تحقیقات آفات‌گیاهی
۱۴۰۳ -۱۴ (۲): ۳۵ -۴۹
Open access
doi: 10.22124/iprj.2024.27444.1577
pISSN:2322-2409
eISSN: 2538-6123

علمی پژوهشی

تاثیر رژیم غذایی بید آرد *Anagasta kuehniella* (Lep.: Pyralidae) بر رفتار کاوشگری زنبور *Habrobracon hebetor* (Hym.: Braconidae)

آرزو زمانی‌فر[۱]، حسین مددی*[۲] و بابک ظهیری[۳]

۱، ۲ و ۳- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

1. 0009-0009-3210-676X, 2. 0000-0002-7868-3468, 3. 0009-0004-4310-2864

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۳/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۶/۱۰)

چکیده

یکی از ویژگی‌های مطلوب دشمنان طبیعی دارا بودن قدرت جستجوی بالا است. برای ارزیابی رفتار کاوشگری و کارایی جستجوی دشمنان طبیعی روش‌های گوناگونی وجود دارد که یکی از مهم‌ترین آن‌ها واکنش تابعی است. در این مطالعه، واکنش تابعی زنبورهای *Habrobracon hebetor* (Say) نسبت به تراکم‌های مختلف لارو سن پنجم شب‌پره مدیترانه‌ای آرد *Anagasta kuehniella* (Zeller) که با رژیم‌های غذایی مختلف تغذیه شده بودند، ارزیابی شد. بر اساس نتایج به دست آمده، واکنش تابعی زنبور *H. hebetor* در شرایطی که تلفات میزبان تنها به دلیل پارازیته کردن توسط زنبور پارازیتوئید در نظر گرفته شود، در تمام تیمارها از نوع دوم بود. در حالی که واکنش تابعی زنبور نسبت به مجموع لاروهای پارازیته شده و فلج‌شده روی رژیم غذایی آرد گندم + سبوس گندم از نوع دوم و روی رژیم‌های آرد جو + سبوس گندم، آرد ذرت + سبوس گندم و سبوس گندم از نوع سوم بود. نرخ حمله (a) زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* در حالتی که تنها لاروهای پارازیته شده مورد شمارش واقع شدند، در صورت تغذیه از رژیم‌های غذایی آرد گندم+ سبوس گندم، آرد جو + سبوس گندم، آرد ذرت + سبوس گندم و سبوس گندم به‌ترتیب ۰/۰۵۴۹، ۰/۰۵۰۴، ۰/۰۵۲۶و ۰/۰۳۰۷ بر ساعت بود. زمان دستیابی (T_h) آن به‌ترتیب ۵/۹۳۹۱، ۵/۳۳۵۱، ۵/۱۳۱۱ و ۲/۵۷۸۹ ساعت برآورد شد که نشان می‌دهد این زنبور پارازیتویید در لاروهای تغذیه شده با رژیم غذایی سبوس گندم زمان دستیابی کمتری را صرف پارازیته کردن میزبان می‌کند. نتایج این تحقیق می‌تواند در انتخاب رژیم‌های غذایی مناسب برای پرورش میزبان زنبور *H. hebetor* در انسکتاریوم‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: برهمکنش‌های میزبان- پارازیتوئید، شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، زمان دستیابی، نرخ حمله

* نویسنده مسئول: hmadadi@basu.ac.ir

CC BY

مقدمه

در طبیعت، موجودات زنده جملگی با یکدیگر دارای برهم‌کنش‌های مختلفی هستند که هر کدام از آنها روی یکدیگر و از هم دیگر تاثیر می‌پذیرند. این اثرات به قدری در هم تنیده است که غیرممکن است بتوان هریک از این موجودات زنده را به صورت جداگانه و بدون در نظرگرفتن روابطش با موجودات دیگر مورد بررسی قرار داد. یکی از معمولی‌ترین و شناخته‌شده‌ترین روابط طبیعی، روابط غذایی است. روابط غذایی بین موجودات زنده در قالب زنجیره‌های غذایی و در نهایت شبکه‌های غذایی گسترده تعریف می‌شوند. شدت روابط غذایی به حدی است که بر اساس آن، تمام موجودات زنده دستکم در یکی از سه سطح غذایی قرار دارند که از پایین به بالا عبارتست از تولیدکنندگان (گیاهان)، مصرف‌کنندگان اولیه (گیاه‌خواران) و مصرف‌کنندگان ثانویه (گوشت‌خواران). موجودات واقع در هریک از این سطوح به صورت مستقیم و غیرمستقیم روی یکدیگر اثر می‌گذارند (Price *et al*., 1980).

مطالعه کارایی و عملکرد دشمنان طبیعی بدون در نظر گرفتن تأثیرات موجودات واقع در سطوح دیگر روی آنها می‌تواند منجر به دستیابی به نتایج گمراه‌کننده‌ای شود. در واقع، برآیند اثرات مستقیم و غیرمستقیم سطوح غذایی مختلف، تعیین‌کننده تاثیر دشمنان طبیعی روی آفت هدف است. یکی از مهم‌ترین روش‌های ارزیابی کارایی دشمنان طبیعی مطالعه واکنش دشمنان طبیعی نسبت به انبوهی میزبان یا طعمه است. این اصطلاح نخستین بار توسط سولومون مطرح شد (Solomon, 1949) و سپس هولینگ (Holling, 1959; 1961) با گسترش مفهوم آن، سه نوع پایه واکنش تابعی را معرفی نمود (Holling, 1959; 1961; 1965). تعداد طعمه خورده‌شده یا تعداد میزبان پارازیته‌شده توسط یک شکارگر یا پارازیتوئید در واحد زمان، تابعی از تراکم اولیه طعمه یا میزبان است که این رابطه را واکنش تابعی می‌نامند (Holling, 1959; 1961).

حداقل سه نوع منحنی وجود دارد که می‌تواند برای مدل‌سازی واکنش تابعی مورد استفاده قرارگیرد (Holling, 1959; Trexler *et al*., 1988; Jervis, 2005). در واکنش تابعی نوع اول، تعداد میزبان‌های پارازیته‌شده به صورت خطی تا یک مقدار بیشینه افزایش می‌یابد و سپس با افزایش تراکم ثابت می‌ماند. در واکنش تابعی نوع دوم، با افزایش تراکم میزبان، تعداد میزبان‌های مورد حمله افزایش می‌یابد، اما افزایش به صورت منحنی است و به‌تدریج از شیب منحنی کاسته می‌شود تا به یک مجانب افقی ثابت برسد. در واکنش تابعی نوع سوم، تعداد میزبان‌های پارازیته‌شده به صورت یک تابع سیگموئیدی به خط مجانب نزدیک می‌شود، به این معنی که با افزایش تراکم اولیه میزبان، تعداد میزبان‌های پارازیته‌شده افزایش یافته (حالت وابستگی به تراکم) و پس از عبور از نقطه عطف، با نزدیک شدن پارازیتوئید به حد اشباع، تعداد میزبان پارازیته‌شده کاهش پیدا می‌کند (Hassell, 1978).

پارازیتوئیدها جزو فراوان‌ترین گروه‌های جانوران پرسلولی بوده و احتمالاً در حدود ده درصد از کل جانوران پرسلولی را تشکیل می‌دهند (Hassell & Godfray, 1992). می‌توان گفت در بین گروه‌های مختلف دشمنان طبیعی آفات، پارازیتوئیدها مهم‌ترین گروه در کنترل بیولوژیک آفات به شمار می‌آیند (Mills & Wajnberg, 2008). زنبور تجمعی، ایدیوبیونت (Idiobiont) و اکتوپارازیت *Habrobracon hebetor* (Say)(Hym.: Braconidae) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل بیولوژیک شب‌پره‌های خانواده‌ی Pyralidae در محصولات انباری محسوب می‌شود (Brower & Press, 1990; Johnson *et al*., 2000; Forouzan *et al*., 2008; Sola *et al*., 2018). این زنبور به علت داشتن نرخ تولید مثل بالا، مدت زمان کوتاه تولید یک نسل، پرورش ساده و دارا بودن میزبان‌های زیاد به صورت گسترده‌ای در بررسی اثر متقابل میزبان- پارازیتویید مورد استفاده قرار گرفته است (Gündüz & Gülel, 2005; Badran *et al*., 2021; Ou *et al*., 2021) و یکی از گونه‌هایی است که همراه با زنبور *Trichogramma brassicae* Bedzenko, 1968 در تعداد زیادی از انسکتاریوم‌های کشور به صورت تجارتی تولید می‌شود. بر این اساس، در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در سطح ۶۷۷۱۲ هکتار از مزارع نخود، گوجه فرنگی، ذرت،

سویا و پنبه رهاسازی این زنبور انجام گرفته است (اطلاعات منتشر نشده، سازمان حفظ نباتات کشور).

پرورش حشرات در انسکتاریوم‌ها به‌طور معمول به چهار روش انجام می‌شود که شامل (۱) استفاده از گیاهان زنده، (۲) استفاده از قسمت‌های گیاهی برداشت‌شده، (۳) استفاده از غده‌ها، میوه‌ها یا سایر محصولات گیاهی و (۴) استفاده از رژیم‌های غذایی آماده می‌باشد. رژیم‌های غذایی آماده آسان‌ترین و در دسترس‌ترین منابع غذایی بوده و مشکلات مربوط به استفاده از گیاهان زنده و قسمت‌های مختلف گیاهان را ندارند. با این حال، تهیه رژیم‌های غذایی برای حشرات حساس بسیار دشوار است (Etzel & Legner, 1999). در حال حاضر برای پرورش انبوه زنبور *H. hebetor* از لارو شب پره مدیترانه‌ای آرد *Anagasta kuehniella* (Zeller) (Lep.: Pyralidae) به عنوان میزبان استفاده می‌شود. بررسی‌ها نشان داده است که سابقه پرورش میزبان و نیز کیفیت و کمیت مواد غذایی میزبان به صورت غیرمستقیم بر دوره رشد، اندازه افراد بالغ، طول عمر، زادآوری و نسبت جنسی نوزادان زنبورهای پارازیتوئید تأثیر می‌گذارد (Tillman & Cate, 1993).

این مطالعه با هدف بررسی تاثیر کیفیت و نوع مواد غذایی مصرف شده توسط لارو میزبان زنبور ـ بر نوع واکنش تابعی و پراسنجه‌های آن انجام شد. با توجه به اثرات مستقیم و غیرمستقیم موجود در شبکه‌های غذایی، نتایج این نوع بررسی‌ها می‌تواند در بهینه‌سازی پرورش زنبور در انسکتاریوم‌های کشور موثر باشد.

مواد و روش‌ها

پرورش شب‌پره مدیترانه‌ای آرد *A. kuehniella*

برای تهیه بستر پرورش *A. kuehniella*، گندم رقم پیشگام، جو رقم بهمن، ذرت رقم سینگل کراس و سبوس گندم به عنوان ماده غذایی اصلی تشکیل‌دهنده مورد نظر برای پرورش شب‌پره آرد انتخاب شدند. دانه‌های ارقام مورد نظر را آسیاب کرده و به صورت جداگانه داخل ظروف پلاستیکی به اندازه ۲۵×۳۵×۲۵ سانتی‌متر(عمق× طول× عرض) ریخته شد. روی درب‌های ظروف پلاستیکی محفظه‌هایی به ابعاد ۲۸×۱۸ سانتی‌متر که برای تهویه هوا با توری ریز پوشیده بود، تعبیه شدند.

چهار رژیم غذایی مختلف به صورت زیر برای انجام آزمایش تهیه شد که شامل آرد گندم + سبوس گندم به نسبت ۲ به ۱، آرد جو + سبوس گندم به نسبت ۲ به ۱، آرد ذرت + سبوس گندم به نسبت ۲ به ۱ و رژیم غذایی چهارم تنها شامل سبوس گندم بود. حجم نهایی غذا در هریک از ظروف پرورش به یک کیلوگرم رسانده شد. سپس، به تمام رژیم‌های غذایی دو گرم مخمر نانوایی افزوده شد. سپس برای هر یک از ظروف پرورش دو گرم تخم شب‌پره مدیترانه‌ای آرد (انسکتاریوم جلیلیان، شهرستان کرمانشاه) تهیه و اضافه شد. شرایط محیطی برای رشد شب‌پره مدیترانه‌ای آرد به صورت دمای ۱±۲۶ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۱۰± ۶۵ درصد و دوره نوری ۱۰:۱۴ ساعت روشنایی: تاریکی بود.

پرورش زنبور *H. hebetor*

زنبورهای *H. hebetor* مورد استفاده در این آزمایش، از انسکتاریوم اداره حفظ نباتات استان همدان تهیه شدند. این زنبورها به مدت دو نسل روی لاروهای سن آخر شب‌پره مدیترانه‌ای آرد داخل ظروف پتری (به قطر ۱۰ سانتی‌متر) برای انجام آزمون اصلی پرورش داده شدند. به این صورت که در هر ظرف پتری ۱۵ عدد لارو از هر رژیم غذایی در ۱۰ تکرار قرار داده شد. برای تغذیه زنبورهای بالغ نیز از محلول آب و عسل ۲۰٪ استفاده شد. پس از آماده‌سازی بستر پرورش برای زنبور پارازیتوئید، در هر ظرف پتری دو جفت زنبور نر و ماده قرار داده شد. پس از ۴۸ ساعت، زنبورها به وسیله آسپیراتور از ظروف خارج شده و بعد از سپری شدن ۱۰ روز، زنبورهایی که به تازگی ظاهر شدند در شرایط اشاره‌شده در قسمت قبل نگه‌داری شدند.

واکنش تابعی زنبور *H. hebetor* نسبت به لاروهای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد

برای انجام آزمایش‌های واکنش تابعی، ابتدا زنبور پارازیتوئید روی لاروهای سن پنجم شب‌پره مدیترانه‌ای آرد که به مدت دو نسل روی هریک از رژیم‌های غذایی مورد

نظر به صورت جداگانه تغذیه کرده بودند پرورش داده شد. پس از ظهور افراد بالغ زنبور *H. hebetor*، یک جفت زنبور نر و ماده با عمر کمتر از ۲۴ ساعت داخل ظروف پتری به قطر ۱۰ سانتی‌متر رهاسازی شدند. سپس زنبور پارازیتوئید ماده جفت‌گیری‌کرده داخل ظروف پتری حاوی تراکم‌های ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۶ و ۳۲ عدد لارو سن پنجم بید آرد پرورش‌یافته روی هر یک از رژیم‌های غذایی، به صورت جداگانه قرار داده شد. در قسمت داخلی درپوش پتری، از پنبه آغشته به مخلوط آب و عسل ۲۰٪ برای تغذیه زنبورها استفاده شد. بعد از ۲۴ ساعت، زنبورها از ظروف پتری حذف و تعداد لاروهای فلج‌شده (که با تحریک ایجاد شده توسط قلم‌مو قادر به حرکت نبودند)، تعداد تخم‌های گذاشته‌شده روی هر میزبان و تعداد لاروهایی که روی آنها عمل تخم‌گذاری صورت گرفته بود به صورت جداگانه در هر ظرف شمارش و ثبت شدند. آزمایش برای هر تراکم میزبان در هر تیمار در ۱۰ تکرار انجام شد. این آزمایش در شرایط محیطی دمای ۱±۲۶ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۱۰±۶۵ درصد و دوره نوری ۱۴:۱۰ ساعت روشنایی: تاریکی انجام شد.

تجزیه داده‌های واکنش تابعی

تجزیه داده‌های واکنش تابعی در دو مرحله با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد. برای تعیین نوع واکنش تابعی، ابتدا رگرسیون لوجستیک نسبت تعداد میزبان‌های فلج‌شده و یا لاروهای پارازیته‌شده (N_e) به تعداد میزبان‌های در معرض قرار گرفته یا میزبان‌های اولیه (N_0) مورد استفاده قرار گرفت (رویه CATMOD در نرم‌افزار SAS) (Juliano, 2001).

نتیجه برازش داده‌ها با رگرسیون لوجستیک، یک منحنی است که علامت مثبت یا منفی قسمت خطی منحنی واکنش تابعی نمایانگر نوع دوم یا سوم واکنش تابعی است. در واکنش تابعی نوع دوم با افزایش تراکم میزبان، نسبت (درصد) تعداد میزبان‌های فلج شده به تعداد میزبان‌های در معرض قرار داده شده (N_e/N_0) کاهش می‌یابد (وابسته به تراکم معکوس)، در نتیجه شیب بخش خطی این منحنی منفی بوده و از منفی بودن آن می‌توان به واکنش تابعی نوع دوم پی برد. در واکنش تابعی نوع سوم، ابتدا متناسب با افزایش انبوهی میزبان، نسبت تعداد میزبان‌های فلج شده به تعداد میزبان‌های در معرض قرار گرفته افزایش یافته (وابسته به تراکم) و سپس از میزان آن کاسته می‌شود، به همین دلیل شیب بخش خطی منحنی مثبت می‌باشد (Juliano, 2001).

پس از تعیین نوع واکنش تابعی، به وسیله روش مجذور مربعات رگرسیون غیر خطی پراسنجه‌های واکنش تابعی یعنی زمان دستیابی (T_h) و در مورد واکنش تابعی نوع دوم پراسنجه نرخ حمله یا کارایی جستجو (a)، و در مورد واکنش تابعی نوع سوم ضریب ثابت b ($a= bN_0$) با استفاده از رویه DUD در نرم‌افزار SAS برآورد شدند. با توجه به این که تراکم اولیه میزبان در طول مدت زمان انجام آزمایش ثابت نبود، ابتدا از مدل راجرز (۱۹۷۲) برای تخمین پراسنجه‌های نرخ حمله و زمان دستیابی استفاده شد. این مدل کاهش میزبان در طول زمان آزمایش را در نظر می‌گیرد. در صورتی که این مدل نتایج غیر منطقی (برای مثال زمان دستیابی برابر با صفر یا منفی) تولید کرد، آنگاه مدل هولینگ (۱۹۵۹) مورد استفاده قرار می‌گرفت (Juliano, 2001).

معادله تصادفی راجرز (۱۹۷۲) برای توصیف واکنش تابعی نوع دوم به صورت زیر می‌باشد (معادله ۱):

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

برای توصیف واکنش تابعی نوع سوم نیز از معادله راجرز به صورت زیر استفاده شد (معادله ۲):

$$N_e = N_0\{1 - exp[(d + bN_0)(T_h - T)(1 + CN_0)]\}$$

در این تحقیق، برای برآورد پراسنجه‌های واکنش تابعی در حالت مجموع لاروهای مورد حمله قرارگرفته (تخم‌گذاری‌شده و فلج‌شده) شب‌پره مدیترانه‌ای آرد توسط زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی رژیم‌های غذایی آرد گندم + سبوس گندم و آرد جو + سبوس گندم از مدل هولینگ (۱۹۵۹) و برای رژیم‌های غذایی آرد ذرت + سبوس گندم و سبوس گندم از مدل راجرز (Rogers, 1972) استفاده شد (جدول ۵). در واکنش تابعی نوع سوم، مقدار a عبارت است از $\left(\frac{d+bN_0}{1+cN_0}\right)$ که به‌طور معمول مقدار d و c برابر با صفر بوده و از این رو $a = bN_0$ در نظر گرفته می‌شود.

مقایسه تعداد میزبان‌های کشته شده در دو حالت لاروهای پارازیته شده و مجموع پارازیته شده و فلج شده از طریق روش تجزیه واریانس یک‌طرفه انجام شد و در صورت معنی‌دار بودن از آزمون دانکن برای مقایسه میانگین تیمارهای مختلف استفاده شد. البته لازم به ذکر است پیش از انجام تجزیه واریانس، فرض نرمال بودن توزیع خطاهای آزمایشی با استفاده از آزمون شاپیرو- وبک (Shapiro-Wilk) یا کولموگروف – اسمیرنوف (Kolmogrov-Smirnov) بررسی شد. در صورتی که توزیع خطاهای آزمایشی نرمال نبود، از روش‌های غیرپارامتری برای بررسی وجود تفاوت بین تیمارها استفاده شد. برای بررسی وجود تفاوت معنی‌دار بین پراسنجه‌های نرخ لحظه‌ای جستجو و زمان دستیابی در تیمارهای مختلف، از حدود اطمینان پراسنجه‌های برآورد شده استفاده شد. در صورتی که حدود اطمینان پراسنجه‌های برآورد شده با یکدیگر همپوشانی داشته باشند، می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت معنی‌داری بین پراسنجه‌های مورد مقایسه وجود ندارد. همچنین، در مواردی که از مدل هولینگ برای برآورد پراسنجه‌های واکنش تابعی استفاده شد نیز از آزمون t برای مقایسه مقادیر به‌دست‌آمده استفاده شد (SAS Institute Inc., 2004). تمام شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار سیگماپلات نسخه ۱۳ تهیه شدند.

نتایج و بحث

اثر رژیم غذایی مختلف *A. kuehniella* بر نوع واکنش تابعی زنبور *H.hebetor*

نتایج مربوط به تعداد لاروهای تخم‌گذاری شده و مجموع تعداد لاروهای تخم‌گذاری‌شده و فلج‌شده توسط زنبور *H. hebetor* در تراکم‌های مختلف میزبان در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که تعداد لاروهای تخم‌گذاری‌شده و مجموع تعداد لاروهای تخم‌گذاری‌شده و فلج‌شده طی ۲۴ ساعت ابتدا با افزایش تراکم میزبان افزایش یافت، ولی پس از آن شیب این افزایش کند شده و به صورت ثابت یا حتی به صورت کاهشی در آمد. این موضوع توسط پژوهشگران دیگر نیز مورد بررسی قرار گرفته است. برای مثال گزارش شده است که تعداد لاروهای فلج‌شده شب‌پره توتون *Ephestia elutella* Hubner (Lep.: Pyralidae) با افزایش تراکم میزبان بیشتر می‌شود و به صورت معنی‌داری وابسته به تراکم میزبان است (Ou *et al*., 2021). این در حالی است که تعداد میزبان‌های پارازیته‌شده با افزایش تراکم میزبان کاهش می‌یابد (Yu *et al*., 2003).

تجزیه داده‌های لاروهای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد تخم‌گذاری‌شده توسط زنبور *H. hebetor* برای تعیین نوع واکنش تابعی در جدول ۲ نشان داده شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که در رژیم‌های غذایی (آرد گندم + سبوس گندم، آرد جو + سبوس گندم، آرد ذرت + سبوس گندم و سبوس گندم) بر اساس علامت منفی قسمت خطی منحنی (N_0) و علامت مثبت بخش درجه دوم (N_0^2)، واکنش تابعی از نوع دوم است (جدول ۲). این نتیجه با بررسی تعداد میزبان-های پارازیته شده نیز مشخص می‌شود، چرا که روند تخمگذاری با افزایش تراکم اولیه لاروهای میزبان دارای شیب منفی است.

در رابطه با مجموع لاروهای تخم‌گذاری‌شده و فلج-شده *A. kuehniella* توسط زنبور پارازیتویید *H. hebetor* نتایج تغییراتی داشت که در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود شیب قسمت خطی منحنی(N_0) واکنش تابعی زنبور *H. hebetor* نسبت به لاروهای شب‌پره آرد تغذیه‌شده با رژیم غذایی آرد گندم + سبوس گندم منفی است که نشان‌دهنده واکنش تابعی نوع دوم زنبور پارازیتویید در این رژیم غذایی است، در حالی که در رژیم‌های غذایی آرد جو + سبوس گندم، آرد ذرت + سبوس گندم و سبوس گندم، علامت شیب قسمت خطی منحنی (N_0) مثبت و علامت بخش درجه دوم (N_0^2) منفی بوده و واکنش تابعی از نوع سوم است (جدول ۳).

جدول ۱- میانگین (± خطای معیار) تعداد لاروهای پارازیته شده و مجموع لاروهای پارازیته‌شده و فلج‌شده شب‌پره مدیترانه‌ای آرد توسط زنبور *Habrobracon hebetor* در تراکم‌های مختلف میزبان

Table 1. Mean (± SE) parasitized and the total number of parasitized and paralyzed larvae of Mediterranean flour moth by the *Habrobracon hebetor* at different host densities

	Density	**Wheat flour +Wheat husk**	**Barley flour +Wheat husk**	**Corn flour +Wheat husk**	**Wheat husk**
Parasitized Larvae	1	0.80 ± 0.13 [a]	0.80 ± 0.13 [a]	1.00 ± 0.00 [a]	0.90 ± 0.10 [a]
	2	1.50 ± 0.22 [a]	0.80 ± 0.25 [a]	0.80 ± 0.29 [a]	1.30 ± 0.26 [a]
	4	2.80 ± 0.36 [a]	2.5 ± 0.40 [a]	2.60 ± 0.34 [a]	1.6 ± 0.43 [a]
	8	2.60 ± 0.34 [a]	3.70 ± 0.49 [a]	3.50 ± 0.62 [a]	3.40 ± 0.64 [a]
	16	3.30 ± 0.63 [a]	4.30 ± 0.75 [a]	5.0 ± 0.71 [a]	6.20 ± 0.97 [a]
	32	3.80 ± 0.97 [a]	3.20 ± 0.90 [a]	3.10 ± 0.69 [a]	6.20 ± 0.79 [b]
Parasitized and paralyzed Larvae	1	1.0 ± 0.0 [a]	1.0 ± 0.0 [a]	1.0 ± 0.0 [a]	0.9 ± 0.10 [a]
	2	1.9 ± 0.10 [a]	1.80 ± 0.10 [a]	1.9 ± 0.10 [a]	1.8 ± 0.10 [a]
	4	3.9 ± 0.10 [a]	3.80 ± 0.20 [a]	4.0 ± 0.0 [a]	3.4 ± 0.34 [a]
	8	7.2 ± 0.39 [a]	7.80 ± 0.13 [a]	7.50 ± 0.341 [a]	7.4 ± 0.40 [a]
	16	14.0 ± 0.97 [a]	15.60 ± 0.16 [a]	15.60 ± 0.163 [a]	15.6 ± 0.22 [a]
	32	29.0 ± 0.97 [a]	26.50 ± 2.02 [a]	28.50 ± 0.764 [a]	29.30 ± 0.70 [a]

Different letters in each row indicate significant differences at P= 0.05.

جدول ۲- رگرسیون لوجستیک نسبت میزبان پارازیته‌شده توسط زنبور پارازیتویید *Habrobracon hebetor* در مقابل تراکم اولیه میزبان

Table 2. Logistic regression analysis of the proportion of parasitized hosts by *Habrobracon hebetor* versus the initial number of hosts

Diet	**Functional response type**	**Parameter**	**Mean ± SE**	**Chi-sq.**	**P-value**
Wheat Flour + Wheat husk	Type II	Intercept	1.6184 ± 0.3493	21.47	< 0.0001
		N_0	-0.2794 ± 0.0485	33.19	< 0.0001
		N_0^2	0.00521± 0.00126	17.24	< 0.0001
Barley Flour + Wheat husk	Type II	Intercept	0.6972 ± 0.3156	4.88	< 0.0001
		N_0	-0.1187 ± 0.0428	7.70	0.0055
		N_0^2	0.000912 ± 0.00112	0.66	0.4152
Corn Flour + Wheat husk	Type II	Intercept	0.7832 ± 0.3194	6.01	0.0142
		N_0	-0.1106 ± 0.0428	6.69	0.0097
		N_0^2	0.000523 ± 0.00112	0.22	0.6397
Wheat husk	Type II	Intercept	0.3277 ± 0.3079	1.13	0.2871
		N_0	-0.0571 ± 0.0407	1.97	0.1601
		N_0^2	0.000086 ± 0.00104	0.01	0.9341

شکل ۱ منحنی‌های واکنش تابعی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* در دو حالت تلفات فقط ناشی از پارازیتیسم زنبور پارازیتوئید و تلفات کل ناشی از مجموع تعداد لاروهای پارازیته شده و فلج‌شده روی رژیم‌های غذایی مختلف را نشان می‌دهد.

برآورد پراسنجه‌های واکنش تابعی لاروهای تخم‌گذاری شده *E. kuehniella* توسط زنبور پارازیتویید *H. hebetor* در ابتدا با استفاده از مدل راجرز (Rogers, 1972) انجام شد، اما چون این مدل منجر به تولید مقادیر بی‌معنی شد، از مدل هولینگ (Holling, 1959) استفاده شد (جدول ۴).

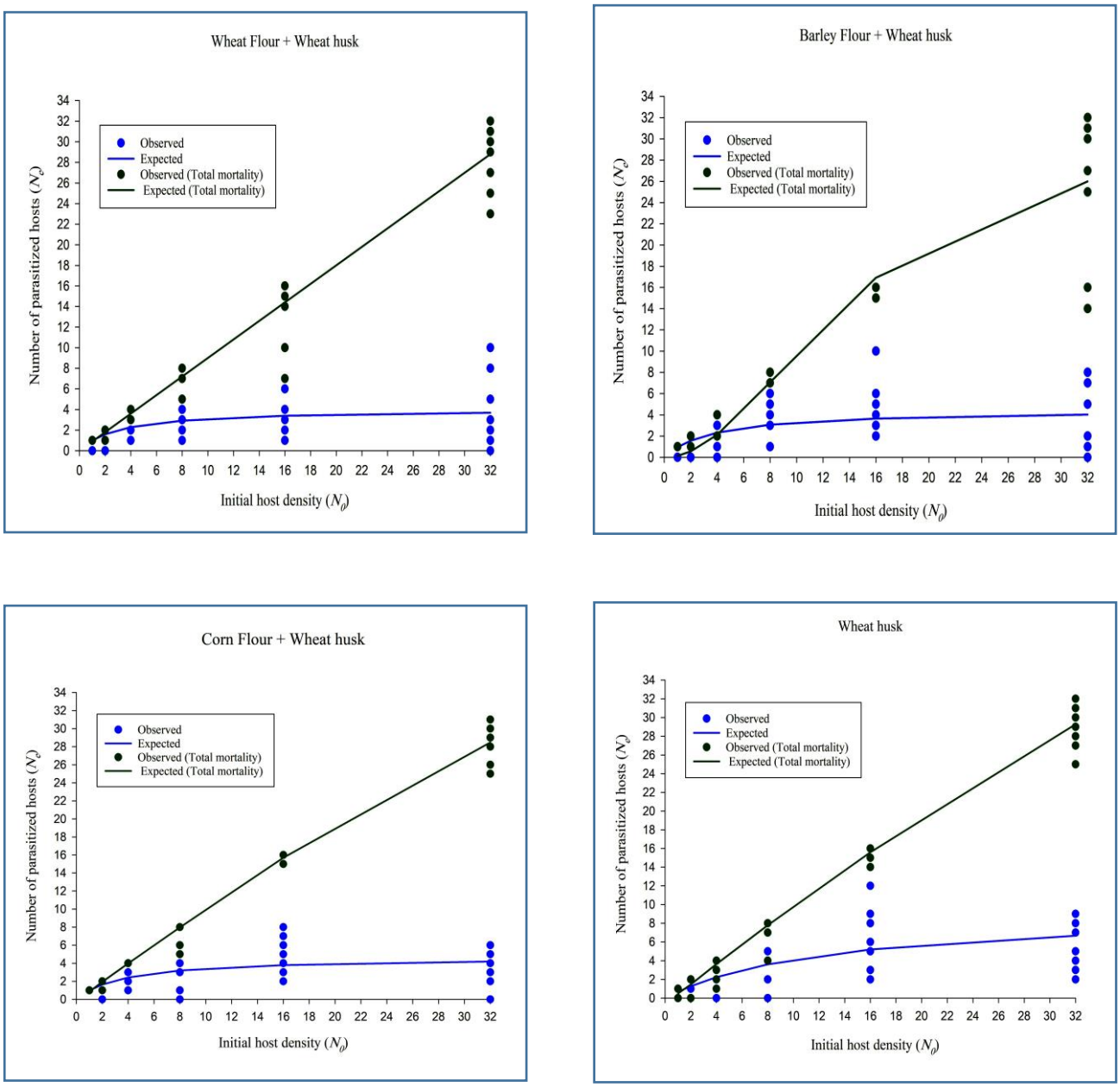
در خصوص برآورد پراسنجه‌های واکنش تابعی زنبور *H. hebetor* در حالتی که مجموع تلفات در نظر گرفته شد، برای رژیم‌های غذایی آرد گندم + سبوس گندم و آرد جو + سبوس گندم از مدل هولینگ و برای دو رژیم دیگر از مدل راجرز استفاده شد (جدول ۵).

مقایسه پراسنجه‌های نرخ لحظه‌ای جستجو و زمان دستیابی زنبور *H. hebetor* روی لاروهایی که از رژیم‌های غذایی مختلف استفاده کرده بودند، با استفاده از آزمون جفتی t نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین نرخ حمله در حالت تغذیه لاروها از آرد گندم + سبوس گندم و سبوس گندم (۰/۱۲۲ , t= ۱/۵۵۶P=)، آرد گندم + سبوس گندم و آرد جو + سبوس گندم (t=۰/۹۵۵, P = ۰/۳۴۲)، آردگندم + سبوس گندم و آرد ذرت + سبوس گندم (t= ۰/۵۷۶, P= ۰/۵۶۵) آرد جو+ سبوس گندم و آرد ذرت + سبوس گندم (P= ۰/۷۱۴ t= −۰/۳۶۷۳,)، آرد جو + سبوس گندم و سبوس گندم به‌تنهایی (t= ۰/۷۴۳, P= ۰/۴۵۹) و آرد ذرت + سبوس گندم و سبوس گندم (t=۱/۰۳۷, P=۰/۳۰۲) وجود ندارد؛ در حالی‌که زمان دستیابی زنبورهای پارازیتوئید در حالت تغذیه از آرد گندم + سبوس گندم و سبوس گندم به‌تنهایی تفاوت معنی‌داری را نشان داد (t= ۲/۳۹۲, P= ۰/۰۱۸). این تفاوت معنی‌دار در زمان دستیابی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* نسبت به لاروهای تغذیه‌شده با سبوس گندم ممکن است ناشی از اندازه کوچک‌تر لاروهای تغذیه شده با این رژیم غذایی باشد که موجب شود در واحد زمانی انجام آزمایش (۲۴ ساعت) زمان لازم برای دستیابی به میزبان‌هایی که از سبوس تغذیه کرده بودند کاهش یابد.

جدول ۳- رگرسیون لوجستیک مجموع نسبت میزبان پارازیته‌شده و فلج‌شده توسط زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* در مقابل تراکم اولیه میزبان

Table 3. Logistic regression analysis of the proportion of parasitized and paralyzed hosts by *Habrobracon hebetor* versus the initial number of hosts

Diet	Functional response type	Parameter	Mean ± SE	Chi-sq.	P-value
Wheat Flour + Wheat husk	Type II	Intercept	3.5683 ± 0.6975	26.17	< 0.0001
		N_0	-0.1689 ± 0.0797	4.49	0.0341
		N_0^2	0.00401 ± 0.00190	4.47	0.0346
Barley Flour + Wheat husk	Type III	Intercept	2.4088 ± 0.7093	11.53	0.0007
		N_0	0.1867 ± 0.1044	3.19	0.0739
		N_0^2	-0.00665 ± 0.0027	6.05	0.0139
Corn Flour + Wheat husk	Type III	Intercept	3.2129 ± 0.839	14.66	< 0.0001
		N_0	0.0522 ± 0.1086	0.23	0.6304
		N_0^2	-0.00269 ± 0.0027	0.99	0.3201
Wheat husk	Type III	Intercept	1.3089 ± 0.492	7.08	0.0078
		N_0	0.2256 ± 0.0806	7.84	0.0051
		N_0^2	-0.00599 ± 0.00216	7.73	0.0054



شکل ۱- منحنی واکنش تابعی زنبور *Habrobracon hebetor* نسبت به لاروهای پارازیته شده (خط و دایره آبی رنگ) و مجموع تلفات لاروهای پارازیته‌شده و فلج‌شده (خط و دایره سبز رنگ) شب‌پره آرد روی رژیم‌های غذایی مختلف

Figure 1. Functional response of *Habrobracon hebetor* to parasitized larvae (Blue line and symbol) and total mortality of oviposited and paralyzed flour moth larvae, *Anagasta kuehniella* (green line and symbol) on different diet regimes

جدول ۴- پراسنجه‌های واکنش تابعی و ضریب تبیین زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* در رژیم‌های غذایی مختلف میزبان در حالت لاروهای پارازیته شده

Table 4. Parameter estimates and R^2 values of the functional response of *Habrobracon hebetor* on different diets using parasitized larvae

Diet	Parameter	Estimate	Standard error	95% Confidence limit	R-square
Wheat Flour + Wheat husk	Attack rate (a) (h^{-1})	0.0549	0.0203	0.0143-0.0954	0.28
	Handling time (T_h)(h)	5.9391	0.8085	4.6207-7.5575	
Barley Flour + Wheat husk	Attack rate (a) (h^{-1})	0.0504	0.0187	0.0130-0.0877	0.32
	Handling time (T_h)(h)	5.3351	0.7906	3.7525-6.9176	
Corn Flour + Wheat husk	Attack rate (a) (h^{-1})	0.0526	0.0181	0.0164-0.0888	0.34
	Handling time (T_h)(h)	5.1311	0.7040	3.7219-6.5402	
Wheat husk	Attack rate (a) (h^{-1})	0.0307	0.0075	0.0157-0.0457	0.55
	Handling time (T_h)(h)	2.5789	0.4622	1.6538-3.5040	

جدول ۵- پراسنجه‌های واکنش تابعی و ضریب تبیین زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* نسبت به مجموع لاروهای پارازیته شده و فلج‌شده در رژیم‌های غذایی مختلف

Table 5. Parameter estimates and R^2 values of the functional response of *Habrobracon hebetor* using combined parasitized and paralyzed larvae on different diets

Diet	Model	Parameter	Estimate	Standard error	95% Confidence limit	R-square
Wheat flour + Wheat husk	Holling's model	Attack rate (a) (h^{-1})	0.0375	0.006	0.0363-0.0388	0.96
		Handling time (T_h)(h)	1×10^{-8}	0	1×10^{-8}- 1×10^{-8}	
Barley flour + Wheat husk		Attack rate (a) (h^{-1})			0.0045-0.0073	
		Handling time (T_h)(h)	0.0059	0.0007	0.6760-0.8401	0.91
			0.7581	0.0410		
Corn Flour + Wheat husk	Roger's Model	b	0.080	0.076	0.071-0.232	0.99
		Handling time (T_h)(h)	0.328	0.019	0.289-0.366	
Wheat husk		*b*	0.0282	0.009	0.011-0.045	0.99
		Handling time (T_h)(h)	0.27	0.021	0.228-0.311	

همچنین بین زمان دستیابی زنبور *H. hebetor* در حالت تغذیه لاروهای میزبان از آرد گندم + سبوس گندم و آرد جو+ سبوس گندم (t= ۰/۴۰۹, P= ۰/۶۸۳)، آرد گندم + سبوس گندم و آرد ذرت + سبوس گندم (t= ۰/۴۱۰, P= ۰/۶۸۳)، آرد جو+ سبوس گندم و آرد ذرت + سبوس گندم (۰/۹۹۹۵ =P, t=۰/۰۰۵۵)، آردجو + سبوس گندم و سبوس گندم به‌تنهایی (t= ۱/۷۶۰, P= ۰/۰۸۱)، آرد ذرت + سبوس گندم و سبوس گندم به‌تنهایی (t= ۰/۷۴۳, P= ۰/۴۵۹) و آرد ذرت + سبوس گندم و سبوس گندم به‌تنهایی (P= ۰/۰۸۳ , t=۱/۴۷۴) تفاوت معنی‌داری وجود نداشت.

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود نوع واکنش تابعی در حالتی که تنها لاروهای پارازیته‌شده مورد نظر باشند، در رژیم‌های غذایی گوناگون تفاوتی ندارد، ولی در صورتی که مجموع تلفات ناشی از پارازیتیسم و فلج شدن لاروها به عنوان تلفات کل ایجاد شده در نظر گرفته شوند، نوع واکنش تابعی متفاوت است. در واقع به نظر می‌رسد برهمکنش نوع تلفات در نظر گرفته شده و رژیم‌های غذایی گوناگون است که سبب این تغییر شده است. به بیان دیگر، در حالتی که فقط تخمگذاری صورت می‌گیرد رژیم‌های غذایی نمی‌توانند مطلوبیت خویش را برای زنبورهای *H. hebetor* منعکس کنند، اما در صورت در نظر گرفتن لاروهای فلج‌شده و پدیده تغذیه میزبانی مستقیم زنبورهای *H. hebetor* از لاروهای میزبان (Schöller, 2010) نوع رژیم‌های غذایی میزبان سبب تغییر در نوع واکنش تابعی و در نتیجه پراسنجه‌های آن خواهد شد. برآورد زمان دستیابی زنبور پارازیتوئید در صورت در نظر گرفتن مجموع تلفات ایجاد شده بسیار کمتر از حالتی است که در رژیم‌های یکسان فقط تخمگذاری زنبور پارازیتوئید در نظر گرفته شود و به نظر می‌رسد این عدد به واقعیت نزدیک‌تر باشد.

مقایسه پراسنجه‌های واکنش تابعی در رژیم‌های غذایی مختلف با استفاده از تابع ترکیبی (Implicit function)، تنها در حالتی امکان دارد که داده‌ها نوع مشابهی از واکنش تابعی را نشان دهند و از مدل یکسانی برای تجزیه داده‌ها استفاده شده باشد. در قسمت پراسنجه‌های واکنش تابعی مجموع لاروهای تخم‌گذاری شده و فلج شده *A. kuehniella* توسط زنبور پارازیتویید *H. hebetor* در رژیم غذایی آرد گندم و آرد جو داده‌ها با استفاده از مدل هولینگ برآورد شدند و نوع واکنش تابعی به‌ترتیب از نوع دوم و سوم بود؛ در صورتی که در رژیم‌های آرد ذرت و سبوس گندم از مدل راجرز استفاده شده و واکنش تابعی از نوع سوم است که امکان مقایسه نتایج به‌دست‌آمده نیست. هرچند، اگر مقایسه‌ای بین داده‌های بدست‌آمده با استفاده از همپوشانی حدود اطمینان ۹۵ درصد پراسنجه‌های زمان دستیابی و نرخ حمله انجام شود (Li & Zhang, 2020)، می‌توان اشاره کرد در حالتی که مجموع لاروهای پارازیته شده و فلج‌شده میزبان در نظر گرفته شوند، در رژیم آرد جو پراسنجه‌های واکنش تابعی –به‌ویژه زمان دستیابی زنبور *H. hebetor* تفاوت آشکاری با پراسنجه‌های متناظر در رژیم‌های سبوس گندم و آرد ذرت دارند. این مسئله می‌تواند به دلیل تفاوت در نوع واکنش تابعی نیز باشد. به عبارت دیگر، در حالت تغذیه لارو بید آرد از رژیم غذایی حاوی آرد جو در یک بازه زمانی مشخص درصد پارازیتیسم زنبور *H. hebetor* بالاتر است. همچنین مقایسه پراسنجه‌های واکنش تابعی در رژیم آرد گندم در حالتی که مجموع تلفات ناشی از پارازیتیسم و فلج شدن لاروها محاسبه شود، با حالتی که فقط تلفات ناشی از پارازیتیسم مبنا قرار گیرد، نشان داد که در حالت دوم نرخ حمله و زمان دستیابی هر دو بسیار پایین‌تر هستند و این در حالتی است که نوع واکنش تابعی در هر دو حالت یکسان است.

در این تحقیق، روی رژیم غذایی آرد گندم + سبوس گندم به علت زمان دستیابی (T_h) که مقدار بسیار ناچیزی است (۱×۱۰$^{-۸}$ یا در واقع ۰/۰۰۰۰۰۰۰۱ ساعت)، شکل منحنی واکنش تابعی زنبور *H. hebetor* تقریباً خطی است، که از طریق شیب قسمت خطی منحنی که منفی است، واکنش تابعی آن از نوع دوم تعیین شده است. اما در تیمارهای آرد جو+ سبوس گندم، آرد ذرت + سبوس گندم و سبوس گندم واکنش تابعی از نوع سوم قابل مشاهده است. این تغییر نوع واکنش تابعی از نوع دوم به سوم در حقیقت ناشی از تغییر نرخ جستجوگری متناسب با افزایش تراکم میزبان در هر رژیم غذایی است.

در واکنش تابعی نوع سوم میزان تلفات ایجاد شده تا حدی از تراکم اولیه میزبان/طعمه، وابسته به تراکم و پس از آن وابسته به تراکم معکوس است. تا قبل از مطالعه فرناندز-آرکس و کارلی (Fernandez-Arhex & Corley, 2003)، بر اساس بررسی‌های هولینگ، فرض بر آن بود که واکنش تابعی نوع سوم به علت آن که بهتر از واکنش تابعی نوع دوم قادر به ایجاد ثبات در جمعیت میزبان می‌باشد، مطلوب‌تر است. در حالی‌که بر اساس پژوهش فرناندز-

آرکس و کارلی (Fernandez-Arhex & Corley, 2003)، نوع واکنش تابعی به‌طور مستقیم در میزان موفقیت عامل کنترل بیولوژیک تأثیری ندارد و عوامل محیطی و غیر محیطی دیگر نظیر نرخ ذاتی افزایش طبیعی، رقابت، ویژگی‌های میزبان و رفتار دشمن طبیعی در آشیانه (Patch) هستند که روی کارایی دشمن طبیعی و توانایی آن در کنترل میزبانش تاثیر می‌گذارند؛ هرچند دشمنان طبیعی که دارای واکنش تابعی نوع سوم هستند در صورت استقرار، جمعیت آفت را کنترل کردند، موردی که در بین پارازیتوئیدهای دارای واکنش تابعی نوع دوم دیده نمی‌شود. مرور منابع نشان داد که واکنش تابعی نوع دوم و سوم در زنبورهای پارازیتوئید شایع‌تر است. در بین مقاله‌های مورد بررسی، حدود سه چهارم موارد (۷۵٪ از مقاله‌ها) واکنش تابعی نوع دوم و مابقی موارد منحنی نوع سوم را نشان دادند (Fernandez-Arhex & Corley, 2003). فن‌لنترن و بیکر (van Lenteren & Baker, 1976) توضیح دادند که واکنش تابعی نوع دوم در زنبورهای پارازیتوئید شایع‌تر است که ممکن است به شرایط تجربی، نحوه و مقیاس انجام آزمایش مربوط باشد (van Lenteren & Baker, 1976). هنگامی‌که پارازیتوئیدها و میزبان آن‌ها در یک میدان کوچک برای مدت معینی محدود شوند، تراکم میزبان به‌ویژه در انبوهی‌های پایین بیشتر از مقداری است که در شرایط واقعی با آن روبرو می‌شوند و ممکن است باعث شود که پارازیتوئیدها واکنش تابعی نوع دوم را نشان دهند. در واقع در این نوع آزمایش‌ها پارازیتوئید در یک دوره زمانی ثابت به یک پچ محدود شده و رفتار کاوشگری آن مختل می‌شود (Fernandez-Arhex & Corley, 2003).

بررسی‌های گوناگونی روی واکنش تابعی زنبور *H. hebetor* نسبت به میزبان‌های انباری به‌ویژه شب‌پره مدیترانه‌ای آرد انجام شده است که بیشتر آن‌ها در ارتباط با ارزیابی تاثیر فراورده‌های شیمیایی و آفت‌کش‌های مختلف روی نوع واکنش تابعی و پراسنجه‌های آن بوده است (Abedi *et al*., 2012; Mahdavi & Saber, 2013; Asadi *et al*., 2018) و کمتر به فرضیه اصلی این تحقیق و پژوهش‌های سطوح غذایی پرداخته شده است (Jarrahi & Safavi, 2016). بر این اساس، نوع واکنش تابعی زنبور پارایتوئید *H. hebetor* در تعدادی از بررسی‌های انجام‌شده از نوع دوم (Abedi *et al*., 2012; Asadi *et al*., 2018) و در مواردی از نوع سوم بوده است (Mostaghimi *et al*., 2010; Mahdavi & Saber, 2013; Asadi *et al*., 2018; Badran *et al*., 2021). نرخ حمله و زمان دستیابی در مطالعه عابدی و همکاران (Abedi *et al*., 2012) در مقایسه با نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق بسیار کمتر بود، به گونه‌ای که نرخ حمله در محدوده ۰/۰۰۳۵- ۰/۰۰۲۵ بر ساعت و زمان دستیابی نیز در محدوده ۰/۶۲- ۰/۴۱ ساعت در دوزهای زیرکشنده حشره‌کش‌های مختلف نوسان داشتند. در مطالعه دیگری نشان داده شد که دیازینون سبب افزایش قابل ملاحظه‌ای در زمان دستیابی شده، به‌طوری‌که مقدار زمان دستیابی برابر با ۷/۹۵ ساعت گزارش شد که بیشتر از حداکثر مقدار به‌دست‌آمده در این تحقیق است (Mahdavi & Saber, 2013). پراسنجه‌های نرخ حمله و زمان دستیابی در مطالعه اسدی و همکاران (Asadi *et al*., 2018) قابل مقایسه با شرایطی بود که مجموع تلفات ناشی از پارازیتیسم و فلج شدن لاروها در نظر گرفته شود. برای مثال، کمترین و بیشترین زمان دستیابی در تحقیق اسدی و همکاران (۲۰۱۸) بین ۰/۴۱۱ تا ۰/۵۴۲ ساعت گزارش شده است که قابل مقایسه با نتایج به‌دست آمده در این تحقیق است. او و همکاران (Ou *et al*., 2021) نیز تاثیر محروم کردن زنبور پارازیتوئید از دسترسی به میزبانش (*E. elutella*) را در شرایط آزمایشگاهی بررسی نمودند. آنها بدین منظور، واکنش تابعی زنبور *H. hebetor* را در تیمارهای مختلف محروم از میزبان در سنین دو، پنج، ده و بیست روزگی زنبور پارازیتوئید بررسی و برای تمام تیمارها از نوع دوم گزارش نمودند (Ou *et al*., 2021). بررسی‌های صورت‌گرفته نشان داد که تغذیه میزبانی در زنبور *H. hebetor* سبب افزایش مقدار پراسنجه‌های زیستی و زادآوری زنبور می‌شود (Askari Seyahooei *et al*., 2018).

در مطالعه حاضر تأثیر رژیم‌های غذایی مختلف لاروهای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد *A. kuehniella* بر نرخ پارازیتیسم و نوع واکنش تابعی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* مورد

بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین درصد پارازیتیسم در تراکم‌های ۱۶ و ۳۲ عدد لارو سن پنجم میزبان تغذیه‌شده با سبوس گندم رخ می‌دهد. همچنین نوع واکنش تابعی زنبور در حالتی که تنها لاروهای پارازیته‌شده در محاسبه‌ها مورد استفاده قرار گیرند، با حالتی که مجموع تلفات در نظر گرفته شود متفاوت است. در گذشته تصور می‌شد که واکنش تابعی نوع سوم بهتر از نوع دوم می‌تواند در ایجاد ثبات در جمعیت حشرات آفت نقش داشته باشد. واکنش تابعی نوع سوم در رژیم‌های غذایی آرد جو + سبوس گندم، آرد ذرت + سبوس گندم و سبوس گندم به‌تنهایی مشاهده شد. هر چند، از نظر دسترس‌پذیری و همینطور به‌صرفه بودن از نظر اقتصادی، آرد گندم نسبت به سایر رژیم‌های غذایی استفاده‌شده (آرد جو و آرد ذرت) پیشنهاد می‌شود. به علاوه، زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای تغذیه‌شده با آرد گندم + سبوس گندم و آرد ذرت + سبوس گندم در صورتی که مجموع نرخ تلفات در نظر گرفته شود، بیشترین نرخ حمله را داشت. در رابطه با رژیم غذایی سبوس گندم به دلیل کمبود کربوهیدرات در این رژیم غذایی لاروها کوچک و تغییر رنگ به سمت قهوه‌ای کمرنگ داشتند که این نکته ممکن است اثر منفی روی پارازیتیسم داشته باشد. از سوی دیگر، بیشتر انسکتاریوم‌های موجود در کشور از آرد گندم برای پرورش لاروهای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد استفاده می‌کنند و تجربه و مهارت کافی را در این زمینه کسب کرده‌اند. بنابراین، ادامه استفاده از آرد گندم برای پرورش لاروهای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد برای تکثیر زنبور *H. hebetor* توصیه می‌شود. در نهایت پیشنهاد می‌شود بررسی‌های تکمیلی در خصوص رفتار کاوشگری و برهم‌کنش این گونه پارازیتوئید و میزبانش در شرایط واقعی‌تر صورت گیرد تا درک بهتری از پویایی جمعیت و نقش زنبور *H. hebetor* به عنوان یک عامل کنترل بیولوژیک به دست آید.

سپاسگزاری

این تحقیق با استفاده از کمک‌های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول انجام گرفت که بدین‌وسیله از ایشان سپاسگزاری می‌شود.

References

Abedi, Z., Saber, M., Gharekhani, G., Mehrvar, A., & Mahdavi, V. (2012). Effects of azadirachtin, cypermethrin, methoxyfenozide and pyridalil on functional response of *Habrobracon hebetor* Say (Hym.: Braconidae). *Journal of Plant Protection Research*, *52*(3), 353-358. **DOI: https://doi.org/10.2478/v10045-012-0058-8**

Asadi, M., Rafiee-Dastjerdi, H., Nouri-Ganbalani, G., Naseri, B., & Hassanpour, M. (2018). The effects of plant essential oils on the functional response of *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) to its host. *Invertebrate Survival Journal*, *15*(1), 169-182. **DOI: https://doi.org/10.25431/1824-307X/isj.v15i1.169-182**

Askari Seyahooei, M., Bagheri, A., Bavaghar, M., Dousti, A. F., & Parichehreh, S. (2018). Mating and carbohydrate feeding impacts on life history traits of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). *Journal of Economic Entomology*, *111*(6), 2605-2610. **DOI: https://doi.org/10.1093/jee/toy253**

Badran, F., Fathipour, Y., Bagheri, A., Attaran, M., & Reddy, G. V. P. (2021). Generation-dependent functional and numerical responses of a naturally fungus-infected colony of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera:Braconidae) reared on *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae) in Iran. *Journal of Economic Entomology*, *114*(1), 62–71. **DOI: https://doi.org/10.1093/jee/toaa268**

Brower, J. H., & Press, J. W. (1990). Interaction of *Bracon hebetor* (Hym.: Braconidae) and *Trichogramma pretiosum* (Hym.: Trichogrammatidae) in suppressing stored product moth population in small in-shell peanut storages. *Journal of Economic Entomology, 86*(3), 1096- 1101.

Donnelly, B. E., & Philips, T. W. (2001). Functional response of *Xylocoris flaviceps* (Hemiptera: Anthocoridae): effects of prey species and habitat. *Environmental Entomology*, *30*(3), 617-624. **DOI:10.1603/0046-225X-30.3.617**

Etzel, L. K., & Legner, E. F. (1999). Culture and colonization. In Bellows, T. S., and Fisher, T. W. (Eds). Handbook of biological control. Academic Press, New York, USA. pp. 125-198.

Fernández-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. **DOI: https://doi.org/10.1080/0958315031000104523**

Forouzan, M., Amirmaafi, M., & Sahragard, A. (2008). Temperature-dependent development of *Habrobracon hebetor* Say (Hym: Braconidae) reared on larvae of *Galleria mellonella* (Lep: Pyralidae). *Journal of Entomological Society of Iran*, *28* (1), 67-78. (In Farsi).

Gündüz, E. A., & Gülel, A. (2005). Investigation of fecundity and sex ratio in the parasitoid *Bracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) in relation to parasitoid age. *Turkish Journal of Zoology*, *29*(4), 291-294.

Hassell, M. P. (1978). The dynamics of Arthropod-Predator-Prey Systems (1st ed.). Princeton University Press, USA.

Hassell, M. P. & Godfray, H. J. (1992). The population biology of insect parasitoids. In M. J. Crawley (Ed.). Natural Enemies, The population biology of predators, parasites and diseases. Blackwell Scientific Publications, Oxford, Uk. pp. 265-292.

Holling, C. S. (1959). The components of predation as revealed by a study of small-mammal predation of the European Pine sawfly. *Canadian Entomologist*, *91*(7), 293-320. **DOI: https://doi.org/10.4039/Ent91293-5**

Holling, C. S. (1961). Principles of insect predation. *Annual Review of Entomology*, *6*, 163-182. **DOI: https://doi.org/10.1146/annurev.en.06.010161.001115**

Holling, C. S. (1965). The Functional response of predators to prey density and its role in mimicry and population regulation. *Memoris of the Entomological Society of Canada*, *48*, 5-60. **DOI: https://doi.org/10.4039/entm9745fv**

Jarrahi, A., & Safavi, S. A. (2016). Temperature-dependent functional response and host preference of *Habrobracon hebetor* between fungus-infected and *uninfected Ephestia kuehniella* larvae. *Journal of Stored Products Research*, *67*, 41-48. **DOI: https://doi.org/10.1016/j.jspr.2016.02.001**

Jervis, M. A. (2005). Insects as natural enemies, A practical perspective (1st ed). Springer, Dordrecht, The Netherlands.

Johnson, J. A., Valero, K. A., Hannel, M. M., & Gill, R. F. (2000). Seasonal occurrence of postharvest dried fruit insects and their parasitoids in a culled fig warehouse. *Journal of Economic Entomology*, *93*(4), 1380-1390. **DOI: https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.4.1380**

Juliano, S. A. (2001). Nonlinear curve fitting: predation and functional response curves. In S. Scheiner, and J. Gurevitch (Eds.). Design and analysis of ecological experiments (2nd ed.) Chapman & Hall, New York, USA. pp 178–196.

Li, G. Y., & Z. Q. Zhang. (2020). Can supplementary food (pollen) modulate the functional response of a generalist predatory mite (*Neoseiulus cucumeris*) to its prey (*Tetranychus urticae*)? *BioControl*, *65*(2), 165–174. **DOI:10.1007/s10526-019-09993-7**

Mahdavi, V., & Saber, M. 2013. Functional response of *Habrobracon hebetor* Say (Hym.: Braconidae) to mediterranean flour moth (*Anagasta kuehniella* Zeller), in response to pesticides. *Journal of Plant Protection Research*, *53*(4), 399-403. **DOI: 10.2478/jppr-2013-0059**

Mills, N. J., & Wajnberg, E. (2008). Optimal foraging behavior and efficient biological control methods. In E. Wajnberg, C. Bernstein, and J. van Alphen (Eds.). Behavioral ecology of insect parasitoids. from theoretical approaches to field applications. Blackwell Publishing Ltd., Singapore. pp. 3-30. **DOI: https://doi.org/10.1002/9780470696200**

Mostaghimi, N., Fathi, S. A. A., & Nouri Ganbalani, G. (2010). Functional response of *Habrobracon hebetor* (Say) (Hym.: Braconidae) to various densities of two hosts, *Ephestia kuehniella* Zeller and *Plodia interpunctella* Hubner (Lepidoptera: Pyralidae). *Iranian Journal of Plant Protection Science*, *41*(1), 1-8.(In Farsi)

Ou, H. D., Atlihan, R., Wang, X. Q., Li, H. X., Sun, G. J., Wei, L., Wang, B., Yu, X. F., & Yang, M. F. (2021). Host deprivation effects on the functional response and parasitism rate of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) on *Ephestia elutella* (Lepidoptera: Pyralidae) in the Laboratory. *Journal of Economic Entomology*, *114* (5), 2024-2031. **DOI: https://doi.org/10.1093/jee/toab144**

Price, P.W., Bouton, C.E., Gross, P., McPheron, B. A., Thompson, J. N., & Weis, A. E. (1980). Interactions among three trophic levels: influence of plants on interactions between insect herbivores

and natural enemies. *Annual Review of Ecology and Systematic*, *11*, 41-65. **DOI: 10.1146/annurev.es.11.110180.000353**

Rogers, D. J. (1972). Random search and insect population models. *Journal of Animal Ecology*, *41*(2), 369–383. **DOI: https://doi.org/10.2307/3474**

Schöller, M. (2010). Biological control of stored-product insects in commodities, food processing facilities and museums. Proceeding of 10th international working conference on stored product protection. 27 Jun. 2 July, Berlin, Germany. pp 596-606.

Solomon, M. E. (1949). The natural control of animal populations. *Journal of Animal Ecology*, *18*(1), 1-35.

Tillman, P. G., & Cate, J. R. (1993). Effect of host size on adult size and sex ratio of *Bracon melitor* (Hymenoptera: Braconidae). *Environmental Entomology*, *22*(5), 1161-1165. **DOI: https://doi.org/10.1093/ee/22.5.1161**

Trexler, J. C., Mcculloch, C. E., & Travis, J. (1988). How can the functional response best be determined? *Oecologia*, *76*, 206-214. **DOI: https://doi.org/10.1007/BF00379954**

van Lenteren, J. C., & Baker, K. (1976). Functional response in invertebrates. *Netherland Journal of Zoology*, *26*(4), 567-572. **DOI: https://doi.org/10.1163/002829676X00235**

Yu, S.H., Ryoo, M. I., Na, J. H., & Choi, W. I. (2003). Effect of host density on egg dispersion and the sex ratio of progeny of *Bracon hebetor*(Hymenoptera: Braconidae). *Journal of Stored Product Research*, *39*(4), 385-393. **DOI: https://doi.org/10.1016/S0022-474X(02)00032-2**

Plant Pest Research
2024- 14 (2): 35-49

Open access
doi: 10.22124/iprj.2024.27444.1577
pISSN: 2322-2409
eISSN: 2538-6123

Research paper

Effect of the Mediterranean flour moth (*Anagasta kuehniella*)(Lep.: Pyralidae) diets on searching behaviour of *Habrobracon hebetor* (Hym.: Braconidae)

A. Zamanifar[1], H. Madadi[2*] and B. Zahiri[3]
1, 2 & 3. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
1. 0009-0009-3210-676X, 2. 0000-0002-7868-3468, 3. 0009-0004-4310-2864

(Received: Juan 2, 2024- Accepted: August 24, 2024)

Abstract

A high searching rate is one of the most desirable traits of natural enemies. Different tests have been used to evaluate the searching behavior and efficiency of natural enemies, one of the most important tests among them is the functional response. In this study, the functional response of *Habrobracon hebetor* (Say) was investigated to different densities of 5th instar larvae of Meditteranean flour moth, *Anagasta kuehniella* (Zeller), fed on different food regimes. According to the obtained results, *H. hebetor* showed type II functional response on all treatments when mortality was considered just due to the number of parasitized larvae. When the combined number of parasitized and paralyzed larvae were considered, it showed type II on wheat flour + wheat husk and type III functional response on host larvae that used barely flour + wheat husk, corn flour + wheat husk, and wheat husk. The attack rate (a) of *H. hebetor* to parasitized larvae was 0.0549, 0.0504, 0.0526, and 0.0307 h^{-1} on wheat flour + wheat husk, barley flour + wheat husk, corn flour + wheat husk, and wheat husk, respectively. Accordingly, the handling time (T_h) of *H. hebetor* was estimated as 5.9391, 5.3351, 5.1311, and 2.5789 hours that indicating *H. hebetor* spent less time for handling to larvae raised on the wheat husk. The results of this study could be used for the selection of the proper diet for *H. hebetor* mass rearing in insectariums.

Key words: Attack constant, handling time, host-parasitoid interactions, Mediterranean flour moth

*Corresponding author: hmadadi@basu.ac.ir