آفات و بیماری‌های گیاهی
جلد ۸۷، شماره ۲، اسفند ۱۳۹۸ DOI: 10.22092/jaep.2019.128473.1314

رفتار پراکنش زنبور *Trichogramma brassicae* در مزرعه برنج

جلال شیرازی[۱]✉، مسعود امیرمعافی[۲]، همت دادپور[۳]، علی جوینده[٤]

۱ و ۲- به‌ترتیب بخش تحقیقات کنترل بیولوژیک و بخش تحقیقات سن گندم، تحقیقات مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران؛ ۳- آزمایشگاه تحقیقات کنترل بیولوژیک آمل، بخش تحقیقات کنترل بیولوژیک، مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، آمل، ایران؛ ٤- بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خراسان رضوی، مشهد، ایران

(تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۸؛ تاریخ پذیرش: دی ۱۳۹۸)

چکیده

پراکنش زنبور *Trichogramma brassicae* Bezd. با رهاسازی تعداد ۵۰۰۰۰ فرد بالغ در مرکز دو مزرعه برنج و ٤ نوبت نمونه‌برداری به‌وسیله تخم تله بید غلات (*Sitotroga cerealella* (Oliv.) و کارت‌های زرد چسبنده مطالعه شد. نتایج نشان داد در مزرعه اول ضریب پخش معادل ۳/۰٤ مترمربع در روز در نمونه‌برداری اول بود، اما این مقدار در نوبت دوم بیش از ۵۰ درصد کاهش داشت (۱/۰۷ مترمربع در روز) و در نوبت سوم به ۱۱/۲۸ مترمربع در روز رسید. در مزرعه دوم همین ضریب از ۳/۹۳ متر مربع در روز به ۲۹/۷٦ متر مربع در روز در نمونه‌برداری سوم رسید. فاصله در برگیرنده ۹۸ درصد جمعیت زنبور، در مزرعه اول، ۹/۸۰ متر در نمونه‌برداری اول ثبت شد و به حداکثر ۱۵/۱۱ متر در نمونه‌برداری سوم رسید، اما در مزرعه دوم از ۱۱/۲۱ متر در نوبت اول به حداکثر ۵۳/٤۵ متر در نوبت سوم افزایش یافت. متوسط تعداد زنبور باقیمانده در مزرعه اول ٦۳۰/٦۷ عدد و در مزرعه دوم ۲۷۲/۱۸ عدد در واحد سطح در کل دوره آزمایش بود. حداکثر میانگین میزان پارازیتیسم در مزرعه اول و دوم در نوبت اول نمونه‌برداری در شعاع یک متری از نقطه رهاسازی مشاهده شد (به‌ترتیب ٦٤/۷۵ و ۹۱ میانگین تخم پارازیته به ازای هر کارت) و با گذشت زمان و افزایش فاصله، کاهش یافت. نتیجه‌گیری اینکه برای بهره‌مندی بهتر از رهاسازی زنبور تریکوگراما در کنترل ساقه خوار برنج، نیاز است تا توزیع زنبورها در مزرعه یکنواخت تر انجام شود. این امر نیازمند تغییر شیوه بسته‌بندی و رهاسازی زنبور است.

واژه‌های کلیدی: رفتار پراکنش، زنبور *Trichogramma brassicae*، کنترل بیولوژیک، کرم ساقه‌خوار برنج

Dispersal behavior of *Trichogramma brassicae* in rice field

J. SHIRAZI[1]✉, M. AMIR MAAFI[2], H. DADPOUR[3], A. JOOYANDEH[4]

1 and 2. Biological Control Research Dept. and Sunn Pest Research Dept, Iranian Research Institute of Plant Protection, AREEO, Tehran, Iran; 3. Amol Biological Control Research Lab, Amol, Biological Control Research Dept., Iranian Research Institute of Plant Protection, AREEO, Amol, Iran, 4. Plant Protection Dept., Agricultural Education and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi, AREEO, Mashhad, Iran

Abstract

Dispersal of *Trichogramma brassicae* Bezd. was studied in 2 rice fields by a single release of 50000 adult wasps from a central point and recapturing them using yellow sticky traps and egg cards of *Sitotroga cerealella* (Oliv.) Results revealed that in rice field 1, dispersal coefficients were 3.04 and 1.07 m^2/day at 1st and 2nd sampling turns. However, it reached to a level of 11.28 m^2/day at 3rd sampling turn. In contrast, *T. brassicae* dispersed with a speed of 3.93 m^2/day at 1st sampling turn and had the highest dispersal coefficient (29.76 m^2/day) at 3rd sampling turn in rice field 2. Similarly, the distances that encompassed 98% recaptured *T. brassicae* was highest in field 2 (53.45 m) compared with that in field 1 (15.11 m) at 3rd sampling turn. Number of wasps remained in fields 1 and 2 were recorded as 630.67 and 272.18 individuals, respectively, for total sampling turns. Moreover, the highest parasitism rates (64.75 and 91 mean parasitized eggs/card in fields 1 and 2, respectively) were observed at 1 meter distance from release point at first sampling turn and it decreased with time and distance elevation. It is concluded that more release points of *T. brassicae* per rice field is required to achieve universal dispersal in successful rice stem borer biocontrol. It needs innovation in packing and release method of the wasp.

Keywords: Biological control, dispersal behavior, rice stem borer, *Trichogramma brassicae*

✉ **Jalal.Shirazi@gmail.com**

مقدمه

برنج به‌عنوان غذای حدود سه میلیارد انسان، یکی از مهمترین محصولات کشاورزی پس از گندم است. در ایران حدود ۶۰۰ هزار هکتار کشت برنج وجود دارد که تولید سالانه آن حدود ۱/۵ میلیون تن است. از جمله محدود کننده‌های تولید این محصول ارزشمند، آفات آن است. کرم ساقه‌خوار برنج، *Chilo suppressalis* Walker، از آفات درجه اول در کشور است که به‌طور معمول چندین نوبت سمپاشی علیه آن صورت می‌گیرد. حدود سه دهه است که در کشور کنترل بیولوژیک این آفت با رهاسازی زنبور*T.brassicae* در دستور کار قرار دارد (Shirazi *et al.*, 2010).

یکی از موانع اثربخشی زنبور تریکوگراما در مزرعه، سرعت و نحوه‌ی پراکنش آن است که البته به‌قدرت جستجوگری آن وابسته است. در بررسی مسائل جستجوگری و محدودیت‌های زنبور تریکوگراما، Knipling and McGuire (1968)، Need and Burbutis (1979) و Kanour and Burbutis (1984) پژوهش‌های زیادی با استفاده از گونه *T. nubilale* Ertle & Davis روی میزبان اصلی آن (کرم ساقه‌خوار اروپایی ذرت، *Ostrinia nubilalis* Hüb.) انجام داده اند. نتیجه مطالعه آن‌ها نشان داده است که میزان سطح جستجو توسط یک زنبور تریکوگرامای ماده، مشخص و ثابت کرده است و با افزایش سطح، کارایی میزبان‌یابی زنبور کاهش می‌یابد.

مطالعه سرعت پراکنش زنبور*T. ostriniae* Pang et Chen در مزرعه ذرت، ثابت نموده است که این زنبور ٦ تا ٢١ روز پس از رهاسازی از یک نقطه مرکزی به‌ترتیب حدود ۱۸۰ تا ۲۳۰ متر پراکنش داشته است (Wright *et al.* 2001). در این پژوهش، با رهاسازی یک میلیون زنبور از یک نقطه مرکزی به‌صورت تلقیحی در مزرعه ذرت، پارازیتیسم یکنواختی از تخم‌های ساقه خوار اروپایی ذرت در سطح حدود یک هکتار در اطراف مرکز رهاسازی مشاهده شد. گیاه میزبان نیز می‌تواند تأثیر مهمی روی قابلیت جستجوگری و رفتار پراکنش زنبور تریکوگراما داشته باشد (Thorpe, 1985; Andow and Prokrym, 1990)، به‌ویژه زنبور *T. ostriniae* برای جستجوی تخم‌های میزبان مرجح خود روی ذرت به‌عنوان میزبان اصلی آفت در مقایسه با گیاهانی نظیر لوبیا، فلفل و سیب‌زمینی، کارایی جستجوگری بسیار مؤثرتری دارد (Kuhar *et al.*, 2004). به‌علاوه، مشخص شده است که در یک مزرعه ذرت، تراکم زنبور در زیستگاه‌های طبیعی دارای درخت سبز بیشتر است (Wright *et al.*, 2005).

پراکنش زنبور *T. ostriniae* در مزارع سیب‌زمینی طی دو سال متوالی بررسی شده است (Chapman 2007 ; Chapman *et al.* 2009). به این منظور در هر مزرعه حدود ۰/٤ هکتار به‌عنوان واحد آزمایشی، به‌ترتیب فواصل ۱، ١٦، ٢٣، ٣٢ و ٤٥ متر و ۱، ۵، ۷، ۹، ۱۳، ۱۸، ٢٦ و ٤٥ متر از نقطه مرکزی برای رهاسازی سال اول و دوم در نظر گرفته شد. زنبورها در سال اول تا ٢٦ متر و در سال دوم تا ۱۲/۵ متر از مرکز رهاسازی پراکنده شدند. در بررسی دیگری، پراکنش زنبور *T. brassicae* در مزرعه ذرت با استفاده از دو سوش ایتالیایی و فرانسوی مطالعه شده است (Greatti *et al.* 1995) و در این پژوهش، ٦ فاصله از نقطه رهاسازی (از فاصله‌ی ۰/۷۵ تا ۱۰/٦ متر) در نظر گرفته شد و از یک نقطه مرکزی حدود ٤٠٠٠ تا ۸۰۰۰ زنبور را در سه نوبت رهاسازی کردند. نتایج نشان داده است که با افزایش فاصله از مرکز رهاسازی، میزان زنبور در واحد سطح و به‌دنبال آن میزان پارازیتیسم کاهش می‌یابد.

الگوی پراکنش پهنه‌ای-دمایی دو زنبور *T. evanescens* Westwood و *T. pretiosum* Riley در ١٦ نوع شرایط آب و هوایی مختلف (دما و باد) با یکدیگر مقایسه شده است (Fournier and Boivin 2000). نتایج نشان داده است که تجمع اشعه خورشید در دمای بیشتر از ۱۵ درجه سلسیوس تأثیر مهمی روی پراکنش زنبور *T. evanescens* داشته است. در تجمع گرمایی بیشتر از ۱۵۰۰۰ کیلو ژول بر متر مربع، میزان پارازیتیسم افزایش یافته است، همچنین زمانی‌که وزش باد در حد ۱۵ کیلومتر بر ساعت و بیش از ٤ ساعت در روز باشد،

پراکنش این زنبور به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد. برعکس، تجمع تشعشعات خورشیدی تاثیری روی پراکنش *T. pretiosum* نداشته و تنها سرعت باد بیشتر از ۱۵ کیلومتر در ساعت به‌مدت بیشتر از ۸ ساعت پراکنش آن را به‌صورت معنی‌داری کاهش داده است.

در ایران زنبور تریکوگراما برای اولین بار در سال ۱۳۵۳ از کشور آلمان وارد و تکثیر و رهاسازی آن به‌طور محدودی در مزارع شمال کشور علیه کرم ساقه خواربرنج (*C. supressalis*) انجام شد. در بررسی‌های بعدی فعالیت زنبورهای تریکوگراما در اقلیم‌های مختلف فلات ایران مورد توجه قرار گرفت (Shojai *et al.*, 1988). امروزه به‌کارگیری زنبور تریکوگراما در ایران برای کنترل ساقه خوار برنج، ساقه خوارواروپایی ذرت، کرم غوزه پنبه یا میوه‌خوار گوجه‌فرنگی (*H. armigera* Hüb.)، کرم گلوگاه انار (*Ectomyelois ceratoniae* Zell.) و کرم سیب (*Cydia pomonella* L.) در سطح وسیعی انجام می‌گیرد (Shirazi *et al.*, 2010) و طی ۲-۳ سال اخیر توزیع تریکوکارت در مزارع برنج به سطحی معادل ٦٥ هزار هکتار رسیده است (Ebadzadeh, *et al.*, 2018).

در مورد پراکنش این زنبور در سطح مزرعه، پژوهش‌های داخلی کمتری صورت گرفته است. مطالعه رفتار جستجوگری زنبور *T. brassicae* در آزمایشگاه نشان داده است (Pezeshk *et al.* 2010) که سطح بوته یکی از عوامل تاثیرگذار در جستجوگری و کارایی این زنبور در کنترل کرم ساقه خوار اروپایی ذرت است و یک زنبور ماده روزانه روزانه قادر است تنها حدود ١٦٠ سانتی مترمربع سطح گیاه را جستجو کند (Pezeshk *et al.*2010). شیرازی و همکاران (Shirazi *et al.* 2010) با توجه به‌مرحله رشدی بوته ذرت در شرایط دشت ناز ساری و مغان میزان زنبور مورد نیاز برای رهاسازی علیه کرم ساقه خوار اروپایی ذرت را تعیین کردند. الگوی پراکنش زنبور *T. brassicae* در مزرعه گوجه‌فرنگی برآورد شده است و بر اساس نتایج آن، زنبور حداکثر حدود ۳۰ متر از نقطه رهاسازی پراکنده شده بود (Mahrughan *et al.* 2015).

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی رفتار پراکنش زنبور *T. brassicae* در مزرعه برنج طراحی شد تا سرنوشت زنبور پس از رهاسازی از یک نقطه در مزرعه مشخص شود.

روش بررسی

تهیه زنبور و کنترل کیفی

بررسی و شناسایی گونه نمونه‌های زنبور مازندران در بخش تحقیقات کنترل بیولوژیک مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، انجام شد و جمعیت اولیه زنبور *T. brassicae* توسط آقای دکتر ابراهیمی، بخش تحقیقات رده‌بندی حشرات، مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، تأیید شد. جمعیت زنبور در آزمایشگاه تحقیقات کنترل بیولوژیک آمل روی تخم (Oliv.) *Sitotroga cerealella* پرورش داده شد.

انتخاب مزرعه برنج

دو مزرعه کشت شده با رقم طارم هر یک به مساحت نیم هکتار در نزدیکی آزمایشگاه تحقیقات کنترل بیولوژیک آمل (دابو دشت) برای اجرای این پژوهش انتخاب و رویدادهای زراعی آن زا نظر کاشت و داشت، ثبت شد (شکل ۱).

شکل ۱- موقعیت مزارع آزمایشی برنج در منطقه دابودشت آمل (راست) و نحوه آرایش سطوح و قیم گذاری برای نگهداری کارت‌های زرد در مزرعه برنج (چپ).

Fig 1. Experimental field locations in Daboodasht, Amol (right) and pattern of plots and stakes bearing yellow sticky cards in experimental rice fields (left).

طراحی آزمایش

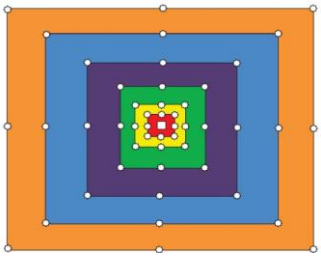
در هر مزرعه، یک چهار ضلعی به مساحت ۵۰۰۰ مترمربع علامت گذاری شد. پس از تعیین مرکز هر قطعه،

مربع‌هایی به‌فواصل اصلی ۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ متر (به‌ترتیب ۲×۲، ۱۰×۱۰، ۲۰×۲۰، ۳۰×۳۰، ۵۰×۵۰ و ۷۰×۷۰ متر) علامت گذاری شدند. فواصل گوشه‌های این مربع‌ها از نقطه مرکزی به‌ترتیب ۱/۴۰، ۷، ۱۴/۱۰، ۲۱/۲۰، ۳۵/۳۰ و ۴۹/۲۰ متر بود و سطح هر مربع به‌ترتیب ۴، ۱۰۰، ۴۰۰، ۹۰۰، ۲۵۰۰ و ۴۹۰۰ متر مربع با همپوشانی محاسبه شد. روی محیط هر مربع ۸ نقطه در راستای اضلاع فرعی برای مزرعه اول و دوم در نظر گرفته شد (شکل ۱).

نصب کارت‌های زرد، تخم‌های تله و آماربرداری

ابتدا توسط قطب‌نما شمال و جنوب زمین به‌طور دقیق مشخص شد. پس از تعیین مرکز زمین، از آن نقطه در جهت اضلاع اصلی و فرعی، فواصل ذکر شده توسط قیم‌هایی به ارتفاع حدود ۱/۵متر علامت‌گذاری شدند (قیم‌ها به‌طور دقیق و کاملاً در یک راستا در زمین نصب شدند)، به‌صورتی که تا فاصله ۳۵ و ۴۹/۲۰ متری از نقطه رهاسازی به‌ترتیب در جهت‌های اصلی و فرعی شش نقطه وجود داشت و در مجموع در هر مزرعه ۴۸ کارت زرد و ۱۴۴ کارت تخم در این فواصل نصب شد.

پس از نصب قیم‌ها در نقاط مورد نظر، نام‌گذاری قیم‌ها از قسمت غرب زمین به سمت شمال (حرکت ساعتگرد) انجام شد، به‌طوری که غرب زمین با عدد ۱ و در نهایت جنوب‌غرب زمین با عدد ۸ مشخص شد. هر کدام از فواصل هم با حروف A تا F نام‌گذاری شدند (شکل‌های ۱، ۲ و ۳). پس از نصب قیم‌ها، در اطراف هر کدام به فاصله حدود ۷۵ سانتی‌متر، یک عدد سیتوکارت حاوی ۱۰۰ عدد تخم تازه بید غلات روی سطح رویی برگ بالایی ۳ بوته برنج با هدف ارزیابی میزان پارازیتیسم طبیعی مزرعه نصب شد. این کارت تخم‌ها بعد از ۴۸ ساعت جمع‌آوری و همراه درج مشخصات (تاریخ نصب و شماره قیم مربوط) برای بررسی در شرایط متعارف در آزمایشگاه نگهداری شدند. بلافاصله کارت تخم تازه و همچنین کارت‌های زردرنگ نصب و رهاسازی زنبور انجام شد (شکل ۳).

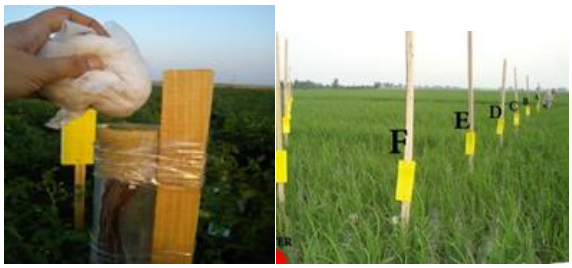


شکل ۲- نحوه و موقعیت قرار گرفتن کارت‌های زرد (دایره‌های سفید) با توجه به محل رهاسازی (مربع سفید رنگ) در مزارع آزمایشی.

Fig 2. A schematic design to show position of wasp release (small central white square) and yellow sticky cards (white circles) in experimental fields.

رهاسازی زنبور

پس از نصب کارت‌های زرد و تخم‌های تله (سیتوکارت-ها)، عملیات رهاسازی زنبورها از مرکز زمین صورت گرفت. ابتدا نمونه‌هایی برای کنترل کیفی در نظر گرفته شد تا مقدار واقعی زنبور مشخص شود. با احتساب هر ۶۰۰۰۰ تخم پارازیته میزبان معادل ۱ گرم، نسبت جنسی ۱:۱ و بین ۸۵ تا ۹۰ درصد خروج و ۵ درصد بی بالی، حدود ۰/۹۲ گرم تخم پارازیت شده و آماده خروج (معادل ۵۰۰۰۰ زنبور سالم) درون یک لوله آزمایش بزرگ هنگام عصر (هوای خنک) در نقطه مرکزی علامت‌گذاری شده رها شد (شکل ۳).



شکل ۳- نحوه نصب کارت‌های زرد و سیتوکارت‌ها (راست) و نصب لوله محتوی جمعیت زنبور و رهاسازی در مزرعه برنج (چپ).

Fig. 3. Yellow sticky traps and *Sitotroga cerealella* egg cards installation (right) and wasp release method in rice field (left).

جمع‌آوری کارت‌های زرد رنگ، سیتوکارت‌ها و شمارش

سیتوکارت‌ها و کارت‌های تله زرد ۴۸ ساعت پس از نصب جمع‌آوری شدند و این کار چهار مرتبه تکرار شد

به‌نحوی که هر ٤٨ ساعت یکبار کارت‌های تله قدیمی و سیتوکارت‌ها جمع‌آوری و کارت‌های جدید نصب می‌شد. پس از جمع آوری، روی کارت‌های زرد با نایلون شفاف و نازک (سلفون) پوشانده شد تا حشره جدید دیگری به آن نچسبد. کارت‌های زرد در آزمایشگاه به تفکیک فواصل نصب و موقعیت آن‌ها در مزرعه، زیر استریومیکروسکوپ بررسی و زنبورهای شکار شده شمارش و ثبت شدند. سیتوکارت‌ها هم به‌طور مجزا در شرایط متعارف نگهداری و پس از سیاه شدن تخم‌های پارازیت شده (٥-٤ روز بعد) تعداد آن‌ها به تفکیک شمارش و ثبت شد.

ثبت اطلاعات هواشناسی

در طول انجام مراحل کار، عوامل محیطی نظیر سرعت و جهت باد، رطوبت نسبی، دما (بیشینه و کمینه)، طول روز، تعداد روزهای ابری و سایر موارد از نزدیکترین ایستگاه هواشناسی گرفته شد.

روش آماری

از مدل پخش (Diffusion model) برای برآورد نحوه پراکنش زنبور *T. brassicae* در مزرعه برنج استفاده شد (Rudd and Gandour, 1985) و با فرض اینکه فقط یک بعد از فضا در نظر گرفته شود، به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{D\partial^2 y}{\partial x^2} - my \qquad (١)$$

این مدل، تغییرات تعداد افراد (y) در فاصله‌ی معین (x) از نقطه رهاسازی در زمان (t) را محاسبه می‌کند. مقدار D ضریب پخش شوندگی و m ثابت حذف بوده و معادل مرگ و میر افراد و یا مهاجرت به خارج از مزرعه آزمایشی است. دو فرض اساسی برای این روش وجود دارد:

۱- زنبور به‌صورت تصادفی حرکت می‌کند.

۲- زنبور به‌هیچ جهتی برای پراکنش از نقطه رهاسازی ترجیح ندارد. یعنی فرض بر این است هیچ نیروی خارجی روی حرکت افراد تاثیر نداشته تا موجب جابجایی آنها از مسیرشان شود (Rudd and Gandour, 1985; Turchin and Thoeny, 1993; Blackmer *et al.*, 2004; Bancroft, 2005; Puche *et al.*, 2005).

براساس بسط مدل، معادله ۲ حاصل می‌شود:

$$y(x,t) = y_0 \frac{e^{mt} e^{-\left(\frac{x^2}{4Dt}\right)}}{2\sqrt{\pi Dt}} \qquad (٢)$$

در این معادله y_0 جمعیت اولیه و بقیه پراسنجه‌ها مطابق معادله (۱) در نظر گرفته می‌شود. در صورت وجود بادبردگی معادله مربوط به‌صورت زیر اصلاح می‌شود:

$$y(x,t) = y \frac{e^{mt} e^{-\left(\frac{x-vt)^2}{4Dt}\right)}}{2\sqrt{\pi Dt}} \qquad (٣)$$

پارامتر v سرعت ثابت باد است (Rudd and Gandour, 1985). گرچه سطوح پراکنش تحت مطالعه، دو بعدی هستند، اما برای ساده کردن کار در تمام تجزیه و تحلیل‌ها در ادامه، فقط پراکنش یک بعدی در نظر گرفته شد (Allen and Gonzalez, 1974).

برای انجام محاسبات و برآورد ضرایب اصلی مدل، ابتدا داده‌های حاصل از شمارش تعداد زنبورها روی کارت‌های زرد چسبنده به تفکیک فاصله از مرکز رهاسازی، جهت و محل آن‌ها، در نرم افزار اکسل تنظیم شد و در نرم افزار آماری SAS (SAS Software, ver. 9.2) با استفاده از روش NLin در معادله‌ی (مدل) زیر برازش شدند (Rudd and Gandour, 1985):

$$y_i = Ae^{-Bx_i{}^2} \qquad (٤)$$

این مدل نشان دهنده رابطه بین تعداد افراد پخش شده (y_i) در فاصله‌ی (x_i) است. ثابت‌های A و B برآورد تعداد افراد در نقطه‌ی رهاسازی (x=0) و نسبت کاهش تراکم این تعداد با افزایش فاصله است. از برآورد ثابت B ، ضریب پخش (D) محاسبه شد (Rudd and Gandour, 1985):

$$D = \frac{1}{4Bt} \qquad (٥)$$

با توجه به اینکه واریانس پخش ($2Dt$) می‌باشد، فاصله در برگیرنده ۹۸ درصد جمعیت از معادله زیر به‌دست آمد (Bancroft, 2005):

$$\chi_{98} = 2\sqrt{4Dt} \qquad (٦)$$

با در نظر گرفتن معادله (۲) و فرضیات اولیه، میزان احتمالی مرگ‌ومیر و مهاجرت به خارج (از مزرعه آزمایشی) زنبور *T. brassicae* که با (m) نشان داده می‌شود از رابطه زیر محاسبه شد:

$$m = \frac{-\ln(\frac{2A\sqrt{\pi Dt}}{y^0})}{t} \quad (۷)$$

با استفاده از مقدار (m) می‌توان جمعیت باقیمانده زنبور(y) در هر زمان نمونه‌برداری (t) را برآورد کرد:

$$y(t) = y_0 e^{-mt} \quad (۸)$$

مقدار ضریب تبیین نیز از فرمول (۹) محاسبه شد.

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (۹)$$

نتایج

کنترل کیفیت زنبور *T. brassicae*

با توجه به جدول ۱، نسبت جنسی جمعیت زنبور *T. brassicae* ۶۱/۲ درصد ماده بود. میزان مرگ و میر زنبور ماده پس از ٤ روز ۱۲ درصد به‌دست آمد و مقدار ظهور۹۲ درصد و میزان باروری نیز ٤۳/۷ تخم به ازای هر فرد ماده ثبت شد (جدول ۱).

جدول ۱- آماره‌های کنترل کیفیت زنبور *Trichogramma brassicae* قبل از رهاسازی در مزرعه برنج در مقایسه با شاخص‌های استاندارد.

Table 1. Quality control statistics of *Trichogramma brassicae* specimens before release in rice field comparing with standard indices.

Criterion	Standard	Observed
Emergence rate (%)	>85%	92%
Sex ratio (% of females)	>50%	61.2%
Female abnormality (%)	< 5%	2%
Fecundity (No of eggs per female in lifetime)	40	43.7
Mortality after 4 days (%)	< 20%	12%

میزان پارازیتیسم طبیعی

سیتوکارت‌های نصب شده در مزرعه قبل از رهاسازی زنبور تریکوگراما، پارازیتیسم طبیعی زنبور *Trichogramma* sp. را نشان ندادند. بنابراین می‌توان گفت زنبورهای شکار شده روی کارت‌های زرد، پس از رهاسازی، همگی متعلق به اجرای آزمایش بودند.

اطلاعات هواشناسی

پراسنجه‌های هواشناسی نشان داد که باد به‌عنوان عامل مهم در پراکنش زنبور تریکوگراما، در دوره انجام این آزمایش تأثیری نداشته است زیرا سرعت متوسط آن ۱/۵۳ متر بر ثانیه و جهت غالب آن شمال غربی بود. به‌همین صورت، متوسط دما ۲۵/٦ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۷۳/٦ درصد بود که در مجموع شرایط بهینه‌ای برای فعالیت زنبور در مزرعه محسوب می‌شود.

پراکنش زنبور بر اساس مدل پخش

به‌منظور نرمال سازی داده‌ها، از روش لگاریتمی log10(x+1) استفاده شد. میانگین میزان نکویی برازش (Goodness of fit) داده‌های حاصل از شمارش تعداد زنبورها روی کارت‌های زرد چسبنده بر مدل در مزرعه اول و دوم به‌ترتیب بسیار خوب ($R^2 >$ ۰/٦۹) و خوب ($R^2 >$ ۰/٦۲) برآورد شد (جدول ۲). در مزرعه اول ضریب پخش از ۳/۰٤ مترمربع در روز طی نوبت اول به ۱/۷٤ مترمربع در روز کاهش یافت اما در نوبت سوم به حداکثر ۱۱/۲۸ مترمربع در روز رسید. همین پراسنجه در مزرعه دوم از ۳/۹۳ مترمربع در روز به ۲۹/۷٦ مترمربع در سومین نوبت نمونه‌برداری(٦ روز پس از رهاسازی) افزایش یافت، ولی در نوبت چهارم حدود یک‌سوم کاهش یافت. گرچه طبق پیش بینی مدل، فاصله در بر گیرنده ۹۸ درصد جمعیت (X_{98}) زنبور در مزرعه اول و دوم به‌ترتیب حدود ۱۰/٤۷ و ۱۱/۵۰ متر طی چهار نوبت نمونه‌برداری بود، اما در مزرعه دوم مقدار این پراسنجه در روزهای نمونه‌برداری مشابه با مزرعه اول به مراتب بیشتر بود (جدول ۲). میزان مهاجرت یا مرگ‌ومیر زنبورها (m) بسیار جزیی و در هر دو مزرعه تقریبا مشابه بود، اما متوسط زنبور باقیمانده در واحد سطح در مزرعه اول (٦۳۰/٦۷ عدد زنبور) تقریباً بیش از دو برابر همان تعداد برای مزرعه دوم (۲۷۲/۱۸ عدد زنبور) بود (جدول ۲).

میزان پارازیتیسم

شکل‌های ٤ و ۵ به‌ترتیب میزان پارازیتیسم دستجات تخم سیتوتروگای نصب شده را در قطعات آزمایشی در مزارع برنج

نشان می‌دهند. در مزرعه اول، بیشترین میزان پارازیتیسم در تمامی سطوح و جهات جغرافیایی در نوبت اول نمونه‌برداری با متوسط حداکثر ٦٤/٧٥ و حداقل صفر تخم بر کارت به‌ترتیب در سطوح ٤ و ٤٩٠٠ مترمربع مشاهده شد. در همین مزرعه، میزان پارازیتیسم در نوبت دوم نمونه برداری (٤ روز پس از رهاسازی) به‌میزان زیادی کاهش یافت و حداکثر پارازیتیسم به‌طور متوسط ۲/۵۰ تخم بر کارت در سطح ٤ مترمربع ثبت شد اما بر خلاف انتظار، در نوبت سوم نمونه‌برداری (٦ روز پس از رهاسازی) افزایش قابل توجه پارازیتیسم بین ۲ تا ۳۱/۱۰ تخم پارازیته بر کارت در تمامی سطوح نمونه‌برداری و جهات مختلف مشاهده شد. به‌هر حال، در نوبت چهارم رهاسازی هیچ تخم پارازیته‌ای مشاهده نشد. به‌علاوه، روند و میزان پارازیتیسم در روزهای مختلف نمونه‌برداری در سطوح آزمایشی نشان داد که با گذشت زمان و افزایش سطح، از میزان پارازیتیسم کاسته شده است (شکل ٤). در مزرعه دوم، دو روز پس از رهاسازی تقریبا در تمامی سطوح نمونه‌برداری پارازیتیسم مشاهده شد که در سطح ٤ مترمربع حداکثر (میانگین۹۱ تخم پارازیته در هر کارت) و در سطح ٤۹۰۰ مترمربع حداقل (میانگین ٤/٥ تخم در هر کارت) بود. به‌همین صورت، در نوبت دوم نمونه‌برداری (٤ روز پس از رهاسازی)، بیشترین میزان پارازیتیسم در سطح ٤ مترمربع (میانگین ۲۰/۲۵ تخم پارازیته در هر کارت) دیده شد، گرچه تا سطح ۲۵۰۰ مترمربعی نیز پارازیتیسم بسیار کمی ثبت شد. بر عکس، در نوبت سوم نمونه‌برداری (٦ روز پس از رهاسازی)، بیشترین تخم‌های پارازیته (میانگین ٤/٦٢ تخم پارازیته در هر کارت) در سطح ٤۹۰۰ مترمربعی دیده شد. به‌هر حال همانند مزرعه اول، در نوبت چهارم نمونه برداری پارازیتیسمی مشاهده نشد. در این مزرعه نیز روند پارازیتیسم با توجه به میانگین تمام نوبت‌های نمونه‌برداری نسبت به سطح و زمان کاهش یافت (شکل ٥). به‌طور کلی میزان پارازیتیسم در جهت شمال شرق و غرب در دوره نمونه برداری بیشتر بود (شکل‌های ٤ و ٥).

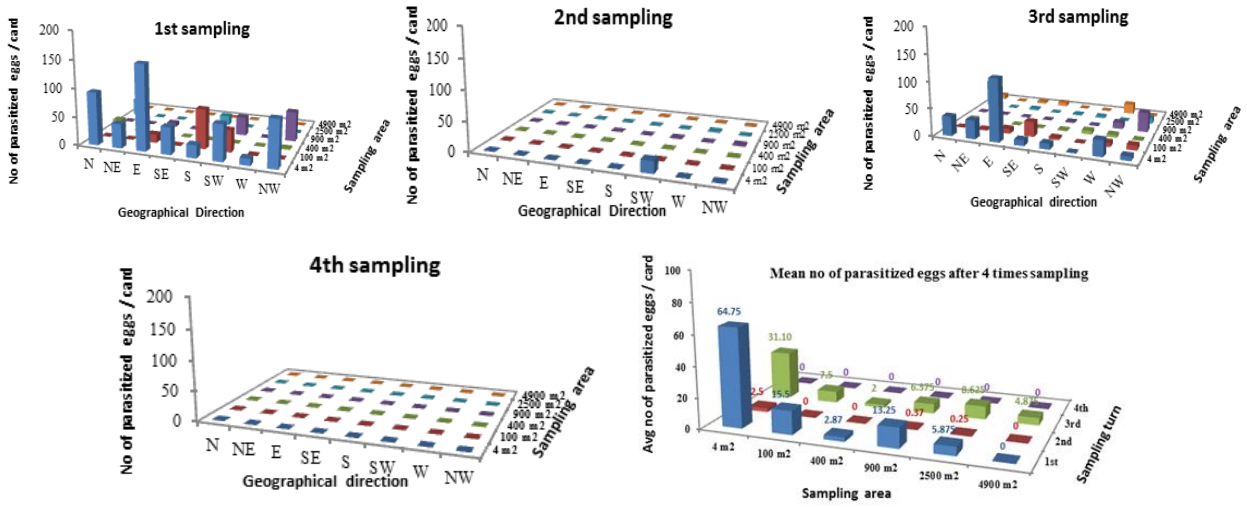
جدول ۲- پراسنجه‌ها و ضرایب حاصل از برازش تعداد زنبورهای *Trichogramma brassicae* شمارش شده روی کارت‌های زرد در مدل پخش (Rudd and Gandour, 1985) پس از رهاسازی ٥٠٠٠٠ زنبور از یک نقطه‌ی رها سازی در مزرعه برنج .

Table 2. Parameters and coefficients determined by fitting *Trichogramma brassicae* release-recapture data to diffusion model (Rudd and Gandour, 1985) after releasing 50000 wasps from a central point in rice field.

Field no.	t	A	B	R^2	D (m^2/day)	x_{98} (m)	m	Y_t^f
1	1	14.86	0.0416	0.71	3.04	9.80	2.97	129.27
	2	19.82	0.0358	0.83	1.74	10.57	1.39	185.67
	3	18.65	0.0324	0.65	11.28	15.11	0.86	282.08
	4	3.91	0.0001	0.56	1.24	12.62	0.88	43.72
Cumulative		67.34	0.0358	0.69	0.87	10.47	0.54	630.67
2	1	23.61	0.0318	0.57	3.93	11.21	2.68	234.58
	2	0.9753	0.0001	0.54	6.25	20.01	1.41	172.58
	3	1.35	0.0014	0.62	29.76	53.45	1.11	64.32
	4	0.8161	0.0013	0.71	10.08	35.92	0.9453	25.97
Cumulative		26.69	0.0302	0.62	1.03	11.50	0.9516	272.18

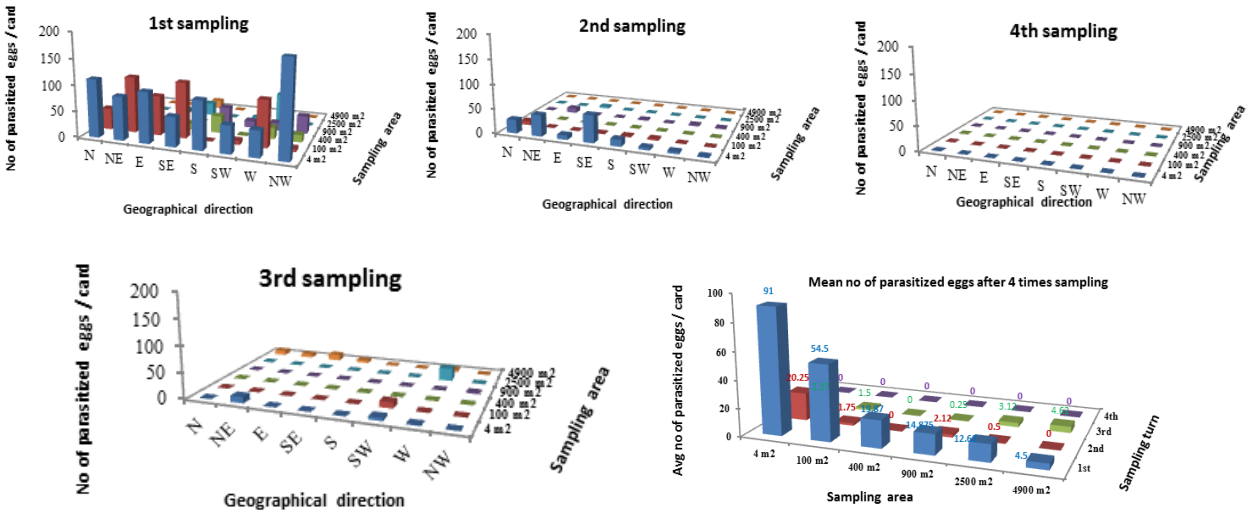
't' نوبت نمونه‌برداری؛ A و B ثابت‌های مدل؛ 'R^2' ضریب تبیین؛ 'D' ضریب پخش؛ 'X_{98}' فاصله دربرگیرنده ۹۸ درصد جمعیت؛ 'm' میزان مرگ و میر یا مهاجرت؛ 'Y_t^f' تعداد زنبور باقیمانده در مزرعه

't' Sampling turn; 'A and B' Model constants; 'R^2' Coefficient of determination; 'D' Diffusion coefficient; 'X_{98}' Distance encompassing 98% of population; 'm' Mortality or migration; 'Y_t^f' Number of wasps remained in the field



شکل ٤– تعداد کل تخم‌های پارازیت شده *Sitotroga cerealella* روی سیتوکارت‌ها در مزرعه برنج پس از یکبار رهاسازی ۵۰۰۰۰ زنبور *Trichogramma brassicae* از یک نقطه‌ی مرکزی و ٤ نوبت نمونه‌برداری با توجه به‌جهت (N= شمال، NE= شمال شرق، E= شرق، SE= جنوب شرق، S= جنوب، SW= جنوب غرب، W= غرب و NW= شمال غرب) و سطح و میانگین ٤ نوبت نمونه‌برداری از سطوح مختلف (مزرعه آزمایشی اول).

Fig. 4. Total number of *Sitotroga cerealella* parasitized eggs per sentinel egg cards after a single release of 50000 *Trichogramma brassicae* from a central point and sampling at different distances and geographical directions and mean of 4 times sampling from different arenas (1st experimental field).



شکل ٥– تعداد کل تخم‌های پارازیت شده *Sitotroga cerealella* روی سیتوکارت‌ها در مزرعه برنج پس از یکبار رهاسازی ۵۰۰۰۰ زنبور *Trichogramma brassicae* از یک نقطه‌ی مرکزی و ٤ نوبت نمونه‌برداری با توجه به‌جهت (N= شمال، NE= شمال شرق، E= شرق، SE= جنوب شرق، S= جنوب، SW= جنوب غرب، W= غرب و NW= شمال غرب) و سطح و میانگین ٤ نوبت نمونه‌برداری از سطوح مختلف (مزرعه آزمایشی دوم).

Fig. 5. Total number of *Sitotroga cerealella* parasitized eggs per sentinel egg cards after a single release of 50000 *Trichogramma brassicae* from a central point and sampling at different distances and geographical directions and mean of 4 times sampling from different arenas (2nd experimental field)

بحث

اطمینان از کیفیت زنبورهای پرورشی در کنترل بیولوژیک به‌ویژه در موارد پژوهشی بسیار مهم است (Kolliker-Ott *et al.*, 2004). صفاتی نظیر طول عمر، باروری، انتخاب میزبان و ترجیح میزبانی، انتخاب سن میزبان، فعالیت در دماهای مختلف، تحرک (راه رفتن) و تاثیرگذاری و علایم و بقایای میزبان (به‌طور مثال پولک یا فضولات میزبان) به‌عنوان ویژگی‌های مؤثر روی میزان پراکنش زنبورهای پارازیتویید مورد تاکید قرار گرفته‌اند (Smith, 1996). تحقیقات دیگری اندازه و سلامت بال زنبور را به‌عنوان رکن مهم در توانایی پراکنش آن دخیل دانسته‌اند (Kolliker-Ott *et al.*, 2004). در پژوهش حاضر نتایج بررسی کنترل کیفیت صفات مهمی از قبیل درصد خروج، نسبت جنسی و میزان مرگ‌ومیر قبل از رهاسازی زنبور موید کیفیت قابل قبول سوش زنبور *T. brassicae* مورد استفاده بوده است که با مطالعات اشاره شده همخوانی دارد.

پژوهش‌های زیادی در زمینه مدل‌سازی رفتار حشرات آغاز شده و در حال حاضر شبیه‌سازی‌های متعدد کامپیوتری از جنبه‌های مختلف رفتاری حشرات وجود دارد (Rudd and Gandour, 1985). مدل مورد استفاده در این پژوهش بر اساس نظریه پخش، برای بررسی پراکنش زنبور *T. brassicae* با دو فرض اصلی حرکت تصادفی زنبور بدون تاثیر عوامل خارجی و عدم اختلال زنبورها در رفتار یکدیگر صورت گرفته است. برای سهولت آزمایش‌ها، معادله خطی و همچنین حرکت حشره فقط در بعد طولی در نظر گرفته شده است. بنابراین روش مطالعه پراکندگی یک حشره به‌وسیله رهاسازی تراکم معینی از آن در یک نقطه و اندازه‌گیری تراکم آن در زمان‌ها و فواصل مختلف معین پس از رهاسازی است. به‌هر حال، بر اساس آزمون‌های صورت گرفته، مدل مورد استفاده دارای نکویی برازش قابل قبول بوده و با سایر پژوهش‌های انجام شده در این زمینه همخوانی دارد (Rudd and Gandour, 1985; Chapman, 2007; Kuhar *et al.*, 2004).

آنچه که ضریب پخش (D) در این پژوهش مشخص نمود، توزیع تدریجی تراکم زنبور در واحد سطح در روزهای پس از رها سازی است. البته اعتقاد بر این است که این ضریب وابسته به گونه حشره و رفتار آن در مزرعه بوده و حتی جنس نر یا ماده در یک گونه ضریب متفاوتی دارند (Rudd and Gandour, 1985). در این پژوهش امکان تفکیک سریع جنس‌های نر و ماده زنبور روی کارت‌های زرد وجود نداشت. لذا ضریب ذکر شده مربوط به‌هر دو جنس زنبور *T. brassicae* است. به‌هر حال در پژوهش به‌نسبت مشابهی، این میزان بین ۷ تا ٦٨ متر مربع در روز در نوسان بوده که تا حدی با یافته‌های این بررسی همخوانی دارد (Chapman *et al.*, 2009; Chapman, 2007). در پژوهش دیگری در مزرعه گوجه‌فرنگی، ضریب پخش این زنبور حداکثر به حدود ١٦ مترمربع طی ٤ نوبت نمونه‌برداری رسید (Mahrughan *et al.* 2015) که با نتایج بررسی ما در مزرعه اول کاملاً همخوانی دارد.

یکی از یافته‌های مهم مطالعه ما این است که زنبور *T. brassicae* تا دو روز پس از رهاسازی ممکن است به‌زمانی برای عادت به‌شرایط محیطی نیاز داشته باشد. با توجه به‌نتایج، فاصله دربرگیرنده ۹۸ درصد جمعیت زنبور شکار شده از نقطه رهاسازی (X_{98}) در دو روز پس از رهاسازی، رقم بسیار کمتری نسبت به زمان‌های دیگر نمونه‌برداری به‌ویژه در مزرعه اول بود. در برخی از آزمایش‌های Chapman *et al.* (2009) نیز فاصله در برگیرنده ۹۸ درصد جمعیت زنبور شکار شده از نقطه مرکزی در نوبت‌های اول نمونه‌برداری کمتر از سایر نوبت‌ها بوده است. در این پژوهش حاضر مشخص شد، تعداد زنبور *T. brassicae* شکار شده توسط کارت‌های زرد چسبنده و همچنین میزان پارازیتیسم تخم‌های سیتوتروگا توسط این پارازیتوئید، به‌طور کلی با فاصله گرفتن از مرکز رهاسازی و همچنین با گذشت زمان کاهش پیدا می‌کند. پراکنش زنبور *T. brassicae* تا حداکثر ۱۵ متر فاصله (چهارمین فاصله) از نقطه رهاسازی چشم‌گیر بود که در مجموع، پراکنش یکنواخت این زنبور در سطحی معادل ۹۰۰ مترمربع در شرایط جوی حاکم بر مزرعه در طول آزمایش را نشان داد، به این معنا که اکثر پارازیتوئیدها در منطقه‌ای حدود ۲۰ درصد از کل سطح آزمایش دارای کارت زرد و تخم میزبان مشاهده شدند. این

یافته‌ها با نتایج Greatti and Zandigiacomo (1995)، Wright *et al.*, (2001) و Fournier and Boivin (2000) به‌ترتیب با مطالعه پراکنش زنبورهای *T. brassicae*، *T. ostriniae*، *T. evanescens* و *T. pretiosum* در مزرعه همخوانی دارد.

یکی از نکات مهم در کنترل بیولوژیک به‌روش اشباعی، وجود سطح مناسبی از تراکم جمعیت دشمن طبیعی در زمان معین در مزرعه است. یافته‌های حاصل از این آزمایش نشان داد که با گذشت زمان پس از رهاسازی، تراکم زنبور *T. brassicae* کاهش یافته است. بارزترین صفت مؤثر در کاهش جمعیت این زنبور در مزرعه طول عمر کوتاه آن است که مرگ‌ومیر زیادی به آن تحمیل می‌کند. طول عمر زنبور *T. brassicae* حدود ٤ و حداکثر تا ٨ روز ذکر شده است (Attaran, 2002) که با تحقیقات Wang *et al.* (1998) و مطالعه حاضر نیز همخوانی دارد. عامل دیگر دخیل در کاهش تراکم جمعیت زنبور با گذشت زمان، مهاجرت است که تقریبا در این مطالعه آهنگ یکنواختی داشته است. این موضوع در کاهش میزان پارازیتیسم تخم‌های سیتوتروگا با گذشت زمان نیز تایید شده که با یافته‌های Kanour and Burbutis (1984) و Burbutis *et al.* (1977) و Shirazi *et al.* (2010) مطابقت دارد.

براساس داده‌های هواشناسی استان مازندران در دوره آزمایش‌های صحرایی، متوسط سرعت باد، دما و رطوبت نسبی به‌ترتیب ۱/۵۳ متر بر ثانیه، ۲٦/۱ درجه سلسیوس و ۷۳/٤ درصد بود. بنابر این می‌توان گفت که به‌دلیل شرایط مساعد در زمان آزمایش‌ها، پراکنش زنبور کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی بوده است. یکی از تفاوت‌های مهم برنج با سایر محصولات تراکم زیاد پوشش سبز گیاه (Canopy) در واحد سطح است. افزایش پوشش سبز به منزله افزایش سطح مورد نیاز برای جستجوی زنبور است که می‌تواند به‌شدت پراکنش آن را کاهش دهد. این موضوع به تفضیل مورد بررسی قرار گرفته است (Need and Burbutis, 1977; Shirazi *et al.*, 2010). در شرایط عادی زنبور بیشتر از طریق راه رفتن میزبان‌یابی می‌کند لذا سطح کمتر به معنای پراکنش بیشتر است. به‌طور کلی با افزایش فاصله از مرکز رهاسازی و گذشت زمان، از تراکم زنبور در محیط کاسته شد. از طرف دیگر، شاخص‌های پراکنش زنبور در دو مزرعه برنج دارای تفاوت‌هایی بودند که به‌روشنی انتظار یکسان از موفقیت در کنترل آفات با رهاسازی زنبورهایی با گونه و جمعیت کاملاً مشابه را با شک و تردید همراه می‌کند. پژوهش‌های قبلی (Chapman *et al.*, 2009) نشان داده که تراکم جمعیت میزبان اصلی تریکوگراما در مزرعه (تخم آفت) نقش بسیار مهمی در پراکنش جهت‌دار این زنبور دارد. در مزارع آزمایشی این پژوهش با توجه به مراقبت‌های اولیه کشاورزان (سمپاشی در خزانه) علایم خسارت جمعیت کرم ساقه‌خوار در دوره آزمایش مشاهده نشد اما نمی‌توان با قاطعیت گفت که جمعیت آفت اصلی در هر دو مزرعه یکسان بوده است. از طرفی سایر حشرات میزبان زنبور تریکوگراما مثل کرم سبز برگخوار نیز گاهی جمعیت قابل توجهی دارند که می‌تواند در پراکنش زنبور نقش داشته باشد. به‌علاوه، اعتقاد بر این است که زنبورهای تریکوگراما علاوه بر پراکنش به‌وسیله قدم زدن یا جریان باد، همراه شب‌پره‌های آفت (Phoresy) نیز در مزرعه پراکنده می‌شوند (Smith, 1996). شاید دلایل اختلاف بین شاخص‌های پراکنش زنبور در دو مزرعه آزمایشی چنین تفاوت‌هایی بوده است. بنابر این جهت نیل به‌نتیجه بهتر و یکنواخت‌تر از رهاسازی زنبور تریکوگراما در کنترل ساقه خوار برنج، به‌مراتب به‌تعداد زیادی نقطه‌ی رهاسازی نیاز است تا زنبور هر چه یکسان‌تر در مزرعه پخش گردد. جایگزینی شیوه رهاسازی پاششی که نیازمند تغییر بسته‌بندی زنبور تریکوگراما است، در حال حاضر ضرورت اصلی در توسعه کاربرد این دشمن طبیعی در کشور است.

سپاسگزاری

این پژوهش بخشی از اطلاعات حاصل از اجرای پروژه تحقیقاتی ملی مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی با شماره مصوب ۹۲۱٦٤-١٦-١٦-٠ است که نگارنده اول مجری مسئول آن بوده است.

References

ALLEN, J.C. and D. GONZALEZ, 1974. Spatial attack patterns of *Trichogramma pretiosum* around release sites compared with a random diffusion model. Environmental Entomology, 3: 647-652.

ANDOW, D.A. and D. R. PROKRYM, 1991. Release density, Efficiency and disappearance of *Trichogramma nubilalis* for control of European corn borer. Entomophaga, 36: 105-113.

ATTARAN, M.R. 2002. A study on different populations of *Trichogramma* spp. (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in Northern provinces of Iran. Ph.D. thesis, Science and Research Branch, Azad University, Tehran, Iran, 155 pp.

BANCROFT, J.S. 2005. Dispersal and abundance of *Lygus hesperus* in field crops. Environmental Entomology, 34: 1517-1523.

BLACKMER, J.L.,J.R. HAGLER, G. S. SIMMONS, and L. A. CANAS, 2004. Comparative dispersal of *Homalodisca coagulate* and *Homalodisca liturata* (Homoptera: Cicadellidae). Environmental Entomology, 33: 88-99.

BURBUTIS, P.P.G.D. CURL, and C.P. DAVIS, 1977. Host searching behavior by *Trichogranmma nubilale* on corn. Environmental Entomology, 6: 400-402.

CHAPMAN, A.V. 2007. Optimizing *Trichogramma ostriniae* (Hym; Trichogrammatidae) releases to control European corn borer, *Ostrinia nubilalis* (Lep; Crambidae) in bell pepper. Msc., thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute, Virginia State University, USA, 71 pp.

CHAPMAN, A.V. T. P. KUHAR, P. B. SCHULTZ and C. C. BREWSTER, 2009. Dispersal of *Trichogramma ostriniae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in potato fields. Environmental Entomology, 38: 677-685.

EBADZADEH, H. R., K. AHMADI, SH. MOHAMMADNIA AFROOZI, R. ABBASTALEGHANI, M. ABBASI and SH. YARI, 2017. Iran Agriculture Statistics. Information and Relation Technology Center, Ministry of Agriculture-Jahad Publ., Tehran, Iran, 401 pp. (In Persian)

FOURNIER, F. and G. Boivin, 2000. Comparative dispersal of *Trichogramma evanescens* and *T. pretiosum* (Hym; Trichogrammatidae) in relation to environmental conditions. Environmental Entomology, 29:55-63.

GREATTI, M. and P. ZANDIGIACOMO, 1995. Post release dispersal of *Trichogramma brassicae* Bezdenko in corn fields. Journal of Applied Entomology, 119: 671-675.

KANOUR, W.W. Jr. and P. P. BURBUTIS, 1984. *Trichogramma nubilale* (Hym; Trichogrammatidae) field releases in corn and a hypothetical model for control of European corn borer (Lep; Pyralidae). Journal of Economic Entomology, 77: 103-106.

KNIPLING, E. F. and J. U. MCGUIRE, 1968. Population models to appraise the limitation and potentialities of *Trichogramma* in managing host insect populations. USDA, Technical Bulletin No. 1387, 44 pp.

KOLLIKER-OTT, U.M., F. BIGLER, and A.A. HOFFMANN, 2004. Field dispersal and host location of *Trichogramma brassicae* is influenced by wing size but not wing shape. Biological Control, 31: 1-10.

KUHAR, T.P., V. M. BARLOW, M. P. HOFFMANN, S. J. FLEISCHER, E. A. GRODEN, J. GRANDER, R. HAZZARD, M. G. WRIGHT, S. A. PITCHER and P. WESTGATE, 2004. Potential of *Trichogramma ostriniae* (Hym.: Trichogrammatidae) as a biological control agent of European corn borer (Lep; Crambidae) in solanaceous crops. Journal of Economic Entomology, 97: 1209-1216.

MAHRUGHAN, A., J. SHIRAZI, M. AMIR MAAFI and H. DADPOUR, 2015. Dispersal of *Trichogramma brassicae* in tomato field. Journal of Crop Protection, 4:173-180.

NEED, J.T. and P.P. BURBUTIS, 1979. Searching efficiency of *Trichogramma nubilale*. Environmental Entomology, 8: 224-227.

PEZESHK, R,J. SHIRAZI, M.R. ATTARAN, and M. SHOJAI, 2010. A study on the searching efficiency of *Trichogramma brassicae* Bezd. at three thermal

regimes. In: Sh. Manzari (ed), The 19th Iranian Plant Protection Congress. July 31- Aug 3, Tehran, Iran, pp 43.

PUCHE, H.,T.J. WEISSLING, R. SCHNELL, N. D. EPSKY, and R. R. HEATH, 2005. Estimating dispersal rate of the silky cane weevil (Coleoptera; Curculionidae). Journal of Applied Entomology, 129: 293-299.

RUDD, W. G. and R. W. GANDOUR, 1985. Diffusion model for insect dispersal. Journal of Economic Entomology, 78:295-301.

SAS INSTITUTE INC. 2001. SAS/ Stat users Guide, version 9.2 SAS Institute Inc, Cary, NC.

SHIRAZI, J., M. TAGHIZADEH, H. DADPOUR, M. R. ATTARAN, and E. ZAND, 2010. Investigation on the parasitism level of *Ostrinia nubilalis* (Hub.) eggs related to different densities of released *Trichogramma brassicae* Bezd. in corn. In: K. Bananaj (ed), The 19th Iranian Plant Protection Congress Proceedings. July 31- Aug 3, 2010, Tehran, Iran, p. 68.

SHOJAI, M., S. TIRGARI and A. NASROLLAHI, 1988. Primary report on the occurrence of *Trichogramma*. In: J. Voegele, J. Waage, and J. van Lenteren, (eds.), *Trichogramma* and other egg parasites. Les Colloques de I'INRA, 43: 121.

SMITH, M. 1996. Biological control with *Trichogramma*: advances, successes potential of their use. Annual Review of Entomology, 41: 375-406.

THORPE, K. W. 1985. Effects of height and habitat type on egg parasitism by *Trichogramma minutum* and *T. pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Agriculture, Ecosystems and Environment, 12: 117-126.

TURCHIN, P. and W. T. THOENY, 1993. Quantifying dispersal of southern pine beetles with mark-recapture experiments and a diffusion model. Ecological Applications, 3: 187-198.

WANG, B. and D. N. FERRO, 1998. Functional response of *Trichogramma ostriniae* (Hym., Trichogrammatidae) to *Ostrinia nubilalis* (Lep., Pyralidae) under laboratory and field conditions. Environmental Entomology, 27: 752-758.

WRIGHT, M.G., M.P. HOFFMANN, S.A. CHENUS and J. GARDNER, 2001. Dispersal behavior of *Trichogramma ostriniae* (Hym; Trichogrammatidae) in sweet corn fields: Implications for augmentative releases against *Ostrinia nubilalis* (Lep; Crambidae). Biological Control, 22: 29-37.

WRIGHT, M. G., M. P. HOFFMANN, T. P. KUHAR, J. GARDNER, and S. A. PITCHER, 2005. Evaluating risks of biological control introductions: a probabilistic risk-assessment approach. Biological Control, 35: 338-347.

TURCHIN, P. and W. T. THOENY, 1993. Quantifying dispersal of southern pine beetles with mark-recapture experiments and a diffusion model. Ecological Applications, 3: 187-198.

WANG, B. and D. N. FERRO, 1998. Functional response of *Trichogramma ostriniae* (Hym., Trichogrammatidae) to *Ostrinia nubilalis* (Lep., Pyralidae) under laboratory and field conditions. Environmental Entomology, 27: 752-758.

WRIGHT, M. G., M. P. HOFFMANN, S. A. CHENUS and J. GARDNER, 2001. Dispersal behavior of *Trichogramma ostriniae* (Hym; Trichogrammatidae) in sweet corn fields: Implications for augmentative releases against *Ostrinia nubilalis* (Lep; Crambidae). Biological Control, 22: 29-37.

WRIGHT, M. G., M. P. HOFFMANN, T. P. KUHAR, J. GARDNER, and S. A. PITCHER, 2005. Evaluating risks of biological control introductions: a probabilistic risk-assessment approach. Biological Control, 35: 338-347.