



تأثیر سه رقم گندم بر واکنش تابعی کفشدوزک *Hippodamia variegata* (Col.: Coccinellidae) (وی) شته معمولی گندم *Schizaphis graminum* (Hem.: Aphididae)

مینا اسماعیلی^۱، مهدی حسن پور^۱، هوشنگ رفیعی دستجردی^۱، سید علی اصغر فتحی^۱ و مصطفی خوشحال سرمست^۲

۱- گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

✉ mina.esmaeily@uma.ac.ir

<https://orcid.org/0009-0001-1566-4905>

✉ hassanpour@uma.ac.ir

<https://orcid.org/0000-0002-5409-428X>

✉ rafiee@uma.ac.ir

<https://orcid.org/0000-0003-1278-2858>

✉ fathi@uma.ac.ir

<https://orcid.org/0000-0003-2169-3574>

۲- گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

✉ mkhsarmast@gau.ac.ir

<https://orcid.org/0000-0002-1020-1856>

چکیده: ارقام مختلف یک میزبان گیاهی می‌توانند تأثیر مهمی بر ویژگی‌های رفتاری دشمنان طبیعی داشته باشند. در تحقیق حاضر، تأثیر سه رقم گندم (احسان، مروارید و تیرگان) بر واکنش تابعی لاروهای سن چهارم و حشرات کامل نر و ماده کفشدوزک *Hippodamia variegata* نسبت به تراکم‌های مختلف پوره‌های چهار روزه شته معمولی گندم، *Schizaphis graminum* Rondani (شامل ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۳۲، ۶۴، ۹۶، ۱۲۸ و ۱۶۰) مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش در دمای ۲۵±۲ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۶۵±۵ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انجام شد. نتایج تجزیه رگرسیون لجستیک نشان داد که واکنش تابعی مراحل رشدی مورد مطالعه کفشدوزک شکارگر نسبت به شته گندم روی هر سه رقم از نوع دوم بود. بر اساس نتایج به دست آمده، بیشترین مقدار عددی نرخ حمله (به ترتیب ۰/۱۵۲ و ۰/۱۵۴ بر ساعت) برای لاروهای سن چهارم کفشدوزک *H. variegata* در ارقام احسان و تیرگان و کمترین مقدار عددی زمان دستیابی (۰/۱۲۷ ساعت) نیز برای همین مرحله زیستی شکارگر در رقم احسان تخمین زده شد. نتایج این مطالعه حاکی از کارایی بالای لاروهای سن چهارم کفشدوزک *H. variegata* در تغذیه از شته *S. graminum* روی رقم احسان بود و ارقام تیرگان و مروارید در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. نتیجه مشابهی نیز برای حشرات کامل ماده و نر شکارگر به دست آمد. با این حال، انجام مطالعات تکمیلی در مورد ارزیابی اثر این ارقام بر رفتار جستجوگری و نرخ تغذیه مراحل مختلف رشدی این شکارگر روی شته گندم در شرایط طبیعی ضروری می‌باشد.

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۰

پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۹

دبیر تخصصی: یعقوب فتحی پور

واژه‌های کلیدی: کفشدوزک شکارگر، شته معمولی گندم، ارقام گندم، نرخ حمله، زمان دستیابی

Citation: Esmaeili, M., Hassanpour, M., Rafiee Dastjerdi, H., Fathi, A. A. & Khoshhal Sarmast, M. (2024) Effect of three wheat cultivars on functional response of *Hippodamia variegata* (Col.: Coccinellidae) to the greenbug, *Schizaphis graminum* (Hem.: Aphididae). *J. Entomol. Soc. Iran* 44 (4), 369-381.

مقدمه

شته معمولی گندم، *Schizaphis graminum* Rondani (Hemiptera: Aphididae)، یکی از آفات مهم با دامنه میزبانی وسیع است که حداقل به ۶۰ گونه گیاهی از جمله گندم، جو، ارزن، یولاف، سورگوم، برنج و ذرت حمله می‌کند. فعالیت این شته اغلب در منطقه پالئارکتیک بوده ولی امروزه به سایر نواحی نیز گسترش پیدا کرده است (Blackman & Eastop, 2000). این شته اغلب از طریق مکیدن شیره گیاهان میزبان باعث ایجاد خسارت می‌شود. ورود بزاق سمی این شته به گیاه میزبان باعث اختلال در فیزیولوژی گیاه و کاهش عملکرد میزبان از طریق تأثیر بر فتوسنتز، زیست‌توده گیاه، تشکیل دانه، وزن هزار دانه و نیز محتوی نیتروژن و پروتئین دانه می‌شود (Ciepiela, 1993). هم‌چنین، انتقال ویروس‌های بیماری‌زای گیاهی به ویژه ویروس کوتولگی زرد جو، ویروس موزاییک نیشکر و ویروس موزاییک کوتولگی ذرت از طریق بزاق این شته موجب خسارت بیشتر در گیاهان میزبان می‌شود (Chen et al.; Mirshekar et al., 2013).

در سال‌های اخیر، به دلیل استفاده بی‌رویه از سموم مختلف (مانند فنیتروتیون، دلتامترین و لامپدا سی‌هالوترین) علیه سن گندم و به دنبال آن کاهش جمعیت و یا از بین رفتن دشمنان طبیعی مؤثر در مزارع گندم، انتشار و خسارت شته *S. graminum* در مزارع زیاد شده است و بنابراین کنترل جمعیت این آفت

Corresponding author: Mahdi Hassanpour (Email: hassanpour@uma.ac.ir)



© 2024 by Author(s), Published by the Entomological Society of Iran

This Work is Licensed under Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International Public License.

بسیار مهم است (Ahmadi *et al.*, 2013). از راهکارهای مؤثر در مدیریت تلفیقی آفات و کاهش تأثیر سوء سموم شیمیایی بر زیست‌بوم‌های کشاورزی می‌توان به استفاده تلفیقی از روش‌های کنترل بیولوژیک و زراعی (استفاده از ارقام مقاوم) اشاره کرد (Emami *et al.*, 2014; Jafarian *et al.*, 2022). کفشدوزک *Hippodamia variegata* Goeze (Coleoptera: Coccinellidae) یکی از دشمنان طبیعی مهم با پراکنش گسترده در منطقه پالتارکتیک می‌باشد (Obrycki & Orr, 1990). در ایران نیز وجود این گونه از اغلب مناطق مانند اصفهان، فارس، یاسوج، شهرکرد، اردبیل و غیره گزارش شده است (Alizamani *et al.*, 2017; Abdolahi Mesbah *et al.*, 2015). این شکارگر در مراحل لاروی و حشره کامل در درجه اول از شته‌ها و در صورت نیاز از سایر طعمه‌ها مانند تریپس‌ها، سفیدبالک‌ها، کنه‌ها و غیره تغذیه می‌کند (Obrycki & Orr, 1990). از بین گونه‌های مختلف شته که مورد حمله این کفشدوزک قرار می‌گیرند می‌توان به شته جالیز، شته سبز هلو، شته سیاه باقلا، شته برگ ذرت (Aslan & Uygun, 2005) و شته معمولی گندم (Roshanianfard, 2017) اشاره کرد.

کارایی یک دشمن طبیعی تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار می‌گیرد که از جمله آن‌ها می‌توان به واکنش تابعی آن اشاره کرد. واکنش تابعی یکی از اجزای مهم در مطالعه روابط بین دشمنان طبیعی و طعمه‌های آن‌ها می‌باشد (Enkegaard, 1994). این واکنش در حشرات شکارگر به صورت رابطه بین تعداد طعمه مورد حمله قرار گرفته توسط شکارگر و تراکم طعمه تعریف می‌شود (Solomon, 1949). هولینگ (Holling, 1961) سه نوع واکنش تابعی مختلف را برای دشمنان طبیعی معرفی کرد. در واکنش تابعی نوع اول، با افزایش تراکم طعمه، تعداد طعمه‌های مورد حمله قرار گرفته تا رسیدن به یک حداکثر به صورت خطی افزایش یافته و سپس ثابت می‌ماند. در این حالت، نسبت طعمه‌های مورد حمله قرار گرفته تا یک مرحله ثابت بوده (مستقل از تراکم) و سپس کاهش می‌یابد. در واکنش تابعی نوع دوم، با افزایش تراکم طعمه، تعداد طعمه‌های مورد حمله قرار گرفته افزایش یافته ولی این افزایش به صورت خطی نبوده و به تدریج از شیب منحنی کاسته شده و به یک مقدار ثابت می‌رسد. در این حالت، نسبت طعمه‌های مورد حمله قرار گرفته به تدریج کاهش می‌یابد (وابسته به تراکم معکوس). در واکنش تابعی نوع سوم، تعداد طعمه‌های مورد حمله قرار گرفته به صورت منحنی سیگموئیدی (S شکل) است که ابتدا شیب آن کند بوده و سپس به شیب آن افزوده شده و سپس کاهش می‌یابد. در این وضعیت، نسبت طعمه‌های مورد حمله قرار گرفته ابتدا افزایش (وابسته به تراکم) و بعد کاهش می‌یابد. با بررسی واکنش تابعی مراحل رشدی مختلف یک دشمن طبیعی همچنین می‌توان مرحله رشدی مناسب برای رهاسازی آن را تعیین نمود، زیرا مراحل رشدی مختلف از نظر نرخ حمله (a) و زمان دستیابی (Th) متفاوت می‌باشند (Seko & Miura, 2008). نرخ حمله و زمان دستیابی دو پارامتر مهم واکنش تابعی هستند که برآورد آن‌ها می‌تواند برای بررسی توانایی دشمن طبیعی در تنظیم جمعیت آفت مورد استفاده قرار گیرد (Fantinou *et al.*, 2012).

در دهه‌های اخیر، روند برنامه‌های اصلاح نباتات بیشتر در جهت معرفی و تولید ارقام گندم با عملکرد بالا برای تأمین نیازهای تغذیه‌ای جمعیت رو به رشد انسان بوده است (Khodarahmi & Vazan, 2010). ارقام توصیه شده برای کشت ممکن است میزان مقاومت یا حساسیت متفاوتی به آفات داشته باشند و به صورت مستقیم (از طریق خصوصیات ریخت‌شناختی) و یا غیرمستقیم (از طریق تولید ترکیبات شیمیایی) جمعیت آفات و دشمنان طبیعی آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهند (Price *et al.*, 1980). بر اساس نتایج پژوهش‌های مختلف، واکنش تابعی دشمنان طبیعی می‌تواند تحت تأثیر ارقام مختلف گیاهی قرار گیرد (Jafarian *et al.*, 2022; Emami *et al.*, 2014; Rezaie *et al.*, 2017). در ارتباط با گیاه گندم نیز، محققین مختلف تأثیر ارقام مختلف آن را بر واکنش تابعی کفشدوزک‌ها بررسی کرده‌اند (Behnazar & Madadi, 2015; Roshanianfard, 2017; Hu *et al.*, 2022). در این تحقیقات به ترتیب تأثیر ارقام *Sardari* و *Back cross* روی واکنش تابعی کفشدوزک *H. variegata* با تغذیه از شته *Diuraphis noxia* Mordvilko ارقام کاسکوژن، اروم و هما روی واکنش تابعی کفشدوزک *H. variegata* با تغذیه از شته *S. graminum* و چهار لاین مختلف گندم روی واکنش تابعی کفشدوزک *Propylaea japonica* (Thunberg) با تغذیه از *S. graminum* مورد بررسی قرار گرفته است.

هدف از تحقیق حاضر، بررسی تأثیر سه رقم متداول ارقام گندم شامل احسان، مروارید و تیرگان بر واکنش تابعی لاروهای سن چهارم و حشرات کامل نر و ماده کفشدوزک *H. variegata* نسبت به تراکم‌های مختلف شته *S. graminum* بود. نتایج این پژوهش می‌تواند اطلاعات ما را در مورد کارایی کفشدوزک *H. variegata* روی این ارقام گندم به منظور استفاده در برنامه‌های مدیریت تلفیقی این آفت افزایش دهد.

مواد و روش‌ها

پرورش گیاه میزبان و حشرات. بذور سه رقم متداول گندم در ایران شامل احسان، مروارید و تیرگان از واحد تحقیقاتی ثبت و گواهی بذر و نهال، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان تهیه شد. بذور گندم به مدت ۲۴ ساعت در آب خیسانده شد و سپس در گلدان‌های پلاستیکی به قطر دهانه ۱۵ سانتی‌متر که با مخلوطی از خاک، ماسه و کود حیوانی (به ترتیب حجمی به نسبت ۲: ۱: ۱) پر شده بود، کاشته شد. گیاهان در گلخانه در دمای 25 ± 2 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و دوره نوری طبیعی نگهداری شدند. از این گیاهان برای پرورش کلنی حشرات استفاده شد.

برای ایجاد کلنی شته *S. graminum*، ابتدا شته‌های بالغ بی‌بال از مزارع گندم آلوده به این آفت در اطراف اردبیل جمع‌آوری شد. پس از اطمینان از صحت گونه، شته‌های جمع‌آوری شده به صورت جداگانه روی بوته‌های ارقام گندم منتقل و به مدت حداقل سه نسل پرورش داده شدند. در طی پرورش، هر هفته گیاهان به شدت آلوده با گیاهان سالم جایگزین می‌شدند.

حشرات کامل کفشدوزک *H. variegata* از مزارع گندم آلوده به شته در اطراف اردبیل جمع‌آوری و برای تغذیه و تخم‌گذاری روی گیاهان گندم آلوده به شته *S. graminum* منتقل شدند. این کفشدوزک روی هر رقم به مدت سه نسل پرورش داده شد. طی پرورش، گیاهان آلوده به شته در اختیار کفشدوزک قرار می‌گرفت. پرورش حشرات در اتاقک رشد در دمای 25 ± 2 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنی و ۸ ساعت تاریکی انجام گرفت. برای جلوگیری از پراکنده شدن حشرات مورد مطالعه در اتاقک رشد، اطراف گلدان‌ها با پارچه توری ظریف پوشانده شد.

روش انجام آزمایش. برای آماده‌سازی واحدهای آزمایشی مورد استفاده برای بررسی واکنش تابعی کفشدوزک *H. variegata*، تعدادی بذر گندم خیس‌انده شده از هر رقم مورد بررسی به صورت جداگانه در لیوان‌های پلاستیکی شفاف به قطر دهانه ۹ و ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر که با مخلوطی از خاک، ماسه و کود حیوانی به نسبت حجمی (۲:۱:۱) پر شده بودند کاشته شدند. زمانی که ارتفاع گیاهچه به حدود ۱۲ سانتی‌متر رسید برای آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند.

برای هم‌سن‌سازی شته‌ها، حشرات ماده کامل شته از کلنی پرورش به صورت تصادفی انتخاب و با قلم‌موی ظریف به روی گیاهان سالم هر رقم گندم منتقل شدند. پس از ۲۴ ساعت، حشرات کامل از روی گیاهان حذف و پوره‌های تولید شده تا رسیدن به مرحله رشدی مورد نظر (پوره چهار روزه) روی گیاهان پرورش داده شدند. برای هم‌سن‌سازی افراد شکارگر، حشرات کامل نر و ماده کفشدوزک به صورت جفت روی بوته‌های هر یک از ارقام گندم آلوده به شته رهاسازی شدند. سپس، تخم‌های گذاشته شده با طول عمر کمتر از ۲۴ ساعت با استفاده از قلم‌مو از روی گیاهان برداشته شده و به داخل ظروف پتری پلاستیکی (۹ سانتی‌متر) منتقل شدند. پس از تفریح تخم‌ها، لاروهای کفشدوزک تا رسیدن به مرحله رشدی مورد نظر (لاروهای سن چهارم یا حشرات کامل نر و ماده) به صورت روزانه با تعداد کافی از شته‌های *S. graminum* مستقر روی برگ‌های هر رقم گندم به صورت جداگانه تغذیه شدند.

برای انجام آزمایش، پوره‌های چهار روزه شته *S. graminum* در ۹ تراکم مختلف (۲، ۴، ۸، ۱۶، ۳۲، ۶۴، ۹۶، ۱۲۸ و ۱۶۰ عدد) با استفاده از قلم‌مو روی گیاهچه‌های هر رقم گندم در هر واحد آزمایشی منتقل شدند. حدود دو ساعت پس از استقرار شته‌ها روی گیاهان، لاروهای سن چهارم (با طول عمر حداکثر ۱۲ ساعت) و حشرات کامل نر و ماده کفشدوزک *H. variegata* (۵ روزه که به مدت ۲۴ ساعت گرسنه نگه داشته شده بودند) به صورت جداگانه به داخل هر واحد آزمایشی رهاسازی شدند. برای جلوگیری از خروج حشرات از واحدهای آزمایشی، لیوان پلاستیکی شفاف دیگری با همان مشخصات ذکر شده در بالا روی لیوان‌های پلاستیکی اولیه به صورت معکوس قرار داده شده و محل تلاقی لبه‌های دو لیوان با نوار چسب مسدود شد. برای تأمین تهویه، سوراخی به قطر ۲ سانتی‌متر در کف لیوان بالایی ایجاد و با توری ظریف پوشانده شد. آزمایش برای هر تراکم شته و هر مرحله رشدی کفشدوزک و هر رقم گندم در ۱۰ تکرار انجام شد. واحدهای آزمایشی مورد نظر به داخل اتاقک رشد با دمای 25 ± 2 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی منتقل شدند. پس از ۲۴ ساعت، شکارگرها از داخل واحدهای آزمایشی حذف و سپس تعداد شته‌های زنده مانده روی هر رقم شمارش و تعداد شته‌های خورده شده محاسبه و ثبت شد.

تجزیه داده‌ها. تجزیه داده‌های واکنش تابعی در دو مرحله و با استفاده از نرم‌افزار (SAS Institute, 2002) SAS انجام شد (Juliano, 2001). در مرحله اول برای تعیین نوع واکنش تابعی شکارگر، رگرسیون لجستیک نسبت شته‌های خورده شده (N_c) به تراکم اولیه شته (N_0) با استفاده از تابع چند جمله‌ای زیر برآورد شد (Trexler & Travis, 1993):

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

در این رابطه، P_0 (عرض از مبدأ)، P_1 (خطی)، P_2 (درجه ۲) و P_3 (درجه ۳) پارامترهایی هستند که توسط مدل تخمین زده می‌شوند. منفی یا مثبت بودن قسمت خطی در این تابع، به ترتیب نشانگر واکنش تابعی نوع دوم و سوم می‌باشد (Juliano, 2001).

در مرحله دوم، پارامترهای نرخ حمله (a) و زمان دستیابی (T_h) کفشدوزک با استفاده از رگرسیون غیرخطی در نرم‌افزار SAS محاسبه شدند. با توجه به این که شته‌های خورده شده توسط کفشدوزک *H. variegata* در طی آزمایش جایگزین نشدند، از مدل راجرز (Rogers, 1972) برای تخمین پارامترها استفاده شد:

$$N_e = N_0 \{1 - \exp[a(T_h N_e - T)]\} \quad (2)$$

در این معادله، N_e تعداد شته خورده شده، N_0 تعداد اولیه شته، a نرخ حمله، T_h زمان دستیابی و T کل مدت زمان آزمایش (۲۴ ساعت در بررسی حاضر) می‌باشد. برای بررسی وجود تفاوت معنی‌دار بین پارامترها در تیمارهای مختلف از معادله زیر استفاده شد (Juliano, 2001):

$$N_e = N_0 \{1 - \exp[-(a + D_a(j))(T - (T_h + D_{Th}(j))N_e)]\} \quad (3)$$

در این معادله، j متغیری است که عدد صفر یا یک به آن تعلق می‌گیرد. با تخمین پارامترهای D_{Th} و D_a می‌توان تفاوت معنی‌دار در مقدار a و T_h را مشخص نمود. به عبارت دیگر، برای مقایسه T_h دو تیمار، زمان دستیابی تیمار اول T_h و زمان دستیابی تیمار دوم $T_h + D_{Th}$ در نظر گرفته می‌شود. برای تشخیص وجود تفاوت معنی‌دار بین زمان‌های دستیابی دو تیمار باید ثابت شود که تفاوت D_{Th} با صفر معنی‌دار است. اگر D_{Th} تفاوت معنی‌داری با صفر داشته باشد (یعنی محدوده اطمینان ۹۵ درصد داده‌ها شامل صفر نباشد) در این صورت اختلاف بین T_h و $T_h + D_{Th}$ (زمان دستیابی بین دو تیمار) معنی‌دار خواهد بود. مقادیر نرخ حمله بین دو تیمار نیز با روش مشابه مقایسه شدند.

تجزیه داده‌های نرخ شکارگری مراحل مختلف رشدی کفشدوزک *H. variegata* نسبت به تراکم‌های متفاوت شته در ارقام مورد بررسی با استفاده از رویه (General Linear Model-Univariate) GLM و مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد در نرم‌افزار SPSS انجام شد (SPSS, 2007). رسم منحنی‌ها در نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج

بر اساس نتایج تجزیه رگرسیون لجستیک، علامت بخش خطی رگرسیون برای مراحل رشدی لارو سن چهارم و حشرات کامل نر و ماده کفشدوزک *H. variegata* در تغذیه از شته *S. graminum* روی هر سه رقم مورد بررسی منفی بود (جدول ۱) که نشانگر واکنش تابعی نوع دوم می‌باشد. بر این اساس، با افزایش تراکم شته *S. graminum* در هر سه رقم گندم، تعداد شته‌های خورده شده توسط مراحل رشدی مختلف کفشدوزک *H. variegata* به صورت کاهنده‌ای افزایش می‌یابد (شکل ۱).

مقادیر پارامترهای نرخ حمله (a) و زمان دستیابی (T_h) لارو سن چهارم و حشرات کامل نر و ماده کفشدوزک نسبت به شته معمولی گندم روی ارقام مختلف گندم در جدول ۲ نشان داده شده است. به طوری که مشاهده می‌شود نرخ حمله (a) شکارگر در رقم احسان بین ۰/۰۶۲ تا ۰/۱۵۲ بر ساعت، در رقم مروارید بین ۰/۰۳۳ تا ۰/۱۰۶ بر ساعت و در رقم تیرگان بین ۰/۰۴۶ تا ۰/۱۵۴ بر ساعت محاسبه شد (جدول ۲). همچنین، زمان دستیابی (T_h) مراحل رشدی مختلف شکارگر در ارقام فوق به ترتیب بین ۰/۱۶۵ تا ۰/۱۸۷، ۰/۱۷۲ تا ۰/۲۷۴ و ۰/۱۸۲ تا ۰/۲۲۲ ساعت تخمین زده شد. مقایسه پارامترهای واکنش تابعی در ارقام مختلف و برای مراحل رشدی مورد بررسی کفشدوزک شکارگر نشان داد که در رقم احسان تفاوت معنی‌داری بین نرخ حمله لارو سن چهارم کفشدوزک با حشرات کامل نر و نرخ حمله حشرات کامل نر با حشرات کامل ماده وجود داشت (جدول ۳). به طوری که، نرخ حمله لارو سن چهارم و حشرات کامل ماده به صورت معنی‌داری بیشتر از مقدار متناظر در حشرات کامل نر بود. اختلاف در این پارامتر بین لارو سن چهارم و افراد ماده معنی‌دار نبود.

جدول ۱- تجزیه رگرسیون لجستیک نسبت شته *Schizaphis graminum* خورده شده توسط لاروهای سن چهارم و حشرات کامل نر و ماده کفشدوزک *Hippodamia variegata* روی سه رقم گندم.

Table 1. Logistic regression analyses of the proportion of *Schizaphis graminum* eaten by 4th instar larvae and adult males and females of *Hippodamia variegata* on three wheat cultivars.

Wheat cultivar	Predator stage	Parameters	Estimate	SE	χ^2	P-value
Ehsan	4 th instar	Constant (P_0)	20.4199	2.8640	50.83	<0.0001
		Linear (P_1)	-0.4507	0.0772	34.05	<0.0001
		Quadratic (P_2)	0.00346	0.000673	26.49	<0.0001
		Cubic (P_3)	-8.87E-6	1.894E-6	21.92	<0.0001
	Male	Constant (P_0)	3.7071	0.3134	139.94	<0.0001
		Linear (P_1)	-0.0853	0.0117	52.74	<0.0001
		Quadratic (P_2)	0.000682	0.000133	26.44	<0.0001
		Cubic (P_3)	-1.84E-6	4.51E-7	16.68	<0.0001
	Female	Constant (P_0)	6.6115	0.8249	64.24	<0.0001
		Linear (P_1)	-0.1059	0.0256	17.08	<0.0001
		Quadratic (P_2)	0.000618	0.000252	6.02	0.0142
		Cubic (P_3)	-1.24E-6	7.806E-7	2.53	0.1120
Morvarid	4 th instar	Constant (P_0)	5.3812	0.5055	113.34	<0.0001
		Linear (P_1)	-0.1087	0.0169	41.27	<0.0001
		Quadratic (P_2)	0.000760	0.000176	18.53	<0.0001
		Cubic (P_3)	-1.84E-6	5.708E-7	10.44	0.0012
	Male	Constant (P_0)	1.5322	0.1855	68.24	<0.0001
		Linear (P_1)	-0.0552	0.00825	44.71	<0.0001
		Quadratic (P_2)	0.000528	0.000102	26.57	<0.0001
		Cubic (P_3)	-1.65E-6	3.679E-7	20.12	<0.0001
	Female	Constant (P_0)	3.0431	0.2757	121.81	<0.0001
		Linear (P_1)	-0.0587	0.0107	30.05	<0.0001
		Quadratic (P_2)	0.000369	0.000124	8.90	0.0029
		Cubic (P_3)	-8.43E-7	4.271E-7	3.89	0.0485
Tirgan	4 th instar	Constant (P_0)	7.9978	1.0451	58.57	<0.0001
		Linear (P_1)	-0.1447	0.0313	21.32	<0.0001
		Quadratic (P_2)	0.000934	0.000299	9.78	0.0018
		Cubic (P_3)	-2.08E-6	9.026E-7	5.33	0.0210
	Male	Constant (P_0)	2.4284	0.2240	117.49	<0.0001
		Linear (P_1)	-0.0665	0.00931	50.94	<0.0001
		Quadratic (P_2)	0.000583	0.000112	27.32	<0.0001
		Cubic (P_3)	-1.72E-6	3.93E-7	19.14	<0.0001
	Female	Constant (P_0)	4.0075	0.3603	123.74	<0.0001
		Linear (P_1)	-0.0774	0.0130	35.18	<0.0001
		Quadratic (P_2)	0.000551	0.000144	14.62	0.0001
		Cubic (P_3)	-1.39E-6	4.84E-7	8.27	0.0040

جدول ۲- نرخ حمله (a) و زمان دست‌یابی (T_h) لاروهای سن چهارم و حشرات کامل نر و ماده کفشدوزک *Hippodamia variegata* در تغذیه از شته *Schizaphis graminum* روی سه رقم گندم.

Table 2. Attack rate (a) and handling time (T_h) of 4th instar larvae and adult males and females of *Hippodamia variegata* feeding on *Schizaphis graminum* on three wheat cultivars.

Wheat cultivar	predator stage	a (h^{-1})		T_h (h)		R^2
		estimate \pm SE	95% CI [*]	estimate \pm SE	95% CI	
Ehsan	4 th instar	0.152 \pm 0.018	0.116 - 0.187	0.165 \pm 0.010	0.144 - 0.186	0.98
	Male	0.062 \pm 0.003	0.055 - 0.069	0.177 \pm 0.010	0.157 - 0.196	0.99
	Female	0.136 \pm 0.012	0.113 - 0.160	0.187 \pm 0.008	0.170 - 0.204	0.99
Morvarid	4 th instar	0.106 \pm 0.007	0.092 - 0.120	0.252 \pm 0.008	0.237 - 0.268	0.99
	Male	0.033 \pm 0.002	0.030 - 0.037	0.172 \pm 0.015	0.142 - 0.203	0.98
	Female	0.080 \pm 0.005	0.070 - 0.090	0.274 \pm 0.009	0.255 - 0.293	0.98
Tirgan	4 th instar	0.154 \pm 0.012	0.130 - 0.179	0.222 \pm 0.007	0.209 - 0.236	0.99
	Male	0.046 \pm 0.002	0.042 - 0.050	0.182 \pm 0.011	0.160 - 0.203	0.99
	Female	0.085 \pm 0.005	0.076 - 0.095	0.200 \pm 0.008	0.184 - 0.215	0.99

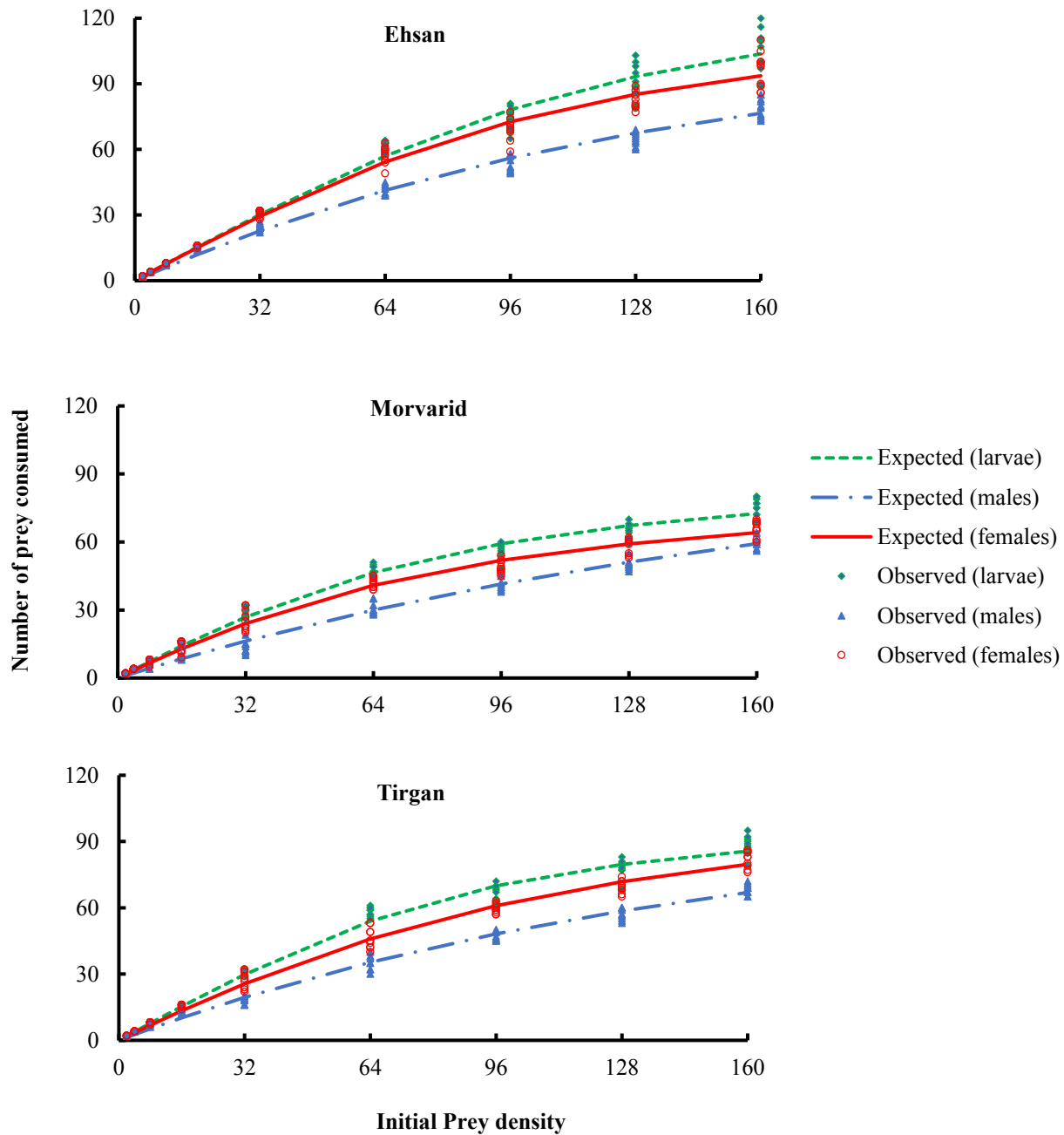
*Confidence Interval

جدول ۳- مقادیر برآورد شده توسط مدل ترکیبی برای مقایسه پارامترهای واکنش تابعی لاروهای سن چهارم و حشرات کامل نر و ماده کفشدوزک *Hippodamia variegata* در تغذیه از شته *Schizaphis graminum* روی سه رقم گندم.

Table 3. Parameters estimated using combined equation for comparison of functional response parameters of 4th instar larvae and adult males and females of *Hippodamia variegata* feeding on *Schizaphis graminum* on three wheat cultivars.

Cultivar (Predator stage) or Predator stage (Cultivar)	Parameter	Estimate	SE	Approximate 95% CI [*]	
				Lower	Upper
Ehsan (4 th instar – Male)	D_a	-0.0895	0.0153	-0.1197	-0.0593
	D_{T_h}	0.0117	0.0167	-0.0212	0.0446
Ehsan (4 th instar – Female)	D_a	-0.0156	0.0211	-0.0572	0.0261
	D_{T_h}	0.0222	0.0136	-0.00455	0.0490
Ehsan (Male – Female)	D_a	0.0740	0.0112	0.0519	0.0961
	D_{T_h}	0.0105	0.0139	-0.0169	0.0378
Morvarid (4 th instar – Male)	D_a	-0.0724	0.00687	-0.0860	-0.0589
	D_{T_h}	-0.0801	0.0178	-0.1152	-0.0450
Morvarid (4 th instar – Female)	D_a	-0.0242	0.00871	-0.0414	-0.00702
	D_{T_h}	0.0252	0.0123	0.000932	0.0494
Morvarid (Male – Female)	D_a	0.0482	0.00536	0.0377	0.0588
	D_{T_h}	0.1053	0.0185	0.0687	0.1419
Tirgan (4 th instar – Male)	D_a	-0.1087	0.0113	-0.1310	-0.0865
	D_{T_h}	-0.0406	0.0140	-0.0683	-0.0130
Tirgan (4 th instar – Female)	D_a	-0.0693	0.0126	-0.0942	-0.0443
	D_{T_h}	-0.0226	0.0106	-0.0434	-0.00173
Tirgan (Male – Female)	D_a	0.0395	0.00499	0.0296	0.0493
	D_{T_h}	0.0181	0.0139	-0.00930	0.0454
4 th instar (Ehsan-Morvarid)	D_a	-0.0457	0.0177	-0.0806	-0.0108
	D_{T_h}	0.0874	0.0143	0.0592	0.1156
4 th instar (Ehsan-Tirgan)	D_a	0.00281	0.0223	-0.0412	0.0469
	D_{T_h}	0.0573	0.0127	0.0322	0.0824
4 th instar (Morvarid-Tirgan)	D_a	0.0485	0.0138	0.0214	0.0757
	D_{T_h}	-0.0301	0.0104	-0.0507	-0.00944
Male (Ehsan-Morvarid)	D_a	-0.0286	0.00365	-0.0358	-0.0214
	D_{T_h}	-0.00445	0.0190	-0.0419	0.0330
Male (Ehsan-Tirgan)	D_a	-0.0164	0.00388	-0.0241	-0.00876
	D_{T_h}	0.00494	0.0151	-0.0250	0.0348
Male (Morvarid-Tirgan)	D_a	0.0122	0.00274	0.00679	0.0176
	D_{T_h}	0.00939	0.0188	-0.0277	0.0465
Female (Ehsan-Morvarid)	D_a	-0.0544	0.0121	-0.0783	-0.0304
	D_{T_h}	0.0904	0.0137	0.0634	0.1173
Female (Ehsan-Tirgan)	D_a	-0.0509	0.0118	-0.0742	-0.0276
	D_{T_h}	0.0125	0.0120	-0.0112	0.0362
Female (Morvarid-Tirgan)	D_a	0.00345	0.00707	-0.0105	0.0174
	D_{T_h}	-0.0778	0.0123	-0.1022	-0.0534

*Confidence Interval



شکل ۱- منحنی‌های واکنش تابعی لاروهای سن چهارم و حشرات کامل نر و ماده کفشدوزک *Hippodamia variegata* در تغذیه از تراکم‌های مختلف شته *Schizaphis graminum* روی سه رقم گندم.

Fig. 1. Functional response curves of 4th instar larvae and adult males and females of *Hippodamia variegata* feeding on different densities of *Schizaphis graminum* on three wheat cultivars.

در رقم مروارید، اختلاف در مقادیر نرخ حمله و زمان دستیابی بین مراحل مورد بررسی شکارگر معنی‌دار بود. در این رقم، نرخ حمله لارو سن چهارم بیشترین (۰/۱۰۶ بر ساعت) و حشرات کامل نر کمترین مقدار (۰/۰۳۳ بر ساعت) را داشت. زمان دستیابی حشرات کامل نر نیز در این رقم کمترین مقدار (۰/۱۷۲ ساعت) را داشت. در رقم تیرگان، غیر از زمان دستیابی بین افراد نر و ماده، اختلاف بین سایر پارامترها معنی‌دار بود.

مقایسه پارامترهای واکنش تابعی هر مرحله رشدی کفشدوزک *H. variegata* روی ارقام مورد بررسی (جدول ۳) نشان داد که در لارو سن چهارم، غیر از پارامتر نرخ حمله در ارقام احسان و تیرگان، اختلاف در سایر پارامترها بین ارقام معنی‌دار بود. زمان دستیابی لارو سن چهارم در رقم احسان کمترین مقدار (۰/۱۶۵ ساعت) را داشت. اختلاف در پارامتر نرخ حمله حشرات کامل نر بین ارقام مختلف معنی‌دار بود و بیشترین مقدار روی رقم احسان به دست آمد.

اختلاف در پارامترهای نرخ حمله و زمان دستیابی حشرات کامل ماده کفشدوزک بین ارقام احسان و مروارید معنی‌دار بود. بیشترین مقدار نرخ حمله و کمترین مقدار زمان دستیابی حشرات ماده در رقم احسان به دست آمد. همچنین اختلاف در نرخ حمله بین ارقام احسان و تیرگان و زمان دستیابی بین ارقام مروارید و تیرگان معنی‌دار بود، به طوری که بیشترین مقدار نرخ حمله روی رقم احسان (در مقایسه بین احسان و تیرگان) و کمترین مقدار زمان دستیابی روی رقم تیرگان (در مقایسه بین مروارید و تیرگان) به دست آمد.

مقادیر $alTh$ نشانگر کارایی (Ziaei Madbouni et al., 2017) و $TTTh$ بیانگر حداکثر نرخ شکارگری نظری (Hassell, 1982) می‌باشد. بر اساس نتایج بررسی حاضر، مقدار $alTh$ برای لاروهای سن چهارم و حشرات کامل نر و ماده کفشدوزک *H. variegata* در رقم احسان به ترتیب ۰/۹۲۱، ۰/۳۵۰، ۰/۷۳۷، در رقم مروارید به ترتیب ۰/۴۲۰، ۰/۱۹۱، ۰/۲۹۲ و در رقم تیرگان به ترتیب ۰/۶۹۴، ۰/۲۵۳، ۰/۴۲۵ محاسبه شد. مقدار $TTTh$ برای لاروهای سن چهارم و حشرات کامل نر و ماده این کفشدوزک در رقم احسان به ترتیب ۱۴۵/۴۵، ۱۳۵/۵۹ و ۱۲۸/۳۴، در رقم مروارید به ترتیب ۹۵/۲۴، ۱۳۹/۵۳ و ۸۷/۵۹ و در رقم تیرگان به ترتیب ۱۰۸/۱۱، ۱۳۱/۸۷ و ۱۲۰/۰۰ به دست آمد.

نرخ شکارگری در تراکم ۸ شته به طور معنی‌داری تحت تاثیر هر دو فاکتور رقم ($F_{۲,۹۱} = ۵/۹۹۳$; $P = ۰/۰۰۴$) و مراحل مختلف رشدی ($P < ۰/۰۰۰۱$) قرار گرفت، ولی اثر متقابل این دو فاکتور ($F_{۲,۹۱} = ۸/۶۶۱$) قرار گرفت، ولی اثر متقابل این دو فاکتور ($F_{۲,۹۱} = ۲/۱۱۸$; $P < ۰/۰۸۶$) معنی‌دار نبود. همچنین طبق نتایج به دست آمده، تاثیر رقم و مراحل مختلف رشدی شکارگر و اثر متقابل آن‌ها بر نرخ شکارگری در تراکم‌های ۱۶ (به ترتیب $F_{۲,۹۱} = ۱۹/۹۹۵$; $P < ۰/۰۰۰۱$ و $F_{۲,۹۱} = ۲۰/۵۶۵$; $P < ۰/۰۰۰۱$) و ۳۲ (به ترتیب $F_{۲,۹۱} = ۴/۷۴۰$; $P < ۰/۰۰۲$ و $F_{۲,۹۱} = ۱۹۴/۲۴۲$; $P < ۰/۰۰۰۱$ و $F_{۲,۹۱} = ۸/۹۴۰$; $P < ۰/۰۰۰۱$)، ۶۴ (به ترتیب $F_{۲,۹۱} = ۱۴۸/۰۶۰$; $P < ۰/۰۰۰۱$ و $F_{۲,۹۱} = ۳۱۷/۰۸۰$; $P < ۰/۰۰۰۱$ و $F_{۲,۹۱} = ۶/۵۰۹$; $P < ۰/۰۰۱$)، ۹۶ (به ترتیب $F_{۲,۹۱} = ۱۶۸/۶۴۶$; $P < ۰/۰۰۰۱$) و ۱۲۸ (به ترتیب $F_{۲,۹۱} = ۲۱۷/۰۱۵$; $P < ۰/۰۰۰۱$ و $F_{۲,۹۱} = ۲۰۰/۲۴۷$; $P < ۰/۰۰۰۱$) و ۱۶۰ شته (به ترتیب $F_{۲,۹۱} = ۵/۰۰۲$; $P < ۰/۰۰۰۱$ و $F_{۲,۹۱} = ۱۶۰/۹۸۴$; $P < ۰/۰۰۰۱$ و $F_{۲,۹۱} = ۹۹/۰۱۲$; $P < ۰/۰۰۰۱$ و $F_{۲,۹۱} = ۳/۵۱۲$; $P < ۰/۰۰۱$) معنی‌دار بود (جدول ۴).

بحث و نتیجه گیری

بر اساس نتایج به دست آمده، واکنش تابعی لاروهای سن چهارم و حشرات کامل نر و ماده کفشدوزک *H. variegata* نسبت به تراکم‌های مختلف شته *S. graminum* روی هر سه رقم مورد بررسی گندم از نوع دوم بود. این یافته نشان می‌دهد که تفاوت در ارقام گندم تأثیری بر نوع واکنش تابعی مراحل رشدی مورد مطالعه کفشدوزک *H. variegata* نداشت. این نتیجه هم‌سو با یافته‌های (Roshanianfard, 2017) است که نشان داد واکنش تابعی لاروهای سن چهارم و حشرات کامل نر و ماده کفشدوزک *H. variegata* نسبت به شته *S. graminum* روی سه رقم گندم کاسکوژن، اروم و هما از نوع دوم بود. همچنین، Behnazar (2015) & Madadi و واکنش تابعی لاروهای سن سوم و چهارم و نیز حشرات کامل نر و ماده کفشدوزک *H. variegata* را در تغذیه از شته *Diuraphis noxia* Mordvilko روی ارقام Sardari و Back cross از نوع دوم گزارش کردند. در پژوهش‌های دیگر نیز واکنش تابعی مراحل مختلف رشدی کفشدوزک *H. variegata* روی طعمه‌های مختلف مانند شته‌های *Myzus persicae* (Sulzer) (Ramezani & Hassankhani & Allahyari, 2013)، *Aphis punicae* Pass. (Dehkordi et al., 2012) و پسیل *Agonoscaena pistaciae* (Farhadi et al., 2010) *Aphis fabae* (Scolpoli) (Samih, 2016) و *Aphis gossypii* Glover (Asghari et al., 2012) Burckhardt & Lauterer)) از نوع دوم گزارش شده است. عدم امکان ترک محل تجمع طعمه و افزایش نرخ برخورد شکارگر با طعمه در واحدهای کوچک آزمایشگاهی در مقایسه با شرایط طبیعی اغلب باعث بروز واکنش تابعی نوع دوم در دشمنان طبیعی می‌شود (قابل مقایسه با نتایج بررسی حاضر). البته در شرایط مزرعه‌ای محدوده جستجوی وسیع و امکان حرکت آزادانه بین محل‌های تجمع مختلف طعمه ممکن است باعث بروز واکنش تابعی نوع سوم در آن‌ها گردد (Montoya et al., 2000).

لازم به ذکر است که عوامل مختلفی بر نوع واکنش تابعی دشمنان طبیعی تأثیر می‌گذارند که از جمله آن‌ها می‌توان به سن و جنسیت دشمن طبیعی و میزان گرسنگی آن، جثه بدن و مرحله رشدی طعمه، وجود میزبان‌های جایگزین و شرایط آزمایش مثل دما اشاره کرد (Dami et al., 2023) Hassanpour & Moradi, 2019). شکارگرهای دارای واکنش تابعی نوع دوم، در تراکم‌های پایین آفت (مثلاً در اوایل فصل که هنوز تراکم جمعیت آن پائین است) می‌توانند از افزایش جمعیت آن جلوگیری کنند. با این حال، افزایش جمعیت طعمه در طول فصل ممکن است باعث کاهش کارایی این شکارگرها شود. در چنین مواقعی، مداخله‌های مدیریتی از طریق تکثیر و رهاسازی دشمنان طبیعی می‌تواند در جلوگیری از کاهش کارایی آن‌ها در کنترل جمعیت طعمه مؤثر باشد (Parajulee et al., 1994).

بر اساس نتایج به دست آمده، لاروهای سن چهارم و حشرات کامل نر در ارقام مورد بررسی به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار نرخ حمله را داشتند. کمترین زمان دستیابی این کفشدوزک نیز برای لاروهای سن چهارم در رقم احسان به دست آمد. پارامتر نرخ حمله سرعت رسیدن منحنی واکنش به خط مجانب را نشان می‌دهد (Pervez & Omkar, 2005). پارامتر زمان دستیابی نیز در شکارگرها شامل مدت زمان لازم برای یافتن، کشتن، خوردن و هضم طعمه، استراحت و خوردن آب یا فعالیت‌های دیگر می‌باشد (Allahyari et al., 2004). نرخ حمله بالا و زمان دستیابی کوتاه روی یک واحد طعمه باعث افزایش اثرات جمعیتی دشمن طبیعی می‌شود (Liu et al., 2022; Hassanpour & Moradi, 2019). نرخ حمله بالا باعث می‌شود که دشمن طبیعی، جمعیت طعمه خود را در سطح پایین‌تر از سطح زیان اقتصادی کنترل کند (Jafari et al., 2014). کوتاه بودن زمان دستیابی شکارگر نیز سبب می‌شود که شکارگر تعداد طعمه بیشتری را در یک دوره زمانی مشخص مصرف کند. بر عکس، اگر زمان دستیابی شکارگر روی یک واحد طعمه طولانی‌تر باشد تعداد کمتری از آن طعمه مورد تغذیه قرار می‌گیرد (Heidarian Dehkordi et al., 2017). لذا می‌توان بیان نمود که نرخ حمله بالاتر و زمان دستیابی کوتاه‌تر لارو سن چهارم کفشدوزک نسبت به سایر مراحل رشدی شکارگر در رقم احسان می‌تواند عامل مهمی برای بیشتر بودن توان شکارگری آن در کاهش تراکم طعمه باشد.

جدول ۴- میانگین نرخ شکارگری (\pm SE) لاروهای سن چهارم و حشرات کامل نر و ماده کفشدوزک *Hippodamia variegata* در تغذیه از تراکم‌های مختلف شته *Schizaphis graminum* روی سه رقم گندم.

Table 4. Mean prey consumption (\pm SE) of 4th instar larvae and adult males and females of *Hippodamia variegata* feeding on different densities of *Schizaphis graminum* on three wheat cultivars.

Cultivar	Predator stage	Prey density								
		2*	4*	8**	16	32	64	96	128	160
Ehsan	4 th instar	2.00 \pm 0.00 ^e	4.00 \pm 0.00 ^e	8.00 \pm 0.00 ^e	16.00 \pm 0.00 ^{AF}	32.00 \pm 0.00 ^{Ac}	62.00 \pm 0.70 ^{Ad}	74.40 \pm 1.65 ^{Ac}	90.90 \pm 2.66 ^{Ab}	106.20 \pm 3.73 ^{Aa}
	Male	2.00 \pm 0.00 ^b	4.00 \pm 0.00 ^b	7.80 \pm 0.13 ^e	15.40 \pm 0.27 ^{AF}	24.80 \pm 0.49 ^{Cc}	41.30 \pm 0.70 ^{Dd}	53.70 \pm 1.15 ^{DEc}	65.20 \pm 1.01 ^{Cb}	79.20 \pm 1.43 ^{Da}
	Female	2.00 \pm 0.00 ^b	4.00 \pm 0.00 ^{eb}	8.00 \pm 0.00 ^e	15.90 \pm 0.10 ^{AF}	31.00 \pm 0.47 ^{Ac}	57.60 \pm 1.28 ^{Bd}	69.80 \pm 1.66 ^{Abc}	82.60 \pm 1.21 ^{Bb}	96.30 \pm 2.59 ^{Ba}
Morvarid	4 th instar	2.00 \pm 0.00 ^b	4.00 \pm 0.00 ^b	8.00 \pm 0.00 ^e	15.50 \pm 0.27 ^{AF}	29.90 \pm 0.77 ^{ABc}	47.20 \pm 0.77 ^{Ca}	56.10 \pm 1.10 ^{CDc}	65.20 \pm 0.97 ^{Cb}	75.60 \pm 1.17 ^{DEa}
	Male	2.00 \pm 0.00 ^b	4.00 \pm 0.00 ^{eb}	6.50 \pm 0.50 ^e	10.90 \pm 0.94 ^{BF}	13.50 \pm 0.83 ^{Ec}	31.10 \pm 0.92 ^{Fd}	41.10 \pm 0.77 ^{Gc}	50.00 \pm 0.68 ^{Eb}	60.10 \pm 0.82 ^{Ga}
	Female	2.00 \pm 0.00 ^b	4.00 \pm 0.00 ^{eb}	7.40 \pm 0.34 ^e	13.90 \pm 0.84 ^{AF}	25.50 \pm 1.42 ^{Cc}	41.80 \pm 0.74 ^{Dd}	48.70 \pm 0.89 ^{Efc}	58.50 \pm 1.02 ^{Db}	66.10 \pm 1.08 ^{FGa}
Tirgan	4 th instar	2.00 \pm 0.00 ^b	4.00 \pm 0.00 ^b	8.00 \pm 0.00 ^e	16.00 \pm 0.00 ^{AF}	31.10 \pm 0.41 ^{Ac}	57.90 \pm 0.69 ^{ABd}	65.60 \pm 1.33 ^{Bc}	78.10 \pm 1.27 ^{Bb}	88.30 \pm 1.37 ^{BCa}
	Male	2.00 \pm 0.00 ^b	4.00 \pm 0.00 ^b	7.40 \pm 0.27 ^e	14.00 \pm 0.47 ^{AF}	18.00 \pm 0.50 ^{Dc}	35.70 \pm 1.11 ^{Ed}	47.20 \pm 0.66 ^{Fc}	57.10 \pm 0.82 ^{Db}	68.40 \pm 0.75 ^{Ea}
	Female	2.00 \pm 0.00 ^b	4.00 \pm 0.00 ^b	7.80 \pm 0.13 ^e	15.60 \pm 0.22 ^{AF}	27.20 \pm 1.20 ^{BCc}	46.20 \pm 1.45 ^{Ca}	59.60 \pm 0.63 ^{Cc}	69.40 \pm 0.88 ^{Cb}	82.00 \pm 1.18 ^{CDa}

Means in the same row followed by different lowercase letters are significantly different ($p < 0.05$, Tukey's test).

Means in the same column followed by different uppercase letters are significantly different ($p < 0.05$, Tukey's test).

* In the column, data were not compared because all the given preys were eaten.

** Interaction between plant cultivar and predator stage was not significant.

مشابه با تحقیق حاضر، Roshanianfard (2017) در بررسی واکنش تابعی مراحل رشدی کفشدوزک *H. variegata* در تغذیه از شته *S. graminum* روی سه رقم گندم گزارش کرد که بیشترین نرخ حمله و کمترین زمان دستیابی مربوط به لاروهای سن چهارم این کفشدوزک روی رقم کاسکوژن بود. در مطالعه انجام شده توسط Behnazar & Madadi (2015)، نرخ حمله لاروهای سن چهارم این کفشدوزک در تغذیه از شته *D. noxia* روی ارقام Sardari و Back cross بیشتر از سایر مراحل رشدی این کفشدوزک بود. با توجه به این که وجود ترکیبات شیمیایی ثانویه در گیاهان میزبان ممکن است دینامیسم جمعیت آفات و دشمنان طبیعی را تحت تأثیر قرار دهد (War et al., 2020)، به نظر می‌رسد وجود مقدار کمتر ترکیبات شیمیایی ثانویه مانند محتوی فنل و فلاوونوئید کل در رقم احسان (داده‌های منتشر نشده) با تأثیر مثبت بر جمعیت شته *S. graminum* و احتمالاً خوشمزگی آن موجب افزایش تغذیه لاروهای سن چهارم کفشدوزک *H. variegata* روی این رقم شده است. این احتمال نیز وجود دارد که افزایش کارایی این لاروها با وجود موانع ریخت‌شناختی کمتر در سطح برگ-های این رقم مرتبط باشد. گزارش شده است که ساختار ریخت‌شناختی متفاوت گیاهان میزبان می‌تواند نقش مؤثری بر مدت زمان دستیابی، میزان جستجوگری و حرکت دشمنان طبیعی داشته باشد (Madadi et al., 2007; Mahdian et al., 2007).

در بررسی حاضر، بالا بودن زمان دستیابی لاروهای سن چهارم روی سطح برگ ارقام تیرگان و مروارید نیز ممکن است متأثر از وجود موانع فیزیکی بیشتر در سطح برگ‌های این ارقام باشد که نیازمند انجام بررسی‌های بیشتر در این زمینه است. با این وجود، زمان دستیابی کوتاه‌تر حشرات کامل نر در ارقام مروارید و تیرگان نشان می‌دهد که این حشرات به دلیل داشتن بدن سخت و پاهای بلندتر، کمتر تحت تأثیر ساختار ریخت‌شناختی برگ ارقام مذکور قرار گرفتند و با وجود داشتن نرخ حمله کمتر، به دلیل دارا بودن زمان دستیابی کوتاه‌تر به تعداد بیشتری شته حمله نمودند. در یک مطالعه، Gholami Moghaddam et al. (2012) نشان دادند که وجود کرک‌های بلند و متراکم روی برگ ارقام گندم قدس و پیشناز، با کاهش میزان جابه‌جایی سن شکارگر *Orius albidipennis* Reuter موجب کاهش کارایی آن شدند. در مقابل، کوتاهی و انبوهی کمتر کرک‌های برگ گندم در رقم فلات تأثیر مثبت بر فعالیت‌های شکارگری این سن شکارگر داشت.

در ارقام احسان، مروارید و تیرگان مقدار بالای $alTh$ برای لاروهای سن چهارم و حشرات کامل ماده کفشدوزک *H. variegata* نسبت به حشرات کامل نر حاکی از کارایی بالای این مراحل رشدی بود. بیشترین مقدار $alTh$ برای لاروهای سن چهارم روی رقم احسان به دست آمد. لاروهای سن چهارم کفشدوزک‌ها پرخورتر از سایر مراحل رشدی هستند، زیرا نیاز به کسب انرژی بیشتر برای رشد و رسیدن به وزن مناسب برای ورود به مرحله شفیرگی دارند (Wu et al., 2018). بنابراین، بروز رفتارهایی مانند نرخ حمله بیشتر و کارایی بالاتر در لاروهای سن چهارم در پژوهش حاضر ناشی از تلاش آن‌ها برای تأمین نیازهای فیزیولوژیک بدن بوده است. نرخ حمله بیشتر و مقدار بالای $alTh$ در حشرات کامل ماده، در مقایسه با نرها، احتمالاً به دلیل نیاز این حشرات برای کسب منابع انرژی بیشتر برای تولیدمثل رخ داده باشد. در بررسی حاضر، نرخ شکارگری لاروهای سن چهارم به ویژه در تراکم‌های بالای طعمه، در رقم احسان بیشترین مقدار را داشت. هم‌چنین، نرخ شکارگری مراحل رشدی مختلف کفشدوزک *H. variegata* روی ارقام مورد بررسی با افزایش تراکم شته به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. در تراکم‌های بالای طعمه، شکارگرها زمان کمتری را صرف پیدا کردن هر واحد طعمه می‌کنند، زیرا برخورد تصادفی یک طعمه به شکارگری که در حال تغذیه است می‌تواند موجب ترک طعمه مورد تغذیه و حمله به طعمه جدید شده و بدین ترتیب، احتمال تغذیه جزئی از طعمه‌های متعدد افزایش پیدا می‌کند (Rahman et al., 2012). هم‌چنین، حرکت ناشی از برخورد طعمه‌ها به یکدیگر (به دلیل بالا بودن تراکم آن‌ها) احتمال برخورد آن‌ها با شکارگر را افزایش می‌دهد. مشاهدات عینی حین انجام آزمایش نیز تأیید کننده برخی از این احتمالات بود. افزایش نرخ شکارگری با افزایش تراکم طعمه در پژوهش‌های سایر محققین نیز گزارش شده است (Fantinou et al., 2012; Mottaghinia et al., 2016; Fathipour et al., 2018; Rounagh-Ardakani et al., 2022).

نتایج این تحقیق بیانگر اهمیت تأثیر ارقام مختلف گندم و نیز مراحل رشدی مختلف کفشدوزک *H. variegata* بر واکنش رفتاری این دشمن طبیعی بود، به ویژه آن‌که اثرات متقابل رقم گیاه و مرحله زیستی شکارگر نیز از تراکم ۱۶ شته به بالا معنی‌دار بود. بروز واکنش تابعی نوع دوم در لاروهای سن چهارم و حشرات کامل نر و ماده کفشدوزک *H. variegata* نشان‌دهنده تأثیر وابسته به تراکم معکوس این کفشدوزک روی جمعیت شته *S. graminum* در سه رقم گندم

مورد بررسی است. شکارگرهایی که واکنش تابعی نوع سوم را نشان می‌دهند در مدیریت جمعیت طعمه‌های خود موفق‌تر عمل می‌کنند. با این حال، گزارش شده است که برخی از دشمنان طبیعی با واکنش تابعی نوع دوم، به صورت موفقیت‌آمیزی در محیط مستقر شده و جمعیت آفت را کنترل نموده‌اند (Fernandez-arhez & Corley, 2003). با این حال، باید توجه داشت که واکنش تابعی تنها عامل تعیین کننده میزان کارایی یک دشمن طبیعی نیست و عوامل متعدد دیگری وجود دارند که موفقیت یا شکست یک عامل کنترل بیولوژیک را در کنترل جمعیت آفت تحت تأثیر قرار می‌دهند. از سوی دیگر، شکارگرها و پارازیتوئیدها در شرایط طبیعی با عوامل پیچیده و متعددی مواجه هستند، در حالی که مطالعات آزمایشگاهی در شرایط بسیار ساده‌ای انجام می‌شوند و با وجود ارائه اطلاعاتی در مورد کارایی یک دشمن طبیعی، نتایج به دست آمده در این شرایط قابل تعمیم به شرایط مزرعه‌ای نبوده و باید مورد اعتبارسنجی قرار گیرند (Kareiva, 1990).

نتایج به دست آمده نشان داد که لاروهای سن چهارم این کفشدوزک، در مقایسه با سایر مراحل مورد مطالعه، به ویژه روی رقم احسان، از توانایی بیشتری برای کنترل جمعیت شته *S. graminum* برخوردار هستند. با این حال، نیاز است تحقیقات بیشتری به ویژه در شرایط مزرعه‌ای در ارتباط با برهم‌کنش‌های ارقام مختلف گندم، شته *S. graminum* و مراحل مختلف زیستی کفشدوزک *H. variegata* صورت گیرد.

Author Contributions

Mina Esmaeili: investigation, methodology, formal analysis, visualization, draft preparation; **Mahdi Hassanpour:** conceptualization, methodology, formal analysis, supervision, project administration and funding acquisition, visualization; final review and edit; **Hooshang Rafiee Dastjerdi:** final review and edit; **Seyed Ali Asghar Fathi:** final review and edit, **Mostafa Khoshhal Sarmast:** final review and edit.

Funding

This research has received financial support by the University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Data Availability Statement

All data supporting the findings of this study are available within the paper.

Acknowledgments

This research was financially supported by the University of Mohaghegh Ardabili, which is greatly appreciated. The authors would like to express many thanks to the anonymous referees and the editor for their corrections and comments on this manuscript.

Ethics Approval

Insects and plants were used in this study. All applicable international, national, and institutional guidelines for the care and use of animals were followed. This article does not contain any studies with human participants performed by any of the authors.

Conflict of Interests

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

REFERENCES

- Abdolahi Mesbah, R., Nozari, J. & Shahram Dadgostar, S. (2015) A geometric morphometric study on geographical populations of *Hippodamia variegata* (Goeze, 1777) (Coleoptera: Coccinellidae) in some parts of Iran. *Journal of Crop Protection*, 4, 207-215.
- Ahmadi, R., Safavi, S. A. & Eievazi, A. (2013) Evaluation of mechanisms of barley genotypes tolerance and antixenosis to *Schizaphis graminum* (Rondani). *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 44, 319-327. <https://doi.org/10.22059/ijpps.2014.36682>
- Alizamani, T., Razmjou, J., Naseri, B., Hassanpour, M., Asadi, A. & Kerr, C. (2017) Effect of vermicompost on life history of *Hippodamia variegata* preying on *Aphis gossypii* Glover. *Journal of the Entomological Research Society*, 19, 51-60.

- Allahyari, H., Fard, P. A. & Nozari, J. (2004) Effect of host on functional response of offspring in two populations of *Triolocus grandis* on the sunn pest. *Journal of Applied Entomology*, 128, 39-43.
<https://doi.org/10.1046/j.1439-0418.2003.00804.x>
- Asghari, F., Samih, M. A., Mahdian, K., Basirat, M. & Izadi, H. (2012) Predatory efficiency of *Hippodamia variegata* (Col.: Coccinellidae) on common pistachio psylla, *Agonoscena pistaciae* (Hem.: Aphalaridae), under laboratory conditions. *Journal of Entomological Society of Iran*, 32, 37-58.
- Aslan, M. M. & Uygun, N. (2005) The aphidophagus Coccinellid (Coleoptera: Coccinellidae) species in Kahramanmaras, Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 29, 1-8. <https://journals.tubitak.gov.tr/zoology/vol29/iss1/1>
- Behnazar, T. & Madadi, H. (2015) Functional response of different stages of *Hippodamia variegata* (Col.: Coccinellidae) to *Diuraphis noxia* (Hemiptera: Aphididae) on two wheat cultivars. *Biocontrol Science and Technology*, 25, 1180-1191.
<https://doi.org/10.1080/09583157.2015.1040374>
- Blackman, R. L. & Eastop, V. F. (2000) *Aphids on the world's crops: an identification and information guide*. 2nd ed. Wiley, London, United Kingdom. 414 pp.
- Chen, C. T., Yang, S. L. & Deng, T. C. (1990) Studies on sugarcane mosaic and maize dwarf mosaic viruses in Taiwan. *Taiwan Sugar*, 37, 9-15.
- Ciepiela, A. P. (1993) The harmful effect of cereal aphid on winter wheat crop. *Ochrona-Roslin*, 37, 9-10.
- Dami, B. G., Dos Santos, J. A., Barbosa, E. P., Rodriguez-Saona, C. & Vacari, A. M. (2023) Functional response of 3 green lacewing species (Neuroptera: Chrysopidae) to *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). *Journal of Insect Science*, 23, 15. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iead038>
- Dehkordi, S. D., Sahragard, A. & Hajizadeh, J. (2012) Comparison of functional response of two and one individual female predator, *Hippodamia variegata* Goeze (Coleoptera: Coccinellidae) to different densities of *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) under laboratory conditions. *Munis Entomology & Zoology*, 7, 998-1005.
- Emami, M. S., Shishehbor, P. & Karimzadeh Esfahani, J. (2014) Functional response of *Anthocoris nemoralis* (Hemiptera: Anthocoridae) to the pear psylla, *Cacopsylla pyricola* (Hemiptera: Psyllidae): effect of pear varieties. *Journal of Crop Protection*, 3, 597-609. <http://jcp.modares.ac.ir/article-3-5397-en.html>
- Enkegaard, A. (1994) Temperature dependent functional response of *Encarsia formosa* parasiting the poinsettia strain of the cotton whitefly, *Bemisia tabaci*, on poinsettia. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 37(1), 19-29.
- Fantinou, A., Baxevani, A., Drizou, F., Labropoulos, P., Perdakis, D. & Papadoulis, G. (2012) Consumption rate, functional response and preference of the predaceous mite *Iphiseius degenerans* to *Tetranychus urticae* and *Eutetranychus orientalis*. *Experimental and Applied Acarology*, 58, 133-144. <https://doi.org/10.1007/s10493-012-9557-6>
- Farhadi, R., Allahyari, H. & Juliano, S. A. (2010) Functional response of larval and adult stages of *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae) to different densities of *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae). *Environmental Entomology*, 39, 1586-1592. <https://doi.org/10.1603/EN09285>
- Fathipour, Y., Karimi, M., Farazmand, A. & Talebi, A. A. (2018) Age-specific functional response and predation capacity of *Phytoseiulus persimilis* (Phytoseiidae) on the two-spotted spider mite. *Acarologia*, 58, 31-40. <https://doi.org/10.24349/acarologia/20184225>
- Fernández-arhex, V. & Corley, J. C. 2003. The functional response of parasitoids and its implications for biological control. *Biocontrol Science and Technology*, 13, 403-413. <https://doi.org/10.1080/0958315031000104523>
- Gholami Moghaddam, S., Hosseini, M., Modarres Awal, M. & Allahyar, H. (2012) Effect of leaf surface characteristics of wheat cultivars on functional response of *Orius albidipennis* (Reuter) to barely aphid *Sipha maydis* (Passerini). *Biological Control of Pests and Plant Diseases*, 1 (2), 73-85.
- Hassankhani, Kh. & Allahyari, H. (2013) Functional response of adult male and female of *Hippodamia variegata* Goeze (Col.: Coccinellidae) on peach aphid. *Biological Control of Pests and Plant Diseases*, 2 (1), 65-70. <https://doi.org/10.22059/jbioc.2013.50116>
- Hassanpour, M. & Moradi, M. (2019) Temperature-dependent functional response of *Cryptolaemus montrouzieri* (Col.: Coccinellidae) to the citrus mealybug, *Planococcus citri* (Hem.: Pseudococcidae). *Journal of Plant Protection*, 33, 267-280. <https://doi.org/10.22067/jpp.v33i3.79292>
- Hassell M. (1982) Patterns of parasitism by insect parasitoids in patchy environments. *Ecological Entomology*, 7, 365-377. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.1982.tb00678.x>
- Heidarian Dehkordi, M., Allahyari, H., Talaei-Hasanlouie, R. & Parker, B. (2017) Functional response of *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae) on untreated and *Beauveria bassiana*-treated *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera:





- Thripidae). *Biological Control of Pests and Plant Diseases*, 2, 245-255. <https://doi.org/10.22059/jbioc.2017.233824.198>
- Holling, C. S. (1961) Principles of insect predation. *Annual Review of Entomology*, 6, 163-182. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.EN.06.010161.001115>
- Hu, X.-S., Li, J.-W., Peng, J.-F., Wang, H., Yan, F.-Y., Zhou, Z.-F., Zhang, Z.-F., Zhao, H.-Y., Feng, Y. & Liu, T.-X. (2022) Effects of crop resistance on the tritrophic interactions between wheat lines, *Schizaphis graminum* (Hemiptera: Aphididae), and *Propylaea japonica* (Coleoptera: Coccinellidae). *Plants*, 11, 2754. <https://doi.org/10.3390/plants11202754>
- Jafari, M., Saber, M., Bagheri, M. & Gharekhani, Gh. (2014) Effects of emamectin benzoate and methoxyfenozide on functional response of *Trichogramma brassicae* (Hym: Trichogrammatidae). *Journal of Applied Research in Plant Protection*, 2, 60-70.
- Jafarian, F., Jafari, Sh. & Fathipour, Y. (2022) Functional response of the predatory mite, *Typhlodromus bagdasarjani* (Acari: Phytoseiidae) to protonymphs of *Eotetranychus frosti* (Acari: Tetranychidae) on four apple cultivars. *Acarologia*, 62, 454-464. <https://doi.org/10.24349/7ejy-uk7s>
- Juliano, S. A. (2001) Non-linear curve fitting: predation and functional response curves. pp 178-216. in Scheiner, S. M. & Gurevitch, J. (eds.) *Design and analysis of ecological experiments*. Chapman and Hall, New York.
- Kareiva, P. (1990) The spatial dimension in pest-enemy interaction. pp 231-227. in Mackauer, M. Ehler, L. E. & Roland, J. (eds.) *Critical Issues in Biological Control*. Intercept, Andover.
- Khodarahmi, M. & Vazan, S. (2010). Trends in morphological and quantitative traits in bread wheat using introduced varieties during the last six decades in Iran. *Agriculture and Plant Breeding*, 6, 29-42.
- Liu, Y., Li, R. & Li, Sh. (2022) Consumption patterns of the multicolored Asian ladybird *Harmonia axyridis* on the broad bean aphid *Aphis craccivora*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 25, <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2021.101852>
- Madadi, H., Enkegaard, A., Brodsgaard, H. F. & Kharrazi-Pakdel, A. (2007) Host plant effects on the functional response of *Neoseiulus cucumeris* to onion thrips larvae. *Journal of Applied Entomology*, 131, 728-733. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2007.01206.x>
- Mahdian, K., Tirry, L. & De Clercq, P. (2007) Functional response of *Picromerus bidens*: effects of host plant. *Journal of Applied Entomology*, 131, 160-164. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2006.01124.x>
- Mirshakar, A., Rasoulilian, G. R. & Mosahebi, G. H. (2013) Efficiency of ten populations of *Schizaphis graminum* (Rondani) in the transmission of barley yellow dwarf virus-PAV (BYDV-PAV) in Iran. *African Journal of Plant Science*, 7, 118-123. <https://doi.org/10.5897/AJPS12.145>
- Montoya, P., Liedo, P., Benery, B., Barrere, 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, 47-54. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2000\)093\[0047:FRASBD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2000)093[0047:FRASBD]2.0.CO;2)
- Mottaghinia, L., Hassanpour, M., Razmjou, J., Hosseini, M. & Chamani, E. (2016) Functional response of *Aphidoletes aphidimyza* Rondani (Diptera: Cecidomyiidae) to *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae): effects of vermicompost and host plant cultivar. *Neotropical Entomology*, 45(1), 88-95. <https://doi.org/10.1007/s13744-015-0343-0>
- Obrycki, J. J. & Orr, C. J. (1990) Suitability of three prey species for Nearctic populations of *Coccinella septempunctata*, *Hippodamia variegata*, and *Propylea quatuordecimpunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Journal of Economic Entomology*, 83, 1292-1297. <https://doi.org/10.1093/jee/83.4.1292>
- Parajulee, M. N., Phillips, T. W. & Hogg, D. B. (1994) Functional response of *Lyctocoris campestris* (F.) adults: effects of predator sex, prey species, and experimental habitat. *Biological Control*, 4, 80-86. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-30.3.617>
- Pervez, A., Omkar (2005) Functional response of coccinellid predators: An illustration of a logistic approach. *Journal of Insect Science*, 5, 1-6.
- Price, P. W., Bouton, C. E., Gross, P., McPherson, 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 & Systematics*, 11, 41-65. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.11.110180.000353>
- Rahman, V. J., Babu, A., Roobakkumar, A. & Perumalsamy, K. (2012) Functional and numerical responses of the predatory mite, *Neoseiulus longispinosus*, to the red spider mite, *Oligonychus coffeae*, infesting tea. *Journal of Insect Science*, 12, 125. <https://doi.org/10.1673/031.012.12501>

- Ramezani, I. & Samih, M. A. (2016) Efficiency and predatory of *Hippodamia variegata* (Goez) feeding on pomegranate green aphid, *Aphis punicae* Pass. under laboratory conditions. *Biological Control of Pests and Plant Diseases*, 5 (2), 177-191. <https://doi.org/10.22059/jbioc.2017.233824.198>
- Rezaie, M., Baniamerie, V. & Saboori, A. (2017) Functional response and predation interference of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) feeding on the western flower thrips larvae on several commercial strawberry cultivars. *Plant Pest Research*, 6, 1-15.
- Rogers, D. J. (1972) Random search and insect population models. *Journal of Animal Ecology*, 41, 369-383. <https://doi.org/10.2307/3474>
- Rounagh-Ardakani, H., Dehghan Soltan Ravan, A. & Samih, M. A. (2022) The age-stage specific functional response of a predator ladybird, *Exochomus nigripennis* (Erichson), to *Gossyparia spuria* Modeer at different temperatures. *International Journal of Pest Management*, 1-9. <https://doi.org/10.1080/09670874.2022.2099594>
- Roshanianfard, Z. (2017) Functional response of *Hippodamia variegata* (Goeze) to *Schizaphis graminum* (Rondani) on some wheat cultivars under laboratory conditions. M.Sc. Thesis in Agricultural Entomology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
- SAS Institute (2002) The SAS system for Windows. SAS Institute, Cary, NC.
- Seko, T. & Miura, K. (2008) Functional response of the lady beetle *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) on the aphid *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae). *Applied Entomology & Zoology*, 43, 341-345. <https://doi.org/10.1303/aez.2008.341>
- Solomon, M. E. (1949) The natural control of animal populations. *Journal of Animal Ecology*, 18, 1-35. <https://doi.org/10.2307/1578>
- SPSS Inc. (2007) SPSS Base 16.0 User's Guide. SPSS Incorporation, Chicago.
- Trexler, J. C. & Travis, J. (1993) Nontraditional regression analysis. *Ecology*, 74, 1629-1637. <https://doi.org/10.2307/1939921>
- War, A. R., Buhroo, A. A., Hussain, B., Ahmad, T., Nair, R. M. & Sharma, H. C. (2020) Plant defense and insect adaptation with reference to secondary metabolites. pp 1-28. in Merillon, J.M. & Ramawat, K. (eds.) *Co-evolution of secondary metabolites*. Reference Series in Phytochemistry. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96397-6_60
- Wu, P., Zhang, J., Haseeb, M., Yan, S., Kanga, L. & Zhang, R. (2018) Functional responses and intraspecific competition in the ladybird *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) provided with *Melanaphis sacchari* (Homoptera: Aphididae) as prey. *European Journal of Entomology*, 115, 232-241. <https://doi.org/10.14411/EJE.2018.022>
- Ziaei Madbouni, M. A., Samih, M. A., Namvar, P. & Biondi, A. (2017) Temperature-dependent functional response of *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera: Miridae) to different densities of pupae of cotton whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *European Journal of Entomology*, 114, 325-331. <https://doi.org/10.14411/eje.2017.040>

Effect of three wheat cultivars on functional response of *Hippodamia variegata* (Col.: Coccinellidae) to the greenbug, *Schizaphis graminum* (Hem.: Aphididae)

Mina Esmaeili¹ , Mahdi Hassanpour¹ , Hooshang Rafiee Dastjerdi¹ , Seyed Ali Asghar Fathi¹  & Mostafa Khoshhal Sarmast² 

1. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

✉ mina.esmaeily@uma.ac.ir  <https://orcid.org/0009-0001-1566-4905>
✉ hassanpour@uma.ac.ir  <https://orcid.org/0000-0002-5409-428X>
✉ rafiee@uma.ac.ir  <https://orcid.org/0000-0003-1278-2858>
✉ fathi@uma.ac.ir  <https://orcid.org/0000-0003-2169-3574>

2. Department of Horticultural Sciences and Landscape Engineering, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

✉ mkhsarmast@gau.ac.ir  <https://orcid.org/0000-0002-1020-1856>

Article History

Received: 31 December 2023 | Accepted: 08 May 2024 | Subject Editor: Yaqub Fthipour

Abstract

Different cultivars of a host plant can have an important effect on the behavioral characteristics of natural enemies. In this study, the effect of three wheat cultivars (Ehsan, Morvarid, and Tirgan) on functional responses of 4th instar larvae and adult males and females of *Hippodamia variegata* Goeze on different densities (2, 4, 8, 16, 24, 32, 64, 96, 128, and 160) of 4-d-old nymphs of *Schizaphis graminum* Rondani was studied. The experiments were conducted at 25±2 °C, 65±5 RH and 16L:8D h photoperiod. The logistic regression analyses revealed that the functional responses of different growth stages of *H. variegata* to *S. graminum* on different wheat cultivars were type II. According to the results, the highest attack rate was estimated for 4th instar larvae of *H. variegata* on Ehsan and Tirgan cultivars (0.152 and 0.154 h⁻¹, respectively). Also, the lowest handling time (0.127 h) was valued for 4th instar larvae on Ehsan cultivar. The predation rate of 4th instar larvae of *H. variegata* was also highest on Ehsan cultivar. The results of this study revealed the high efficiency of 4th instar larvae of *H. variegata* in feeding on *S. graminum* on Ehsan cultivar followed by Tigasn and Morvarid cultivars. Similar results were obtained for adult females and males of the predator. However, further studies are necessary to evaluate the effect of these cultivars on searching behavior and consumption rate of different stages of *H. variegata* on *S. graminum* under natural conditions.

Keywords: Predatory ladybird, greenbug, wheat cultivars, attack rate, handling time

Corresponding Author: Mahdi Hassanpour (Email: hassanpour@uma.ac.ir)

Citation: Esmaeili, M., Hassanpour, M., Rafiee Dastjerdi, H., Fathi, A. A. & Khoshhal Sarmast, M. (2024) Effect of three wheat cultivars on functional response of *Hippodamia variegata* (Col.: Coccinellidae) to the greenbug, *Schizaphis graminum* (Hem.: Aphididae). *J. Entomol. Soc. Iran* 44 (3), 369–381. <https://doi.org/10.61186/jesi.44.4.1>