نامه‌ی انجمن حشره‌شناسی ایران
۳۱-۱۳ :(۱)۲۶ - ۱۳۸۵

تأثیر تراکم پایه‌های صنوبر روی الگوی توزیع فضایی آفات و دشمنان طبیعی آنها در کرج

سعید حیدری[۱]، یعقوب فتحی‌پور[۱] و سید ابراهیم صادقی[۲]

۱- گروه حشره‌شناسی، دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۲- بخش تحقیقات آفات و بیماری‌ها، موسسه‌ی تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران.

The effect of poplar stand density on the spatial distribution pattern of pests and their natural enemies in Karaj

S. Heidari[1], Y. Fathipour[1] and S. E. Sadeghi[2]

1. Department of Entomology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 2. Pests and Diseases Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran.

چکیده

تأثیر تراکم پایه‌های صنوبر روی الگوی توزیع فضایی شته‌ی *Chaitophorus leucomelas* Koch، حشرات کامل و سوراخ‌های لاروی سوسک چوبخوار صنوبر *Melanophila picta* Pall.، زنجرک‌های *Rhytidodus* spp. و *Hyalesthes mlokosiewiczi* Signoret، کفشدوزک‌های شکارگر (Coccinellidae)، بالتوری *Chrysoperla carnea* (Stephens)، مگس‌های شته‌خوار *Leucopis* spp.، زنبور پارازیتویید *Adialytus salicaphis* (Fitch) و عنکبوت‌های شکارگر (Araneae) طی سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۸۲ در مرکز تحقیقات البرز کرج بررسی گردید. انواع تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از تراکم‌های ۳۳۳، ٤١٧، ٤٩٨ و ۸۳۳ درخت در هکتار به‌صورت آگروفارستری صنوبر- یونجه و تیمار تک‌کشتی صنوبر با تراکم ۸۳۳ درخت در هکتار. برای تعیین الگوی توزیع فضایی بندپایان مورد مطالعه از دو روش نسبت واریانس به میانگین و روش رگرسیونی تیلور استفاده شد. نتایج حاصله نشان داد که تراکم پایه‌های صنوبر اثر متفاوتی روی الگوی توزیع فضایی، شاخص پراکندگی (I) و شیب خط رگرسیون (b) بندپایان دارند که از ویژگی‌های زیستی و اکولوژیک آنها ناشی می‌شود. همچنین توزیع فضایی دشمنان طبیعی بطور کامل تابعی از توزیع آفات نبود که پایین بودن جمعیت و نرخ رشد و نیز قدرت جستجوی زیاد آنها در مقایسه با آفات از جمله دلایل احتمالی آن است.

واژگان کلیدی: آگروفارستری، تراکم گیاهی، توزیع فضایی، صنوبر، کرج

Abstract

The effect of poplar stand density on the spatial distribution pattern of an aphid species, *Chaitophorus leucomelas* Koch, adult and larvae of poplar flat-headed borer, *Melanophila picta* Pall., cicadellid leafhoppers, *Rhytidodus* spp., a cixiid planthopper, *Hyalesthes mlokosiewiczi* Signoret, predacious ladybirds (Coccinellidae), common lacewing, *Chrysoperla carnea* (Stephens), aphid flies, *Leucopis* spp., a parasitoid wasp, *Adialytus salicaphis* (Fitch) and spiders (Araneae) was investigated in Alborz Research Complex of Karaj during 2002-2003. Experimental treatments included four stand densities (333, 417, 498 and 833 trees/ha) of poplar-alfalfa agroforestry and poplar monoculture (833 trees/ha). Variance to mean ratio and Taylor's power law were used for determining the spatial distribution patterns of the mentioned arthropods. The results revealed that poplar stand density had different influence on the spatial distribution pattern, index of dispersion (I) and the slope of regression

تاریخ دریافت: ۱۳۸۳/۳/۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۸۴/۱۲/۹.

(b) of arthropods, resulting from their biological and ecological traits. Likewise, the spatial distribution of the natural enemies differed from their hosts, which probably resulted from their low population density, slow growth rate and the high searching behavior of natural enemies compared to the pests.
Key words: agroforestry, plant density, spatial distribution, poplar, Karaj

مقدمه

صنوبر و یونجه از جمله گیاهان با اهمیت اقتصادی و مخلوق شرایط بیواکولوژیک هستند که از زمان‌های بسیار دور و با توجه با ساختار اجتماعی و اقتصادی جوامع مختلف، به شکل و حالت‌های گوناگون در رفع نیازهای انسان‌ها بسیار مؤثر بوده‌اند. در عین حال، عواملی نظیر کمبود اراضی مستعد، عدم صرفه‌ی اقتصادی و وجود آفات و بیماری‌های گیاهی تولید این محصولات با ارزش را با چالش‌های جدی مواجه ساخته و سبب گردیده است که تولیدکنندگان برای مقابله با عوامل مذکور به جستجوی شیوه‌های جدید و جانشین بپردازند. آگروفارستری یا به بیان ساده‌تر، کشت تلفیقی درختان و گیاهان زراعی راه‌کاری است که می‌تواند به طور بالقوه بر بسیاری از مشکلات فوق غلبه نماید و به همین سبب در چند دهه‌ی اخیر، تأثیر آن بر عوامل مفید و مضر زیستی مورد توجه تعداد زیادی از متخصصین قرار گرفته است (Dix *et al.*, 1995; Rao *et al.*, 2000; Wratten *et al.*, 2003). تراکم یا فاصله‌ی کاشت گیاهان میزبان نیز عاملی است که دارای اثرات مستقیم و غیر مستقیم بر موجودات زنده و محیط غیر زنده اطراف می‌باشد (McMillin & Wagner, 1998).

مطالعه‌ی بسیاری از ویژگی‌های جمعیتی آفات و دشمنان طبیعی آنها در شرایط صحرایی مستلزم نمونه‌برداری از جمعیت آنها می‌باشد. در نمونه‌برداری از جمعیت بندپایان، علاوه بر تکنیک مناسب، بایستی برنامه‌ی مناسب نمونه‌برداری را نیز طراحی کرد (Southwood & Henderson, 2000). از جمله اهدافی که در یک برنامه‌ی مناسب نمونه‌برداری دنبال می‌شود می‌توان به انتخاب واحد نمونه‌برداری، تعیین تعداد مناسب نمونه، تعیین توزیع مکانی واحد نمونه‌برداری و انتخاب زمان مناسب نمونه‌برداری اشاره کرد (Pedigo & Buntin, 1994). برنامه‌ی نمونه‌برداری به‌عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری در مدیریت مبارزه با آفات مورد استفاده قرار می‌گیرد و در این میان تعیین الگوی توزیع فضایی آفت نقش مؤثری را در طراحی یک برنامه‌ی مناسب نمونه‌برداری ایفا می‌کند (Boeve & Weiss, 1998).

الگوی توزیع فضایی، ابزاری برای استفاده در مدل‌های ارزیابی خسارت آفات (Hughes, 1996)، بررسی ویژگی‌های رفتاری و اکولوژیک گونه‌ها (Faleiro *et al.*, 2002)، مطالعه روابط میزبان- دشمن طبیعی (Winder *et al.*, 1999) و تعیین میزان رشد جمعیت گونه‌ها (Jarosik *et al.*, 2003) نیز محسوب می‌گردد. در ارتباط با نمونه‌برداری و الگوی توزیع فضایی آفات و دشمنان طبیعی موجود در سیستم آگروفارستری صنوبر- یونجه و تأثیر تراکم و روش کاشت گیاهان میزبان اطلاعات بسیار اندکی در منابع وجود دارد ولی به برخی مطالب موجود در مورد بندپایان تحت مطالعه و گونه‌های نزدیک به آنها اشاره می‌شود.

Honek (1988) اظهار داشته است که تراکم گیاه میزبان با تغییر شرایط میکروکلیمایی می‌تواند توزیع فضایی حشرات را تحت تأثیر قرار دهد. بر اساس تحقیقات Hemptinne *et al.* (1992)، عوامل محیطی و اثرات متقابل آنها و نیز روابط بین و درون گونه‌ای، احتمالاً نوع توزیع فضایی شکارگرها را تعیین می‌نماید. یافته‌های برخی پژوهشگران نشان می‌دهد که عواملی نظیر اندازه و قطر تنه درختان بر الگوی توزیع فضایی حشرات تأثیر دارد (Floater & Zalucki, 2000). McMillin & Wagner (1998) اثر تراکم‌های مختلف درخت میزبان بر الگوی توزیع فضایی زنبور گیاه‌خوار *Neodiprion autumnalis* (Smith) را بررسی نمودند. هدف از انجام این تحقیق تعیین الگوی توزیع فضایی برخی آفات و دشمنان طبیعی و بررسی تأثیر تراکم و روش کاشت درختان صنوبر روی این پارامتر جمعیتی در کرج می‌باشد تا اطلاعات حاصل در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات و حمایت از دشمنان طبیعی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

مطالعات صحرایی از اوایل پاییز ۱۳۸۱ تا اواخر پاییز ۱۳۸۲ در مرکز تحقیقات البرز واقع در شهرستان کرج انجام شد. این تحقیق در باغی با وسعت تقریبی ۲/۵ هکتار که در سال ۱۳۷۸ و با استفاده از پایه‌های نر و یک‌ساله‌ی صنوبر (*Populus nigra* L. var. *betulifolia*) و یونجه (*Medicago sativa* L.)، رقم همدانی احداث شده بود، اجرا گردید. نحوه‌ی طراحی باغ به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار و سه تکرار بود. تیمارهای مورد نظر عبارت

بودند از تراکم‌های ۸۳۳، ٤۹۸، ٤۱۷ و ۳۳۳ درخت در هکتار (به ترتیب برابر با فواصل کاشت ٤ × ۳، ٦/۷ × ۳، ۸ × ۳ و ۱۰ × ۳ متر) و تیمار صنوبر خالص با تراکم ۸۳۳ درخت در هکتار (فاصله‌ی کاشت ٤ × ۳ متر) که به ترتیب تیمار آگروفارستری ۸۳۳، آگروفارستری ٤۹۸، آگروفارستری ٤۱۷، آگروفارستری ۳۳۳ و صنوبر خالص نامیده می‌شوند. فاصله‌ی بین درختان در هر ردیف سه متر، ابعاد هر کرت ٤۰ × ۳۰ متر، مساحت آن ۱۲۰۰ متر مربع و فاصله‌ی بین هر یک از کرت‌ها و بلوک‌ها نیز چهار متر بود. در تیمارهای آگروفارستری، فواصل بین ردیف‌های درختان توسط ردیف‌های ۶۰ سانتی‌متری یونجه کشت گردیده بودند اما در تیمار صنوبر خالص، یک پوشش گیاهی طبیعی در بین ردیف‌ها وجود داشت.

انواع بندپایان آفت، شکارگر و پارازیتوییدی که در این تحقیق مورد نمونه‌برداری قرار گرفتند عبارت بودند از عنکبوت‌های شکارگر نظیر *Tibellus oblongus* (Walckenaer)، *Magnora acalypha* (Walckenaer) و *Tmarus piochardi* (Simon)، شته‌ی *Rhytidodus* spp. (Homoptera: Aphididae)، زنجرک‌های *Chaitophorus leucomelas* Koch (Homoptera: Cicadellidae) (گونه‌های *R. nobilis* (Fieber) و *R. mccheticus* Dlabola)، زنجرک سوسک چوبخوار صنوبر *Hyalesthes mlokosiewiczi* (Homoptera: Cixiidae)، *Melanophila picta* Pall. (Coleoptera: Buprestidae)، کفشدوزک‌های شکارگر نظیر گونه‌های *Chilocorus bipustulatus* (L.) و *Hippodamia variegata* (Goeze)، بالتوری معمولی *Oenopia conglobata* (L.)، مگس‌های شته‌خوار *Chrysoperla carnea* (Stephens)، *Leucopis* spp. (Diptera: Chamaemyiidae) (گونه‌های *L. annulipes* Zetterstedt و *L. ninae* Tanasijtshuk) و زنبور پارازیتوئید *Adialytus salicaphis* (Fitch) (Hymenoptera: Braconidae).

الف- روش‌های نمونه‌برداری

برای تعیین الگوی توزیع فضایی بندپایان فوق، انواع روش‌های جمع‌آوری برگ صنوبر، مشاهدات تابستانی و زمستانی تنه‌ها و تکانیدن شاخه‌های صنوبر مورد استفاده قرار گرفت. در هر یک از روش‌های مزبور، ابتدا یک نمونه‌برداری اولیه انجام و با استفاده از فرمول‌های

مربوطه، تعداد مناسب نمونه تعیین گردید. همچنین درختان کناری هر کرت جهت کاهش اثرات حاشیه‌ای نمونه‌برداری نشد.

در عملیات جمع‌آوری برگ صنوبر، با توجه به فعالیت شته‌ی *C. leucomelas* و دشمنان طبیعی آن در سطوح فوقانی و تحتانی برگ صنوبر، هر برگ به عنوان واحد نمونه‌برداری انتخاب گردید. روش کار به این ترتیب بود که تعدادی از درختان هر کرت که متناسب با اندازه‌ی نمونه بودند، به طور کاملاً تصادفی انتخاب و پنج برگ از آنها که در جهات مختلف جغرافیایی و ارتفاع ۳-۲ متری از سطح زمین قرار داشتند، جدا شد. تعداد حشرات کامل و افراد نابالغ شته‌ها، کفشدوزک‌ها، بالتوری *C. carnea* و لارو مگس‌های *Leucopis* spp. که در پشت و روی هر برگ فعالیت داشتند، شمارش و ثبت گردید. همچنین شته‌های مومیایی نیز شمارش و کلیه‌ی برگ‌های آلوده به شته جهت بررسی وجود احتمالی زنبور *Adialytus salicaphis* به آزمایشگاه انتقال یافت. این عملیات از پاییز ۱۳۸۱ تا اواخر پاییز ۱۳۸۲ و در زمان حضور شته‌ها در طبیعت هفته‌ای یکبار تکرار گردید.

روش مشاهده‌ی تابستانی تنه‌ها، برای نمونه‌برداری از حشرات کامل و سوراخ‌های لاروی سوسک *M. picta* به کار رفت. چون حشرات کامل این آفت در ساعات گرم و آفتابی روز معمولاً روی تنه‌ی درخت و در حال تغذیه یا جفت‌گیری هستند، سوراخ‌های لاروی روی تنه مشاهده می‌شوند و همچنین به سبب محدودیت قدرت دید، ارتفاع ۲/۵-۰ متری تنه‌ی یک درخت به عنوان واحد نمونه‌برداری انتخاب شد. روش کار به این ترتیب بود که پس از انتخاب تصادفی تعدادی از درختان (متناسب با اندازه‌ی نمونه)، تنه‌ی آنها به مدت یک دقیقه و از طریق مشاهده مستقیم از فاصله‌ی چهل سانتی‌متری بررسی شد و تعداد حشرات کامل یا سوراخ‌های لاروی شمارش و ثبت گردید. نمونه‌برداری حشرات کامل در تاریخ‌های بیست و پنجم خرداد و دوم تیر ماه و نمونه‌برداری سوراخ‌های لاروی نیز در تاریخ‌های هشتم و نهم شهریور ۱۳۸۲ انجام شد. در نمونه‌برداری از سوراخ‌های لاروی، تمام درختان باغ به استثنای ردیف‌های حاشیه‌ای مورد توجه قرار گرفت.

در روش مشاهده‌ی زمستانی تنه‌ها، ارتفاع ۱۸۰-۰ سانتی‌متری تنه‌ی هر درخت به عنوان محل نمونه‌برداری و دو دقیقه مشاهده به عنوان واحد نمونه‌برداری انتخاب و حشرات کامل و

لاروهای زمستان‌گذران کفشدوزک‌ها و عنکبوت‌های شکارگر نمونه‌برداری شد. نمونه‌برداری در تاریخ‌های ۱۲ و ۱۹ اسفند ۱۳۸۱ انجام و طی آن سطح تنه و زیر پوستک‌های آن مورد کاوش قرار گرفت و بندپایان مورد نظر شمارش و ثبت گردید.

در فصول بهار و تابستان، حشرات کامل و پوره‌های زنجرک‌های *Rhytidodus* spp. و حشرات کامل *H. mlokosiewiczi* روی شاخ و برگ درخت فعالیت دارند اما به دلیل تحرک زیاد و کوچکی جثه، نمونه‌برداری آنها با روش‌هایی نظیر مشاهده‌ی مستقیم کار چندان آسانی نیست. بنابراین بایستی از روش‌های مناسب‌تری بهره گرفت و تکانیدن شاخه‌های درختان در داخل تور حشره‌گیری یکی از این شیوه‌هاست. برای نیل به این هدف، ابتدا تعدادی از سرشاخه‌های هفتاد سانتی‌متری درختان صنوبر (واحد نمونه‌برداری) به طور تصادفی انتخاب و در داخل تور حشره‌گیری قرار داده شد. سپس هر شاخه را سه مرتبه با شدت یکسان در داخل تور تکان داده و بعد از خارج نمودن شاخه، انواع زنجرک‌های جمع‌آوری شده در داخل توری به تفکیک گونه شمارش و ثبت گردید. این روش در تاریخ‌های ٤، ۱۲، ۱۳ و ۱۷ تیر ماه ۱۳۸۲ که برابر با اوج فعالیت حشرات مذکور بود، به کار گرفته شد.

ب- اندازه‌ی نمونه

قبل از آغاز نمونه‌برداری لازم است که با انتخاب تعداد نمونه‌ی مناسب، خطای آزمایشی به حد مطلوب رسانیده شود. بنابراین در هر یک از روش‌های نمونه‌برداری ابتدا یک نمونه‌برداری اولیه انجام و سپس با استفاده از داده‌های بدست آمده، مقدار خطای نسبی از رابطه‌ی $RV = (SE/m)\times 100$ تعیین گردید که در این رابطه m میانگین داده‌ها و SE خطای معیار داده‌های نمونه‌برداری اولیه می‌باشد.

فاکتور خطای نسبی، دقت نمونه‌برداری اولیه را نشان می‌دهد و مقدار قابل پذیرش آن در مطالعات مختلف متفاوت است. در تحقیقات مربوط به مدیریت آفت و نیز تعیین الگوی توزیع فضایی حشرات، مقدار RV تا ۲۵٪ نیز قابل قبول می‌باشد (Southwood & Henderson, 2000). بدیهی است اگر مقدار RV از میزان قابل پذیرش بزرگتر باشد، بایستی تعداد نمونه‌های اولیه را افزایش داد. تعداد نمونه از طریق رابطه زیر محاسبه و تعیین گردید:

$$N=\left[\frac{t\times SD}{D\times m}\right]^2$$

پارامتر N، اندازه‌ی مناسب نمونه یا تعداد نمونه‌های لازم برای هر نمونه‌برداری، t مقدار عددی جدول استیودنت بر حسب درجه‌ی آزادی نمونه، SD انحراف معیار داده‌های نمونه‌برداری اولیه، m میانگین داده‌های نمونه‌برداری اولیه و D حداکثر مقدار خطای قابل قبول در نمونه‌برداری است که به صورت اعشاری نوشته می‌شود. با توجه به اهمیت تحقیق حاضر، مقدار خطای قابل قبول و سطح اطمینان به ترتیب ۲۵ و ۹۵ درصد انتخاب گردید.

ج- تعیین الگوی توزیع فضایی

الگوی توزیع فضایی انواع آفات و دشمنان طبیعی از دو روش نسبت واریانس به میانگین($\frac{S^2}{m}$) و روش رگرسیونی تیلور (Taylor's power law) تعیین گردید. شیوه‌ی نخست، یکی از قدیمی‌ترین و ساده‌ترین راه‌های تعیین پراکندگی موجودات است که شاخص پراکندگی (Index of dispersion) نیز نامیده شده و به عقیده بسیاری از محققین یک روش ایده‌آل می‌باشد. در این روش از تمامی داده‌های مربوط به نمونه‌برداری‌های مختلف به صورت یک‌جا استفاده می‌شود.

$$I= \frac{S^2}{m}$$

I شاخص پراکندگی، S^2 و m به ترتیب واریانس و میانگین مجموع داده‌ها می‌باشند. سپس کای اسکویر (Chi-Square) از رابطه‌ی $X^2 = I\ (n-1)$ محاسبه می‌شود که X^2 کای اسکویر مشاهده شده، I شاخص پراکندگی و n تعداد نمونه‌هاست. در نهایت مقدار Z از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$Z = \sqrt{2\chi^2} - \sqrt{(2\nu-1)}$$

X^2 کای اسکویر مشاهده شده و υ درجه‌ی آزادی (n–۱) می‌باشد. چنانچه مقدار عددی پارامتر Z بین ۱/۹۶– و ۱/۹۶+ باشد، در نتیجه فرض صفر یعنی پیروی داده‌ها از توزیع تصادفی تأیید می‌گردد. در غیر این صورت، اگر I > ۱ باشد توزیع تجمعی و چنانچه I < ۱ باشد، از نوع یکنواخت خواهد بود.

روش رگرسیونی اندکی پیشرفته‌تر بوده و از شیب رگرسیون لگاریتم میانگین و لگاریتم واریانس نمونه‌ها برای تعیین توزیع فضایی بهره می‌گیرد. در روش مزبور داده‌های هر تاریخ یا روش نمونه‌برداری به صورت جداگانه در نظر گرفته شده و از آنها استفاده می‌شود:

$\log S^2 = \log a + b \log m$

S^2 واریانس و m میانگین نمونه‌های هر نمونه‌برداری می‌باشد. سپس، مقدار t (t_c) محاسبه می‌گردد:

$$t_c = \frac{b-1}{SE\,b}$$

پارامتر t_c، مقدار محاسبه شده برای t، b شیب خط رگرسیون و SE_b خطای معیار b می‌باشد. فرض صفر این است که توزیع داده‌ها تصادفی است (یعنی b = ۱) اما بایستی به طور آماری آن را آزمود. بنابر این در مرحله‌ی بعد، t جدول با استفاده از درجه‌ی آزادی df = n – ۲ به دست می‌آید. اگر قدر مطلق t_c کوچک‌تر از t جدول باشد، فرض صفر یعنی توزیع تصادفی پذیرفته می‌شود. در غیر این صورت چنانچه b > ۱ توزیع داده‌ها از نوع تجمعی و اگر b < ۱ توزیع یکنواخت خواهد بود. شرط استفاده از روش رگرسیونی این است که حداقل، میانگین و واریانس سه تاریخ یا بلوک نمونه‌برداری موجود باشد. از طرف دیگر، رگرسیون بین لگاریتم میانگین و لگاریتم واریانس نیز از لحاظ آماری بایستی معنی‌دار باشد.

نتایج و بحث

الف– اندازه نمونه

نتایج نمونه‌برداری اولیه و اندازه‌ی نمونه‌ی مربوط به هر یک از روش‌های نمونه‌برداری در جدول ۱ نشان داده شده است. در کلیه روش‌های مذکور مقدار RV در محدوده‌ی قابل قبولی قرار داشت.

جدول ۱. اندازه‌ی نمونه در روش‌های مختلف نمونه‌برداری از درختان صنوبر.

Table 1. Sample size in different sampling methods on poplar trees.

Sample size	D	t-table	RV	n	SD	m	Sampling method
59.90	0.25	2.02	14.30	45	2.15	2.24	Collecting poplar leaves
14.96	0.25	2.09	10.01	21	0.99	2.14	Observation in the summer
18.86	0.25	2.57	18.89	5	0.21	0.49	Observation in the winter
14.64	0.25	2.23	13.56	10	0.23	0.53	Branch shaking

m = mean rate of individuals in primary sampling, SD = Standard deviation, n = number of sampling unites in primary sampling, RV = Relative variation, D = Maximum acceptable variation

ب- الگوی توزیع فضایی

پارامترهای مختلف تعیین توزیع فضایی شته‌ی *C. leucomelas* و سوسک *M. picta* با استفاده از هر دو روش محاسباتی به شرح جدول ۲ است. الگوی توزیع فضایی شته‌ی آفت در هر دو حالت از نوع تجمعی بود و تیمارهای مختلف نیز نقش بسزایی در پراکنش آن ایفا می‌نمود، به طوری که تیمار صنوبر خالص کمترین مقادیر شاخص پراکندگی و شیب خط رگرسیون را به خود اختصاص داده و تغییرات مقدار شاخص پراکندگی و تراکم درختان در تیمارهای مختلف نیز در جهت عکس یکدیگر بود. عدم مشاهده‌ی حشرات کامل سوسک چوبخوار صنوبر در تیمار آگروفارستری ۸۳۳ سبب شد که محاسبه‌ی توزیع فضایی این آفت در تیمار مذکور ممکن نگردد. تیمارهای صنوبر خالص و آگروفارستری ٤٩٨ در هر دو روش محاسبه به ترتیب کمترین و بیشترین مقادیر شاخص پراکندگی و شیب خط رگرسیون را به خود اختصاص می‌داد. الگوی توزیع فضایی تیمارهای آگروفارستری ٤٩٨ و ٤١٧ در هر دو روش محاسباتی، مشابه (تجمعی) و در تیمارهای صنوبر خالص و آگروفارستری ۳۳۳ نیز متفاوت بود. نوع توزیع فضایی سوراخ‌های لاروی آفت با استفاده از روش رگرسیونی فقط برای تیمار آگروفارستری ۸۳۳ انجام شد و در بقیه‌ی تیمارها به خاطر وجود مقادیر زیاد صفر یا معنی‌دار نبودن رگرسیون، این محاسبات قابل انجام نبود. در روش شاخص پراکندگی، رابطه‌ی مستقیمی بین تراکم درختان و مقدار I وجود نداشت. شیوه‌ی کاشت نیز تأثیر بسزایی در نوع توزیع فضایی حشرات کامل داشت به گونه‌ای که مقادیر I و b آفت در تیمار صنوبر خالص از مقادیر مشابه در تمام تیمارهای آگروفارستری کمتر بود. در نمونه‌برداری از سوراخ‌های لاروی، تفاوت فاحشی نیز در مقدار I تیمارهای صنوبر خالص و آگروفارستری ۸۳۳ قابل مشاهده بود.

نوع و پارامترهای مختلف توزیع فضایی زنجرک‌های *Rhytidodus* spp. و *H. mlokosiewiczi* در جدول ۳ دیده می‌شود. نوع الگوی توزیع فضایی زنجرک‌های *Rhytidodus* spp. در هر یک از روش‌های آماری و تیمارهای آزمایشی متفاوت بود. معنی‌دار نبودن معادلات رگرسیونی سبب شد که الگوی توزیع زنجرک‌های اخیر در تیمارهای صنوبر خالص و آگروفارستری ۸۳۳ و نیز کلیه‌ی تیمارهای مربوط به گونه‌ی دیگر، تنها به کمک روش نسبت واریانس به میانگین

تعیین گردد. در این روش، توزیع فضایی زنجرک *H. mlokosiewiczi* در همه تیمارها تجمعی تشخیص داده شد و از طرف دیگر، یک رابطه‌ی تقریباً معکوس میان تراکم درختان و شاخص پراکندگی وجود داشت.

جدول ۲. تعیین الگوی توزیع فضایی شته‌ی *Chaitophorus leucomelas* و سوسک *Melanophila picta* با استفاده از دو روش شاخص پراکندگی و قانون توانی تیلور.

Table 2. Determination of the spatial distribution pattern of *Chaitophorus leucomelas* and *Melanophila picta* using Dispersion index and Taylor's Power Law methods.

Species		Treatment	I	Z	Spatial Distribution Pattern	b	$\lvert t_c \rvert$	t-table	Spatial Distribution Pattern
Chaitophorus	*leucomelas*	Poplar	22.26	325.84	Aggregated	1.39	19.55	2.10	Aggregated
		833	22.83	325.82		1.41	32.22	2.10	
		498	27.65	395.79		1.47	50.83	2.09	
		417	27.77	374.13		1.40	26.47	2.10	
		333	28.97	407.33		1.46	20.19	2.09	
Melanophila picta	Adult insects	Poplar	0.92	-0.53	Random	0.83	17.80	2.35	Uniform
		833	-	-	-	-	-	-	-
		498	7.75	25.76	Aggregated	1.34	7.33	4.30	Aggregated
		417	2.54	8.61	Aggregated	1.28	12.58	2.78	Aggregated
		333	1.72	4.53	Aggregated	0.98	0.28	2.78	Random
	No. of Larval holes	Poplar	1.17	1.81	Random	-	-	-	-
		833	1.30	3.11	Aggregated	0.78	17.83	12.71	Uniform
		498	1.41	3.08	Aggregated	-	-	-	-
		417	1.06	0.48	Random	-	-	-	-
		333	1.21	1.32	Random	-	-	-	-

I = Dispersion index, Z = Standard normal deviate, b = slope of regression line, t_c = Calculated value of t

تأثیر بسزای شیوه‌ی کاشت در نمونه‌برداری *Rhytidodus* spp. محرز بوده و بیشترین و کمترین مقادیر I به ترتیب در تیمارهای صنوبر خالص و آگروفارستری ۸۳۳ دیده شد. علاوه بر این، نوع توزیع فضایی تیمارهای مذکور به ترتیب تجمعی و تصادفی بود. گرچه توزیع فضایی *H. mlokosiewiczi* در هر دو نوع روش کاشت مشابه بود اما مقدار I تیمارهای صنوبر خالص و آگروفارستری ۸۳۳ تفاوت زیادی داشت.

با دقت در جدول ٤ نتیجه‌گیری می‌شود که در اغلب موارد با کاهش تراکم درختان، بر مقدار شاخص پراکندگی کفشدوزک‌های شکارگر (Coccinellidae) افزوده می‌شود. پایین بودن تراکم این حشرات (در کلیه تیمارها) و معنی‌دار نبودن رگرسیون (در تیمار آگروفارستری ٤٩٨) سبب شد که نوع الگوی توزیع آنها به ترتیب در هر یک از روش‌های نمونه‌برداری برگ صنوبر و مشاهده زمستانی تنه‌ها فقط با استفاده از شاخص پراکندگی تعیین شود.

نمونه‌برداری از بالتوری *C. carnea* نشان داد که تیمار آگروفارستری ٤٩٨ بیشترین مقادیر شاخص پراکندگی و شیب خط رگرسیون را داشته و توزیع آن از نوع تجمعی بود. در روش رگرسیونی تیلور، هر سه نوع توزیع فضایی (تجمعی، تصادفی و یکنواخت) در تیمارهای مختلف مشاهده گردید. در بالتوری مورد نظر، مقادیر شاخص پراکندگی و شیب خط رگرسیون عموماً نزدیک به یکدیگر و کمتر از یک محاسبه شد. به بیان دیگر، تیمارهای آزمایشی مختلف تأثیر چندانی بر پارامترهای مهم توزیع فضایی نداشت. معنی‌دار نبودن رگرسیون سبب شد تا تعیین الگوی توزیع فضایی مگس‌های شته‌خوار *Leucopis* spp. در تیمار صنوبر خالص به کمک روش رگرسیونی تیلور عملی نباشد اما در روش دیگر، توزیع آن از نوع تجمعی تشخیص داده شد (جدول ٥). سایر تیمارها در روش‌های شاخص پراکندگی و رگرسیونی تیلور به ترتیب دارای توزیع تصادفی و یکنواخت بودند. در روش رگرسیونی، الگوی توزیع فضایی زنبور پارازیتوید *A. salicaphis* در تیمارهای آگروفارستری ٤٩٨ و ٤١٧ یکنواخت بود و در سایر تیمارها نیز محاسبات قابل انجام نبود. تیمار آگروفارستری ۸۳۳ نسبت به تیمارهای دیگر، بیشترین مقدار شاخص پراکندگی را داشته و توزیع فضایی آن از نوع تجمعی به دست آمد. همانطور که در جدول ٥ دیده می‌شود، تفاوت مقادیر Z در سایر تیمارها ناچیز بود. علاوه بر این، روند تغییرات تراکم درختان و مقدار Z هم‌سو بود. به استثنای

تیمارهای صنوبر خالص و آگروفارستری ۳۳۳ (روش رگرسیونی) که رگرسیون آنها معنی‌دار نبود، کلیه‌ی تیمارها در هر دو روش محاسباتی دارای توزیع تصادفی بودند. تیمار آگروفارستری ۸۳۳ نیز نسبت به تیمارهای آگروفارستری ٤۹۸ و ٤۱۷ کمترین مقادیر شاخص پراکندگی و شیب خط رگرسیون را به خود اختصاص داد.

تحقیقات نشان داده است که واکنش موجودات زنده نسبت به تغییر سیستم کشت، کاملاً وابسته به نوع گونه‌های گیاهی و رفتار گونه‌های جانوری است (Hooks & Johnson, 2003). آزمایش‌های Coll & Bottrell (1995) نشان داد که واکنش‌های مستقل آفات و دشمنان طبیعی آنها نسبت به عوامل مختلف زنده و غیر زنده موجود در محیط سبب می‌شود که تشخیص اهمیت زیستگاه در تنوع و فراوانی موجودات و همچنین توزیع فضایی آنها به سختی میسر گردد. یافته‌های این تحقیق نیز مطالب فوق را تأیید می‌کنند.

نتایج دیگری که درباره‌ی شته‌های *Aphis gossypii* Glover، *Chromaphis juglandicola* (Kaltenbach)، *Diuraphis noxia* (Mordvilko)، *Eriosoma lanigerum* Hausm.، *M. sanborni* (Gillette)، *Metopolophium dirhodum* Walke، *M. persicae* (L.)، *Macrosiphum rosae* Riley، *Pemphigus populitransversus* (L.) و *Rhopalosiphum padi* (Fabricius) بدست آمده است، با یافته‌های این تحقیق تطابق دارد (Royer & Edelson, 1991; Feng & Nowierski, 1992; Asante *et al.*, 1993; Boeve & Weiss, 1998). البته نتایجی که برای شته‌ی *Schizaphis graminum* (Rond.) منتشر شده است خاطر نشان می‌سازد که توزیع این آفت به‌صورت تصادفی است (Boeve & Weiss, 1998). یافته‌های Cappuccino (1987) نشان داد که الگوی توزیع تجمعی *Uroleucon nigrotuberculatum* (Olive) از تجمع فعال افراد بال‌دار و عدم پراکنش افراد بی‌بال و پوره‌ها ناشی می‌شود. به‌نظر می‌رسد که چنین پدیده‌ای در بروز توزیع تجمعی *C. leucomelas* نیز نقش داشته باشد. از سوی دیگر، Helenius (1989) هم خاطر نشان می‌سازد که الگوی توزیع فضایی شته *R. padi* در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص اندکی تجمعی‌تر است که با یافته‌های تحقیق حاضر مطابقت دارد.

شیب خط رگرسیون (b) شته‌ی *C. leucomelas* در تیمارهای مختلف بین ۱/۴۷–۱/۳۹ قرار داشت که کمتر از مقادیر محاسبه شده برای شته‌های *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) و

جدول ۳. تعیین الگوی توزیع فضایی زنجرک‌های *Rhytidodus* spp. و *Hyalesthes mlokosiewiczi* با استفاده از دو روش شاخص پراکندگی و قانون توانی تیلور.

Table 3. Determination of spatial distribution pattern of *Rhytidodus* spp. and *Hyalesthes mlokosiewiczi* using dispersion index and Taylor's Power Law methods.

Species	Treatment	I	Z	Spatial Distribution Pattern	b	$\lvert t_c \rvert$	t-table	Spatial Distribution Pattern
Rhytidodus spp.	Poplar	1.93	7.39	Aggregated	–	–	–	–
	833	1.08	0.75	Random	–	–	–	–
	498	1.39	3.43	Random	1.37	23.20	4.30	Aggregated
	417	1.18	1.69	Aggregated	0.08	8.70	4.30	Uniform
	333	1.38	3.32	Aggregated	1.40	6.14	4.30	Aggregated
Hyalesthes mlokosiewczi	Poplar	1.93	7.38	Aggregated	–	–	–	–
	833	1.37	3.27		–	–	–	–
	498	1.74	6.08		–	–	–	–
	417	1.95	7.55		–	–	–	–
	333	1.95	7.51		–	–	–	–

I = Dispersion index, Z = Standard normal deviate, b = slope of regression line, t_c = Calculated value of t.

جدول ٤. تعیین الگوی توزیع فضایی کفشدوزک‌های شکارگر و بالتوری *Chrysoperla carnea* با استفاده از دو روش شاخص پراکندگی و قانون توانی تیلور.

Table 4. Determination of spatial distribution pattern of coccinellids and *Chrysoperla carnea* using Dispersion index and Taylor's Power Law methods.

Species	Treatment	I	Z	Spatial Distribution Pattern	b	$\lvert t_{ل} \rvert$	t-table	Spatial Distribution Pattern
Coccinellidae	Poplar	1.32	5.84	Aggregated	1.07	1.18	2.45	Random
	833	1.19	3.48	Aggregated	1.31	2.63	2.57	Aggregated
	498	1.28	5.45	Aggregated	–	–	–	–
	417	1.30	5.56	Aggregated	0.10	28.62	2.36	Uniform
	333	1.09	1.87	Random	1.01	0.32	2.26	Random
	Poplar	2.03	5.10	Aggregated	–	–	–	–
	833	2.86	8.27		–	–	–	–
	498	1.70	3.65		–	–	–	–
	417	2.07	5.29		–	–	–	–
	333	2.17	5.67		–	–	–	–
Chrysoperla carnea	Poplar	0.97	-0.60	Random	0.89	18.87	2.31	Uniform
	833	0.99	-0.23	Random	0.89	7.09	2.20	Uniform
	498	1.18	3.63	Aggregated	1.06	2.95	2.23	Aggregated
	417	1.04	0.79	Random	0.97	0.68	2.23	Random
	333	0.98	-0.3	Random	0.94	27.08	2.57	Uniform

Collecting poplar leaves

Observation in the winter

I = Dispersion index, Z = Standard normal deviate, b = slope of regression line, t_c = Calculated value of t.

جدول ۵. تعیین نوع الگوی توزیع فضایی برخی دشمنان طبیعی با استفاده از دو روش شاخص پراکندگی و قانون توانی تیلور.

Table 5. Determination of spatial distribution pattern of some natural enemies using Dispersion index and Taylor's Power Law methods.

Species	Treatment	Z	I	Spatial Distribution Pattern	b	$\|t_c\|$	t-table	Spatial Distribution Pattern
Leucopis spp.	Poplar	3.55	1.19	Aggregated	_	_	_	-
	833	-0.14	0.99	Random	0.94	8.73	4.30	Uniform
	498	-0.52	0.97	Random	0.93	32.89	2.31	Uniform
	417	-0.37	0.98	Random	0.92	76.31	2.45	Uniform
	333	-0.23	0.99	Random	0.96	35.34	2.57	Uniform
Adialytus salicaphis	Poplar	-0.09	0.99	Random	_	_	_	_
	833	9.19	1.53	Aggregated	_	_	_	_
	498	-0.28	0.99	Random	0.93	49.43	2.45	Uniform
	417	-0.17	0.99	Random	0.94	13.01	2.78	Uniform
	333	-0.08	0.99	Random	_	_	_	_
Araneae	Poplar	-0.04	0.99	Random	_	_	_	_
	833	0.13	1.01		1.02	0.47	3.18	Random
	498	1.84	1.32		1.09	1.86	4.30	Random
	417	0.93	1.15		1.14	1.79	4.30	Random
	333	-0.21	0.96		_	_	_	_

I = Dispersion index, Z = Standard normal deviate, b = slope of regression line, t_c = Calculated value of t.

Acyrthosiphon pisum Harris است (Maiteki & Lamb, 1987; Wise & Lamb, 1995). Kuo (1999) نیز مقدار b شته *M. persicae* را در پنج رقم مختلف سیب زمینی بین ۲-۱ بدست آورد.

توزیع فضایی زنجرک *Erythroneura sudra* (Distant) و همچنین زنجره‌ی *Diceroprocta apache* Davis از نوع تجمعی تشخیص داده شده است (Ellingson & Anderson, 2002; Zou *et al.*, 2003) که یافته‌های تحقیق حاضر در زمینه گونه‌های مورد مطالعه را تأیید می‌نماید. محققان دیگر نیز الگوی توزیع تجمعی برای کفشدوزک‌های شکارگر را گزارش کرده‌اند که تا حدودی با یافته‌های این تحقیق همخوانی دارد (Young & Willson, 1987). توزیع فضایی بالتوری *C. carnea* در تیمار آگروفارستری ٤٩٨ با استفاده از هر دو روش محاسباتی از نوع تجمعی بود که یافته‌های پژوهشی دیگر نیز آن را تأیید می‌کنند (Young & Willson, 1987; Jafari *et al.*, 2005). در غالب اوقات، الگوی توزیع فضایی مگس‌های شته‌خوار *Leucopis* spp.، زنبور *A. salicaphis* و عنکبوت‌های شکارگر در روش‌های نسبت واریانس به میانگین و رگرسیونی به ترتیب از نوع تصادفی و یکنواخت بود. چنین مشاهده‌ای احتمالاً از تراکم کم حشرات مفید در تیمارهای آزمایشی ناشی شده و سبب می‌گردد که تفاوت بین تیمارهای مختلف نامحسوس باشد. الگوی توزیع تصادفی قبلاً برای دو گونه‌ی دیگر از پارازیتوییدها نیز به اثبات رسیده است (Feng *et al.*, 1993; Ferguson *et al.*, 2000).

با توجه به مشاهدات حاضر و فراوانی بندپایان تحت مطالعه در هر یک از تیمارهای آزمایشی مشخص می‌شود که روش کاشت و تراکم درخت صنوبر نقش عمده‌ای در تعیین الگوی توزیع فضایی بندپایان ایفا می‌نماید. از طرف دیگر، توزیع فضایی انواع دشمنان طبیعی غالباً به‌صورت کامل تابعی از توزیع فضایی آفات نیست. از جمله دلایل این امر می‌توان به پایین بودن نرخ رشد جمعیت شکارگرها و جمعیت آنها و نیز قدرت جستجوی زیادشان در مقایسه با آفات اشاره نمود (Pedigo & Buntin, 1994).

سپاسگزاری

نگارندگان از خانم دکتر فریبا مظفریان عضو محترم هیأت علمی موسسه‌ی تحقیقات آفات و بیماری‌های گیاهی، آقایان دکتر Jacek Szwedo از آکادمی علوم لهستان، Rolamd

Muehlethaler از موزه‌ی تاریخ طبیعی سوئیس و Peter Starý از آکادمی علوم جمهوری چک برای شناسایی و تأیید نمونه‌ها قدردانی می‌کنند. از کلیه همکاران مرکز تحقیقات البرز کرج که امکانات لازم را در اختیار قرار دادند نیز تشکر به‌عمل می‌آید.

منابع

Asante, S. K., Danthanarayana, W. & Carins, S. C. (1993) Spatial and temporal distribution patterns of *Eriosoma lanigerum* (Homoptera: Aphididae) on apple. *Environmental Entomology* 22, 1060-1065.

Boeve, P. J. & Weiss, M. (1998) Spatial distribution and sampling plans with fixed levels of precision for cereal aphids (Homoptera: Aphididae) infesting spring wheat. *The Canadian Entomologist* 130, 67-77.

Cappuccino, N. (1987) Comparative population dynamics of two goldenrod aphids: spatial patterns and temporal constancy. *Ecology* 68, 1634-1646.

Coll, M. & Bottrell, D. G. (1995) Predator-prey associations in mono- and dicultures: effect of maize and bean vegetation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 54, 115-125.

Dix, M. E., Johnson, R. J., Harrell, M. O., Case, R. M., Wright, R. J., Hodges, L., Brandle, J. R., Schoenberger, M. M., Sunderman, N. J., Fitzmaurie, R. L., Young, L. J. & Hubbard, K. G. (1995) Influence of trees on abundance of natural enemies of insect pests: a review. *Agroforestry Systems* 29, 303-311.

Ellingson, A. R. & Anderson, D. C. (2002) Spatial correlations of *Diceroprocta apache* and its host plants: evidence for a negative impact from *Tamarix* invasion. *Ecological Entomology* 27, 16-24.

Faleiro, J. R., Kumar, J. A. & Rangneker, P. A. (2002) Spatial distribution of red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* Oliv. (Coleoptera: Curculionidae) in coconut plantations. *Crop Protection* 21, 171-176.

Feng, M. G. & Nowierski, R. M. (1992) Spatial distribution and sampling plans for four species of cereal aphids (Homoptera: Aphididae) infesting spring wheat in southwestern Idaho. *Journal of Economic Entomology* 85, 830-837.

Feng, M. G., Nowierski, R. M. & Zeng, Z. (1993) Populations of *Sitobion avenae* and *Aphidius ervi* on spring wheat in northwestern United States: spatial distribution and sequential sampling plans based on numerical and binomial counts. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 67, 109-117.

Ferguson, A. W., Klukowski, Z., Walczak, B., Perry, J. N., Mugglestone, M. A., Clark, S. J. & Williams, I. H. (2000) The spatio-temporal distribution of adult *Ceutorhynchus assimilis* in a crop of winter oilseed rape in relation to the distribution of their larvae and that of the parasitoid *Trichomalus perfectus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 95, 161-171.

Floater, G. J. & Zalucki, M. P. (2000) Habitat structure and egg distributions in the processionary caterpillar *Ochrogaster lunifer*: lessons for conservation and pest management. *Journal of Applied Ecology* 37, 87-99.

Helenius, J. (1989) The influence of mixed intercropping of oats with field beans on the abundance and spatial distribution of cereal aphids (Homoptera, Aphididae). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 25, 53-73.

Hemptinne, J. L., Dixon, A. F. G. & Coffin, J. (1992) Attack strategy of ladybird beetles (Coccinellidae): factors shaping their numerical response. *Oecologia* 90, 238-245.

Honek, A. (1988) The effect of crop density and microclimate on pitfall trap catchs of Carabidae, Staphylinidae (Coleoptera), and Lycosidae (Araneae) in cereal fields. *Pediobiologia* 32, 233-242.

Hooks, C. R. R. & Johnson, M. W. (2003) Impact of agricultural diversification on the insect community of cruciferous crops. *Crop Protection* 22, 223-238.

Hughes, G. (1996) Incorporating spatial pattern of harmful organisms into crop loss models. *Crop Protection* 15, 407-421.

Jafari, A., Fathipour, Y. & Hosseini, S. M. (2005) Sampling programme and spatial distribution of *Creontiades pallidus* (Het., Miridae) and its predators *Chrysoperla carnea* (Neu., Chrysopidae) and *Nabis capsiformis* (Het., Nabidae). *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 36, 295-303. [In Persian with English summary].

Jarosik, V., Honek, A. & Dixon, A. F. G. (2003) Natural enemy ravine revisited: the importance of sample size for determining population growth. *Ecological Entomology* 28, 85-91.

Kuo, M. H. (1999) Spatial distribution of the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer), in a potato field. *Chinese Journal of Entomology* 12, 63-69.

Maiteki, G. A. & Lamb, R. J. (1987) Sequential decision plan for control of pea aphid, *Acyrthosiphon pisum* (Homoptera: Aphididae), on field peas in Manitoba. *Journal of Economic Entomology* 80, 605-607.

McMillin, J. D. & Wagner, M. R. (1998) Influence of host plant vs. natural enemies on the spatial distribution of a pine sawfly, *Neodiprion autumnalis*. *Ecological Entomology* 23, 397-408.

Pedigo, L. P. & Buntin, G. D. (1994) *Handbook of sampling methods for arthropods in agriculture*. 714 pp. CRC Press.

Rao, M. R., Singh, M. P. & Day, R. (2000) Insect pest problems in tropical agroforestry systems: contributory factors and strategies for management. *Agroforestry Systems* 50, 243-277.

Royer, T. A. & Edelson, J. V. (1991) Seasonal abundance and within-field dispersion patterns of poplar petiolegall aphid (Homoptera: Aphididae) in cabbage and broccoli. *Environmental Entomology* 20, 1267-1273.

Southwood, T. R. E. & Henderson, P. A. (2000) *Ecological methods*. 3rd ed., 575 pp. Blackwell Science.

Winder, L., Perry, J. N. & Holland, J. M. (1999) The spatial and temporal distribution of the grain aphid *Sitobion avenae* in winter wheat. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 93, 277-.290.

Wise, L. & Lamb, R. J. (1995) Spatial distribution and sequential sampling methods for the potato aphid, *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Homoptera: Aphididae), in oilseed flax. *The Canadian Entomologist* 127, 967-976.

Wratten, S. D., Bowie, M. H., Hickman, J. M., Evans, A. M., Sedcole, J. R. & Tylianakis, J. M. (2003) Field boundaries as barriers to movement of hover flies (Diptera: Syrphidae) in cultivated land. *Oecologia* 134, 605-611.

Young, J. H. & Willson, L. J. (1987) The use of Bose-Einstein statistics in population dynamics models of arthropods. *Ecological Modeling* 37, 456-467.

Zou, Y., Zhou, X., Bi, S., Li, L., Gao, C. & Ding, C. (2003) Three-dimentional distribution pattern dynamics of *Erythroneura sudra* and its natural enemy *Erigonidum graminicola*. *The Journal of Applied Ecology* 14, 1485-1488.