982). در همین راستا قدرت جستجوی بالا و زمان دست‌یابی کوتاه در ارتباط با زمان در دسترس، ویژگی خوب برای یک دشمن طبیعی به شمار می‌آید. قدرت جستجوی بالا تعیین می‌کند که منحنی واکنش تابعی با چه سرعتی به بالاترین قسمت خود می‌رسد و باعث می‌شود که دشمنان طبیعی، جمعیت

www.SID.ir

Archive of SID

میزبان خود را در سطح پایین‌تر از سطح زیان اقتصادی کنترل کند (Bazyar *et al*., 2011).

در بررسی‌های Rezaei *et al*., (2019) روی واکنش تابعی *A. matricariae* نسبت به تراکم‌های *M. persicae nicotianae* Blackman ارتباط معنی‌داری بین لگاریتم تراکم انگل‌واره و لگاریتم قدرت جستجوی سرانه آن وجود داشت. بدین ترتیب که میزان پارازیتیسم زنبور با افزایش تراکم میزبان و کاهش تراکم انگل‌واره افزایش یافت. مطابق نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، میزان قدرت جستجو (a) و زمان دستیابی (T_h) انگل‌واره *A. matricariae* به‌ترتیب ۰/۰۳۶۷ بار برساعت و ۰/۴۱۱۴ ساعت برآورد شد. در تحقیق حاضر مقدار بالای ضریب تبیین محاسبه شده (r^2) به میزان ۰/۹۴۷ نشان داد که معادله راجرز به خوبی واکنش تابعی انگل‌واره *A. matricariae* را با پارازیته نمودن پوره‌های سن سوم شته کاهو *N. ribisnigri* توصیف می‌کند. از آن‌جایی که زمان دستیابی شامل عملیاتی غیر از جستجوی میزبان، از قبیل یافتن میزبان، زمان لازم برای پروب کردن میزبان، پارازیته کردن آن، استراحت و تمیز کردن خود و خوردن آب یا نوشیدن شیره گیاهی در انگل‌واره‌ها می‌باشد. بر این اساس، طولانی شدن هر کدام از این مراحل از جمله طولانی شدن زمان تخم‌ریزی یا استراحت‌های کم و بیش طولانی می‌تواند باعث افزایش غیر واقعی زمان دستیابی شود(Allahyari *et al*., 2004). در منحنی واکنش تابعی، بالاترین قسمت منحنی (حداکثر میزان پارازیتیسم) توسط زمان دستیابی تعیین می‌شود. نتایج و منحنی‌های به‌دست آمده در این تحقیق همچنین نشان داد که در این آزمایش باید تراکم‌های بالاتری از میزبان (حداقل یک تراکم بالاتر از ۶۴ شته) در اختیار انگل‌واره قرار گیرد تا بتواند حد بالای پارازیتیسم را در این زنبور مشخص کند. به این معنی که تراکم‌های بالاتری از شته باید در اختیار انگل‌واره قرار گیرد تا شیب منحنی به صفر یا نزدیک به آن برسد. امینی‌جم و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی واکنش تابعی انگل‌واره *A. matricariae* بر روی شته جالیز، میزان پراسنجه نرخ حمله و زمان دستیابی را به‌ترتیب ۰/۰۶۴۵ بار بر ساعت و ۰/۴۶۰۷ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس تخمین زدند. بر اساس نتایج آن‌ها، حداکثر نرخ پارازیتیسم ۵۲/۰۹ پوره میزبان و ضریب تبیین ۰/۹۳ به‌دست آمد (Amini Jam *et al*., 2012). همچنین در بررسی‌های Tazerouni *et al* (2016) حداکثر نرخ پارازیتیسم انگل‌واره *A. matricariae* روی شته سبز هلو *M. persicae*، ۵۲/۱۷ پوره میزبان ثبت شد که به نتایج تحقیق حاضر نزدیک می‌باشد. Zamani *et al.* (2006) در بررسی اثر دما روی واکنش تابعی انگل‌واره *A. matricariae* نسبت به پوره‌های سن سوم شته جالیز مشاهده نمودند که نرخ حمله انگل‌واره *A. matricariae* با افزایش دما به صورت خطی افزایش یافت و تا دمای ۲۰ درجه سلسیوس به حداکثر رسید و سپس در دمای ۳۰ درجه کاهش یافت. در بررسی آن‌ها زمان دستیابی ۱/۰۱ ساعت به‌دست آمد. در گزارشات Tahriri *et al.* (2007) با استفاده از هر دو مدل هولینگ و راجرز، قدرت جستجو (a) و زمان دستیابی (T_h) انگل‌واره *A. matricariae* در واکنش به تراکم‌های مختلف شته سیاه باقلا به‌ترتیب ۰/۰۴۰ بار بر ساعت و ۳/۴۳۹ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به‌دست آمد. همچنین با افزایش تراکم انگل‌واره از یک تا ۵ عدد، کارایی جستجوگری نیز به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب از ۰/۲۷۲ تا ۰/۱۳۹ بار بر ساعت کاهش یافت. نتایج بررسی‌های Hajrahmatollahi *et al*. (2015) روی ترجیح میزبانی و تأثیر دما بر واکنش تابعی انگل‌واره *A. matricariae* در تراکم‌های مختلف شته معمولی گندم نشان داد که این زنبور، پوره‌های سن سوم شته را به دیگر سنین پورگی و حشره کامل ترجیح داد و حداکثر پارازیتیسم در دو آزمون انتخابی و غیر انتخابی به ترتیب ۵/۱ و ۱۰/۳ پوره سن سوم به دست آمد. در تحقیق آن‌ها مشخص شد که انگل‌واره *A. matricariae* بیشترین کارایی را با اکتساب بیشترین مقدار جست و جو (۰/۱۰۵بار بر ساعت) و کمترین زمان دستیابی (۰/۷۱ ساعت) در دمای ۲۰ درجه سلسیوس دارد. در نتایج Tazerouni *et al* (2017)، کمترین زمان دستیابی (۰/۰۱۳±۰/۷۰ ساعت) و حداکثر نرخ پارازیتیسم انگل‌واره *A. matricariae* برابر ۳۴/۲۸ پوره سن سوم شته جالیز در روز اول عمر زنبور مشاهده شد.

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین در بررسی واکنش عددی این زنبور، رابطه غیر خطی مثبتی میان تعداد شته‌های مومیایی شده توسط انگل‌واره ماده و افزایش تراکم میزبان مشاهده شد. به‌طور مشابه، در بررسی استراتژی تولیدمثلی انگل‌واره *A. ervi* توسط He *et al.* (2006) در واکنش به تراکم شته نخود *Acyrthsiphon pisum* Harris نشان داده شد که میانگین تعداد شته‌های پارازیته شده توسط این زنبور در تمام دوره زندگی آن با افزایش تراکم میزبان افزایش یافته است. همچنین در بررسی‌های امینی‌جم و همکاران (۱۳۹۱) بر روی واکنش عددی انگل‌واره ماده *A. matricariae*، بین تعداد شته‌های مومیایی تولید شده در طول زندگی و تراکم‌های مختلف شته جالیز اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (Amini Jam *et al*., 2012). نتایج به‌دست آمده در این مطالعه با نتایج محققین بالا مطابقت دارد.

هر دو واکنش تابعی و عددی از عوامل مهم در پویایی جمعیت انگل‌واره– میزبان هستند و از مؤلفه‌های اساسی در انتخاب عوامل مهار زیستی مؤثر می‌باشند. بر همین اساس، در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات، مطالعه روابط متقابل انگل‌واره– میزبان بسیار ضروری می‌باشد. با این حال، علاوه بر واکنش تابعی، جنبه های مختلفی دیگری از جمله زمان و نرخ رهاسازی و نرخ ذاتی رشد جمعیت انگل‌واره‌ها، صفات میزبان و لکه‌های زیستگاهی آن، رقابت بین دشمنان طبیعی، شرایط آب و هوایی و آستانه‌های اقتصادی در موفقیت برنامه‌های مهار زیستی نقش بسزایی دارند که باید مورد توجه قرار گیرد. این عوامل در مزرعه ممکن است با واکنش تابعی در تعامل باشند و آن را به یک شاخص ضعیف و یا قوی از کیفیت عامل مهار زیستی تبدیل کنند (Fernandez–Arhex & Corley, 2003). در همین راستا، مطالعات آزمایشگاهی می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای استانداردهای کنترل کیفیت در برنامه‌های تولید انبوه دشمنان طبیعی و پروژه‌های مهار زیستی فراهم کند و ضروری است که به دنبال مطالعات آزمایشگاهی، شرایط نیمه– مزرعه‌ای و مزرعه‌ای فراهم شود تا نتایج آزمایشگاهی تکمیل و عملی شود و همه این عوامل در تعامل با یکدیگر مورد بررسی قرار گیرند (Malina & Praslicka, 2012).

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از معاونت و شورای محترم پژوهشی و فناوری دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز به خاطر تأمین بخشی از هزینه‌های طرح سپاسگزاری می‌شود.

References

Allahyari, H., Fard, P.A. & 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 (1): 39–43.

Amini Jam, N., Kocheyli, F., Mossadegh, M.S., Rasekh, A. & Saber, A. 2012. Effect of imidacloprid and pirimicarb on functional response of *Aphidius matricariae* Haliday (Hym: Braconidae) under laboratory conditions. Plant Pest Research, 2(3): 51–61. (In Persian with English summary)

Bagheri, S., Tavosi, M. & Dehghani, A. 2008. Introduction of *Nasonovia ribisnigri* (Mosely) (Hom.: Aphididae) as the most important lettuce aphid in south of Khuzestan province and study on the effect of cultivation date and lettuce cultivars on its population. Proceedings of the 18th Iranian Plant Protection Congress, 24 August, Hamedan. 79–80. (In Persian with English summary)

Barber, M.D., Moores, G.D., Tatchell, W.E. & Denholm, V.I. 1998. Insecticide resistance in the currant–lettuce aphid, *Nasonovia ribisnigri* (Hemiptera: Aphididae) in the UK. Bulletin of Entomological Research, 89(1): 17–23.

Bazyar, M., Hodjat, M. & Alichi, M. 2011. The functional response of *Aphidius ervi* (Haliday) (Hym.: Braconidae, Aphidiinae) to different densities of *Sitobion avenae* (Fabricius) (Hom.: Aphididae) on two wheat cultivars. Iran Agricultural Research, 30(1 & 2): 61–72. (In Persian with English summary)

Bennison, J.A. 1992. Biological control of aphid on cucumber, use of open rearing systems or banker plants to aid establishment of *Aphidius matricariae* and *Aphidoletes aphidomyza.* Medicine Faculty Landbouw University Gent, 57(2): 457–466.

Blackman, R.L. & Eastop, V.F. 2000. Aphids on the world crops: an identification and information guide. Second edition. Wiley, United Kingdom, 476 pp.

www.SID.ir

Archive of SID

Bugg, R.L., Colfer, R.G., Chaney, W.E., Smith, H.A. & Cannon, J. 2008. Flower flies (Syrphidae) and other biological control agents for aphids in vegetable crops. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, 8285: 1–25.

Bernal, J.S., Bellows, T.S. & Gonzalze, D. 1994. Functional response of *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Aphelinidae) to *Diuraphis noxia* (Homoptera: Aphididae). Journal of Applied Entomology, 118: 300–309.

Burnett, T. 1958. Effect of host distribution of the reproduction of *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera: Chalcidoidea). Canadian Entomologist, 90: 179–19.

Cheke, R.A. 1974. Experiments on the effect of host spatial distribution on the numerical response of parasitoids. Journal of Animal Ecology, 43: 107–114.

Chi, H. & Su, H.Y. 2006. Age–stage, two–sex life tables of *Aphidius gifuensis* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) and its host *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) with mathematical proof of the relationship between female fecundity and the net reproductive rate. Environmental Entomology, 35: 10–21.

Collins, M.D., Ward, S.D. & Dixon, F.G. 1981. Handling time and functional response of *Aphelinus thomsoni*, a predator and parasite of aphid *Drepanosiphum platanoidis*. Journal of Animal Ecology, 50: 479–487.

Cornell, H.V. & Pimentel, D. 1978. Switching in the parasitoid *Nasonia vitripennis* and its effects on hostcompetition. Ecology, 59: 297–308.

Diaz, B.M. & Fereres, A. 2005. Life table and population parameters of *Nasonovia ribisnigri* (Homoptera: Aphididae) at different constant temperatures. Environmental Entomology, 34(3): 527–534.

Farsi, A., Kocheili, F., Mossadegh, M.S., Rasekh, A. & Tavoosi, M. 2014. Natural enemies of the currant lettuce aphid, *Nasonovia ribisnigri* (Mosely) (Hemiptera: Aphididae) and their population fluctuations in Ahvaz, Iran. Journal of Crop Protection, 3(4). 487–497.

Farsi, A., Kocheili, F., Mossadegh, M.S. & Rasekh, A. 2019. Temperature–dependent life table parameters of *Aphidius matricariae* (Hym.: Braconidae), an important parasitoid of the currant lettuce aphid, *Nasonovia ribisnigri* (Hem.: Aphididae). Journal of Entomological Society of Iran, 38(4): 365–375.

Fathipour, Y., Hosseini, A., Talebi, A.A. & Moharramipour, S. 2006. Functional response and mutual interference of *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Aphidiidae) on *Brevicoryne brassicae* (Homoptera: Aphididae). Entomologica Fennica, 17: 90–97.

Fernandez–Arhex, V. & Corley, J.C. 2003. The Functional response of parasitoids and its implications for biological control. Biocontrol Science and Technology, 13(4): 403–413.

Hagvar, E.B. & Hofsvang, T. 1991. Aphid parasitoids (Hymenoptera: Aphidiidae): biology, host selection and use in biological control. Biocontrol News Information, 12(1): 13–41.

Hajrahmatollahi, F., Rashki, M. & Shirvani, A. 2015. Host stage preference and effect of temperature on functional response of *Aphidius matricariae* (Hym.: Aphididae) on common wheat aphid. Biological Control of Pests & Plant Diseases, 4(1): 65–72. (In Persian with English summary)

Hart, J.T., De Jonge, J., Colle, C., Dicke, M., Van Lenteren, J.C. & Ramakers, P. 1978. Host selection, host discrimination and functional response of *Aphidius matricariae* Haliday (Hymenoptera: Braconidae), a parasite of the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulz.). Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent, 43(2): 441–453.

Hassell, M.P. 1982.What is searching efficiency? Annals of Applied Biology, 101: 170–175.

Hassell, M.P. 2000. The spatial and temporal dynamics of host parasitoid interactions. Oxford University Press, London, UK, 200 pp.

Hassell, M P. & Varley, G.C. 1969. New inductive population model for insect parasites and its bearing on biological control. Nature, 223:1113–1137.

He, X.Z., Teulon, D.A.J. & Wang, Q. 2006. Oviposition strategy of *Aphidius ervi* (Hym.: Aphidiidae) in response to host density. New Zealand and Plant Protection, 59: 190–194.

Holling, C.S. 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. The Canadian Entomologist, 91: 385–398.

Holling, C.S. 1966. Functional response of invertebrate predators to prey density. Memoirs of the Entomological Society of Canada, 48: 1–86.

Hopper, J.V., Nelson, E.H., Daane, K.M. & Mills, N.J. 2011. Growth, development and consumption by four syrphid species associated with the lettuce aphid, *Nasonovia ribisnigri*, in California. Biological Control, 58: 271–276.

Juliano, S.A. 2001. Nonlinear curve fitting: predation and functional response curve. pp. 178–216. In: Scheiner, S. M. & Gurevitch, J. (eds.). Design and Analysis of Ecological Experiments. Oxford University Press, New York.

Kift, N.B., Mead, A., Reynolds, K., Sime, S., Barber, M.D., Denholm, I. & Tatchell, G.M. 2004. The impact of insecticide resistance in the currant–lettuce aphid, *Nasonovia ribisnigri*, on pest management in lettuce. Agricultural and Forest Entomology, 6: 295–309.

MacKenzie, J.R. 1986. Improved insect pest management of crisp head lettuce grown in S. W. British Columbia. Thesis (M. s). Simon Farser University, 150 pp.

www.SID.ir

Archive of SID

MacKenzie, J.R. & Vernon, R.S. 1988. Sampling for distribution of the lettuce aphid, *Nasonovia ribisnigri* (Homoptera: Aphididae), in fields and within heads. Journal of the Entomological Society of British Columbia, 85: 10–14.

Malina, R. & Praslicka, J. 2012. Effect of temperature on the developmental rate, longevity and parasitism of *Aphidius ervi* Haliday (Hymenoptera: Aphidiidae). Plant Protection Science, 44(1): 19–24.

McDougall, S. & Creek. A. 2007. Currant lettuce aphid *Nasonovia ribisnigri* (Mosley). Available in: http://www.dpi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0008/57572/currant_lettuce_aphid_primefact_155–final.pdf.

Montoya, P., Liedo, P., Benrey, B., Barrera, J.F., Cancino, J. & Aluja, M. 2000. 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.

Mottaghinia, L., Hasssanpour, M., Razmjou, J., Chamani, E. & Hosseini, M. 2017. Effect of vermicompost on functional response of the parasitoid wasp *Aphidius colemani* (Hym.: Braconidae) to the melon aphid, *Aphis gossypii* (Hem., Aphididae). Journal of Entomological Society of Iran, 37(1): 81–93.

Nebreda, M., Michelena, J.M. & Fereres, A. 2005. Seasonal abundance of aphid species on lettuce crops in central Spain and identification of their main parasitoids. Journal of Plant Diseases and Protection, 112(4): 405–415.

O' Neil, R.J. 1990. Functional response of arthropod predators and its role in the biological control of insect pests in agricultural systems. New Directions in Biological Control, 83–96.

Palumbo, J.C. 1999. Preliminary examination of the population dynamics and control of the lettuce aphid on romaine. Available in: http://ag.arizona.edu/pubs/crops/az1143.

Pasandideh, A. Talebi, A.A., Hajiqanbar, H. & Tazerouni, Z. 2015. Host stage preference and age–specific functional response of *Praon volucre* (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiinae) a parasitoid of *Acyrthosiphon pisum*. Journal of Crop Protection, 4: 563–575.

Polgar, L. 1987. Induced diapauses for a long term storage of *Aphidius matricariae.* SROP/WPRS Bulletin, 10(2): 152–154.

Rabasse, J.M. & Shalaby, F.F. 1980. Laboratory studies on the development of *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae) and its primary parasite, *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Aphidiidae) at constant temperatures. Oecologia Berlin, 1: 21–28.

Rashki, M., Kharazi Pakdel, A., Allahyari, H., Shirvani, A. & van Alphen, J.J.M. 2013. Effect of entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana*, on functional response and reproduction of parasitoid wasp, *Aphidius matricariae* Haliday (Hym.: Braconidae). Biological Control of Pests & Plant Diseases, 2(1): 43–52. (In Persian with English summary)

Reed, H.C., Reed, D.K. & Elliot, N.C. 1992. Comparative life table statistics of *Diaeretiella rapae* and *Aphidius matricariae* on the Russian wheat aphid. Southwestern Entomologist, 17(5): 307–312.

Rezaei, A., Talebi, A.A., Fathipour, Y. & Karimzadeh. J. 2019. Foraging behavior of *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Braconidae) on tobacco aphid*, Myzus persicae nicotianae* (Hemiptera: Aphididae). Bulletin of Entomological Research, 109(6): 840–848.

Rezvani, A. 2010. Aphids of Iranian herbaceous plants. Journal of Entomological Society of Iran. 564 pp.

Shijko, E.S. 1989. Rearing and applications of the peach aphid parasites, *Aphidius matricariae* Haliday (Hymenoptera, Aphidiidae). Acta Entomologica Fennica, 53: 53–56.

Shrestha, G., Skovgard, H. & Enkegaard, A. 2014. Parasitization of commercially available parasitoid species against the Lettuce Aphid, *Nasonovia ribisnigri* (Hemiptera: Aphididae). Environmental Entomology, 43(6): 1535–1541.

Smith, H.A., Chaney, W.E. & Bensen, T.A. 2008. Role of syrphid larve and other predators in suppressing aphid infestation in organic lettuce on California's central coast. Journal of Economic Entomology, 101(5): 1526–1532.

Solomon, M.E. 1949. The natural control of animal population. Journal of Animal Ecology, 18: 1–35.

Stufkens, M.A.W. & Teulon, D.A.J. 2003. Distribution, host range and flight pattern of the lettuce aphid in New Zealand. New Zealand Plant Protection, 56: 27–32.

Tahriri, S., Talebi, A.A., Fathipour, Y. & Zamani, A.A. 2007. Host stage preference, functional response and mutual interference of *Aphidius matricariae* (Hym.: Braconidae: Aphidiinae) on *Aphis fabae* (Hom.: Aphididae). Entomological Science, 10: 323–331.

Tahriri, S., Talebi, A.A., Fathipour, Y. & Zamani, A.A. 2010. Life history and demographic parameters of *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae) and its parasitoid, *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Aphidiidae) on four sugar beet cultivars. Acta Enetomologica Serbica, 15(1): 61–73.

Tazerouni, Z., Talebi, A.A. Fathipour, Y. & Soufbaf, M. 2016. Age–specific functional response of *Aphidius matricariae* and *Praon volucre* (Hymenoptera: Braconidae) on *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). Neotropical Entomology, 45: 642–651.

www.SID.ir

Archive of SID

Tazerouni, Z., Talebi, A.A. Fathipour, Y. & Soufbaf Sarjamei, M. 2017. Age–specific functional response of *Aphidius matricariae* and *Praon volucre* (Hym.: Braconidae) on *Aphis gossypii* (Hem.: Aphididae). Journal of Entomological Society of Iran, 36(4): 239–248.

Turlings, T.C.J., Wackers, F.L., Vet, L.E.M., Lewis, W.J. & Tumlinson, J.H. 1993. Learning of host–finding cues by hymenopterous parasitoids. pp. 53–77. *In*: Papaj, D. & Lewis, A. (eds.). Insect learning: ecological and evolutionary perspectives. Chapman & Hall, Routledge, New York.

van Lenteren, J.C. & Bakker, K. 1976. Functional responses in invertebrates. Netherlands Journal of Zoology, 26: 567–572.

Wajnberg, E., Bernstein, C. & van Alphen, J. 2007. 464 p. Behavioral ecology of insect parasitoids: from theoretical approaches to field applications. Wiley, Blackwell.

Walde, S.J. & Murdoch, W.W. 1988. Spatial density dependence in parasitoids. Annual Review of Entomology, 33: 441–466.

Zafar Khan, M.A., Liang, Q., Martin, M.S. & Liu, T.X. 2016. Effect of temperature on functional response of *Aphidius gifuensis* (Hymenoptera: Braconidae) parasitizing *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). Florida Entomologist, 9(4): 696–702.

Zamani, A.A., Talebi, A.A., Fathipour, Y. & Baniameri, V. 2006. Temperature–dependent functional response of two aphid parasitoids, *Aphidius colemani* and *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Aphidiidae) on the cotton aphid. Journal of Pest Science, 79: 183–188.

Zamani, A.A., Talebi, A.A., Fathipour, Y. & Baniameri, V. 2007. Effect of temperature on life history of *Aphidius colemani* and *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Braconidae), two parasitoids of *Aphis gossypii* and *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). Environmental Entomology, 36(2): 263–271.

Zamani, A.A., Haghani, M. & Kheradmand, K. 2012. Effect of temperature on reproductive parameters of *Aphidius colemani* and *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Braconidae) on *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphidiade) in laboratory conditions. Journal of Crop Protection, 1(1): 35–40.

www.SID.ir

Archive of SID

Functional and numerical responses of the parasitoid wasp, *Aphidius matricariae* (Hym.: Braconidae) feeding on current lettuce aphid, *Nasonovia ribisnigri* (Hem.: Aphididae)

Afrooz Farsi, Farhan Kocheili, Mohammad Saeed Mossadegh, Arash Rasekh

Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
Corresponding author: Afrooz Farsi, afrooz.farsi@yahoo.com

Received: Apr., 24, 2020 7(2) 113-126 Accepted: Sept., 12, 2020

Abstract

Functional and numerical responses of *Aphidius matricariae* Haliday were studied on *Nasonovia ribisnigri* Mosely at 20±1°C, 65±5% RH and a photoperiod of 16:8 (L: D) h. Different densities (2, 4, 8, 16, 32 and 64) of third instar nymphs of *N. ribisnigri* were provided to mated female wasp (< 24 h old) with ten replicates in 24 hours. The functional response was determined using logistic regression and the parameters were estimated by non–linear regression. The results revealed a type II functional response of *A. matricariae* to different densities of third instar nymphs of *N. ribisnigri*. Attack rate and handling time were obtained as 0.0367 h^{-1} and 0.4114 h, respectively. Also, maximum attack rate (T/T_h) was estimated 58.33 nymphs. The data of numerical response of *A. matricariae* indicated that with increase of host density, the average number of mummified aphids in life span of parasitoid increased from 7.8 (density of 2) to 140.7 mummies (density of 64). According to these results, it seems that *A. matricariae* is potentially suitable biological control agent in suppressing *N. ribisnigri* population.

Keywords: *Nasonovia ribisnigri*, *Aphidius matricariae*, efficiency, handling time, searching efficiency

www.SID.ir