

麦红吸浆虫及其卵寄生蜂混合种群空间格局*

苗进 武予清** 郁振兴 陈华爽 蒋月丽 段云

(河南省农业科学院植物保护研究所, 郑州 450002)

摘要 运用地统计学方法对不同时期麦红吸浆虫及其卵寄生蜂混合种群(宽腹姬小蜂和尖腹黑蜂)的空间格局进行了分析. 结果表明: 麦红吸浆虫休眠体的半变异函数的最优模型为球型, 成虫的最优模型为球型-指数型, 幼虫最优模型为线性有基台型, 卵寄生蜂混合种群半变异函数的最优模型为球型-指数型. 麦红吸浆虫休眠体、成虫羽化初期、成虫羽化高峰期、幼虫和卵寄生蜂混合种群的空间相关范围分别为 53.6、190.6、154.1、4.2 和 280.3 m, 空间变异强度分别为 30.5%、95.6%、96.3%、14.9% 和 95.3%. 采用普通克立格插值法模拟的空间分布模拟图可较好地分别从时间、空间两个角度直观地分析不同时期麦红吸浆虫及其卵寄生蜂混合种群的动态变化.

关键词 麦红吸浆虫 卵寄生蜂混合种群 地统计学 空间结构 模拟

文章编号 1001-9332(2011)03-0779-06 **中图分类号** S431.9 **文献标识码** A

Spatial pattern of *Sitodiplosis mosellana* and its egg parasitoids mixed population. MIAO Jin, WU Yu-qing, YU Zhen-xing, CHEN Hua-shuang, JIANG Yue-li, DUAN Yun (*Institute of Plant Protection, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2011, 22(3): 779-784.

Abstract: Geostatistics methods were adopted to analyze the spatial pattern of *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae) at its different development periods and of its egg parasitoids mixed population (*Tetrastichus* sp. and *Platygaster error*; Hymenoptera: Eulophidae and Platygasteridae). The aggregated spatial arrangements for *S. mosellana* cocoon, adult, and larva and for egg parasitoids mixed population could be well described by spherical model, spherical-exponential model, linear sill model, and spherical-exponential model, respectively. The spatial dependence range of *S. mosellana* cocoon, adult at initial emergence period, adult at peak emergence period, and larva, and of egg parasitoids mixed population was 53.6, 190.6, 154.1, 4.2 and 280.3 m, and the aggregation intensity was 30.5%, 95.6%, 96.3%, 14.9% and 95.3%, respectively. The simulated maps of the spatial distribution produced by Kriging model could intuitively analyze the dynamic changes of *S. mosellana* at its different development periods and of egg parasitoids mixed population from the two aspects of time and space.

Key words: *Sitodiplosis mosellana*; egg parasitoids mixed population; geostatistics; spatial structure; simulation.

昆虫种群密度通常具有空间异质性特征, 了解种群的空间分布格局和动态对于制定合理的抽样计划、明确捕食与被捕食的关系、理解种内竞争以及确定区域害虫管理策略都有重要意义^[1-2]. 昆虫种群空间分布的经典分析方法是以前以纯随机变量为研究对象, 假定不同位置的样点相互独立, 各样点间不存在空间相关性^[3]. 事实上, 在大多数情况下, 空间因

子, 尤其是生物因子在空间并不是两两独立, 而是具有一定的相互依赖关系, 这种关系与空间因子所处的空间位置密切相关. 在空间上, 两因子所处的空间位置越接近, 它们的相互依赖性就越密切. 因此, 采用经典统计学进行昆虫空间格局分析具有局限性^[4-5]. 应用地理统计学方法分析昆虫空间格局则可以避免上述问题, 是真正意义上的空间格局分析. 地理统计学提供了从抽样到未取样样点估计的一整套方法, 可以很好地分析和描述生物种群个体之间、种群与种群之间、种群与环境因子间的空间分布格

* 国家现代农业产业技术体系建设专项资金(nycytx-03)资助.

** 通讯作者. E-mail: yuqingwu36@hotmail.com

2010-08-09 收稿, 2010-12-07 接受.

局、空间相互关系和空间的依赖性. 配合 Kriging 估计方法对未抽样位置进行最佳估计, 可得到因子在空间的完整分布图式^[6].

麦红吸浆虫 (*Sitodiplosis mosellana*) 是我国乃至世界上重要的小麦害虫. 2000 年以来其在我国的发生面积大幅回升, 发生区域不断北移. 有资料表明, 2007 年全国小麦吸浆虫发生面积达 $266.67 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 对我国小麦生产构成严重威胁^[7]. 麦红吸浆虫年生 1 代或多年完成一代, 以末龄幼虫在土壤中结茧越冬或越夏. 目前, 我国麦红吸浆虫的监测主要依靠农业部 2002 年发布的《小麦吸浆虫测报调查规范》^[8] 的淘土方法, 辅以成虫网捕监测. 该方法工作强度大、技术复杂、过程繁琐、效率低下, 虽然准确但难以普及, 导致许多小麦麦红吸浆虫发生区域出现漏查现象^[7]. 近年来的研究表明, 用黄色粘虫板监测小麦麦红吸浆虫成虫数量具有良好效果^[7,9].

了解害虫的区域性空间分布格局和发生动态是进行害虫宏观管理的前提和基础^[10]. 为克服过去空间格局传统研究方法的缺陷, 以及由此造成的结果不够准确, 本文应用地统计学方法研究麦红吸浆虫休眠体、成虫和幼虫及其卵寄生蜂混合种群 (宽腹姬小蜂 *Tetrastichus* sp. 和尖腹黑蜂 *Platygaster error*)^[11] 的空间分布, 并模拟了不同时期麦红吸浆虫及其卵寄生蜂混合种群的空间分布, 旨在揭示其空间种群动态信息及变化规律, 为深入研究麦红吸浆虫种群的分布扩展及区域化预测分析提供重要依据.

1 材料与方法

1.1 调查地点与取样方法

于河南省洛阳市洛宁县孙洞村选取一块麦红吸浆虫常年发生较重的麦田作为调查地点, 麦田东西长 170 m, 南北宽 110 m, 种植品种为“周麦 18”. 以 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 栅格式均匀布设取样点, 共设置 187 个取样点. 2010 年 4 月 9 日小麦返青后, 在每个样点处各取一个样方 ($10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$) 的土壤, 分别放在塑料袋中并做好标记. 用淘土法^[12] 调查每样方中吸浆虫休眠体 (茧) 的数量, 记录结果用于麦红吸浆虫休眠体空间格局的分析. 2010 年 5 月 1 日 (麦红吸浆虫羽化初期) 和 5 月 7 日 (羽化高峰期), 在每个取样点设置黄色粘虫板 ($150 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$), 粘虫板上沿与麦穗等高 (吸浆虫成虫多在麦穗间飞行产卵), 悬挂 2 d 后调查并记录每块粘虫板上吸浆

虫成虫和卵寄生蜂混合种群的数量, 结果用于麦红吸浆虫成虫和卵寄生蜂混合种群空间格局的分析^[11]. 2010 年 5 月 24 日小麦成熟前, 在每个取样点取 5 株麦穗, 分别放入自封袋中做好标记, 带回实验室后将麦穗小心剥开, 统计麦红吸浆虫幼虫的数量并记录, 结果用于麦红吸浆虫幼虫空间格局分析.

1.2 分析方法

根据区域化变量理论^[13], 在空间上昆虫种群数量是区域化变量, 因此可用区域化变量理论和方法进行研究, 本文通过计算麦红吸浆虫及其卵寄生蜂混合种群的试验半变异函数, 拟合半变异函数模型, 分析半变异函数的结构来描述它们的空间格局及空间相关关系. 对于观测的数据系列 $Z(x_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$, 样本半变异函数值 $r(h)$ 可用下式计算^[14]:

$$r(h) = [1/2N(h)] \sum [Z(x_i) - Z(x_{i+h})]^2$$

式中: $r(h)$ 为相距为 h 的半方差值; $Z(x_i)$ 和 $Z(x_{i+h})$ 分别为相距 h 的两样本的测量值; $N(h)$ 为间隔为 h 的样本点的对数. 半变异函数有 4 个重要参数, 即偏基台值 (C)、块金值 (C_0)、基台值 ($C+C_0$) 和变程 (a), 它们决定半变异函数的形状、结构. 半变异函数的形状反映了昆虫种群的空间分布结构或空间相关类型, 同时还能给出这种空间相关的范围. 拟合半变异函数 $r(h)$ 常用的理论模型有直线型、抛物线型、球型、指数型和高斯型. DPS 9.0 标准版的地理统计方法中用来拟合实际变异曲线图的模型还有: 球型-球型套合模型、球型-指数套合模型和线性有基台模型等^[14-15]. 模型的方程式分别为^[15]:

球型模型:

$$r(h) = a_0 + a_1 h + a_3 h_3$$

线性有基台模型:

$$r(h) = \begin{cases} C_0 & h = 0 \\ C_0 + Ah & 0 < h \leq a \\ C_0 + C & h > a \end{cases}$$

球型-指数套合模型:

$$r(h) = \begin{cases} 0 & h = 0 \\ C_0 + C_1 [(3/2)(h/a_1) - (1/2) \\ (h^3/a_1^3)] + C_2(1 - e^{-h/a_1}) & 0 < h \leq a_1 \\ C_0 + C_1 + C_2(1 - e^{-h/a_1}) & a_1 < h \leq a_2 \\ C_0 + C_1 + C & h > a_2 \end{cases}$$

球型 - 球型套合模型:

$$r(h) = \begin{cases} 0 & h = 0 \\ C_0 + (3/2)(C_1/a_1 + C_2/a_2) \\ h - (1/2)(C_1/a_1^3 + C_2/a_2^3)h^3 & 0 < h \leq a_1 \\ C_0 + C_1 + C_2[(3/2)h/a_2 + \\ (1/2)(h/a_2)^3] & a_1 < h \leq a_2 \\ C_0 + C_1 + C_2 & h > a_2 \end{cases}$$

根据构建的半变异函数模型进行 Kriging 插值计算, 采用 Ordinary Kriging 插值法生成空间分布图, 并对不同时期不同种群的 Kriging 插值进行相关性分析. 插值、插值图以及空间分布的相关性分析在 DPS 9.0 软件平台的 geostatistical analysis 模块支持下进行.

2 结果与分析

2.1 系统观测资料的统计特征值

试验地 187 个取样点麦红吸浆虫休眠体的发生量在每样方 0~38 头, 羽化初期麦红吸浆虫成虫的发生量在每板 0~12 头, 羽化高峰期发生量在每板 0~105 头, 卵寄生蜂发生量在每板 0~189 头, 四者的平均值±标准差分别为每样方 (9.6±7.0) 头以及每板 (1.6±1.7) 头、(11.3±15.0) 头和 (21±26.1) 头.

2.2 麦红吸浆虫的半变异函数与空间格局

应用 DPS 统计分析软件分析比较后得出, 麦红吸浆虫休眠体半变异函数的最优模型为球型, 成虫羽化初期和高峰的最优模型均为球型-指数型, 幼虫最优模型为线性有基台型, 说明不同时期不同虫态的麦红吸浆虫均表现为聚集格局 (图 1).

对不同时期麦红吸浆虫种群数量空间分布结果的分析表明, 麦红吸浆虫休眠体半变异函数在 53.6 m 时达到基台值, 表明其空间依赖性距离为 53.6 m; 麦红吸浆虫成虫在羽化初期和高峰期半变异函数分别在 190.6 m 和 154.1 m 时达到基台值, 其空间依赖性距离分别为 190.6 m 和 154.1 m; 麦红吸浆虫幼虫半变异函数在 4.2 m 时达到基台值, 表明其变程为 4.2 m. 不同时期不同虫态的麦红吸浆虫在田间均表现为明显的聚集分布, 在空间上的分布具有连续性, 其强度随着距离的增加而减小. 麦红吸浆虫成虫在羽化初期和高峰期连续性强度值分别为 95.6% 和 96.3%, 表明成虫种群在田间呈高度聚集分布状态; 休眠体和幼虫的连续性强度值分别为 30.5% 和 14.9%, 表明休眠体和幼虫在田间呈弱

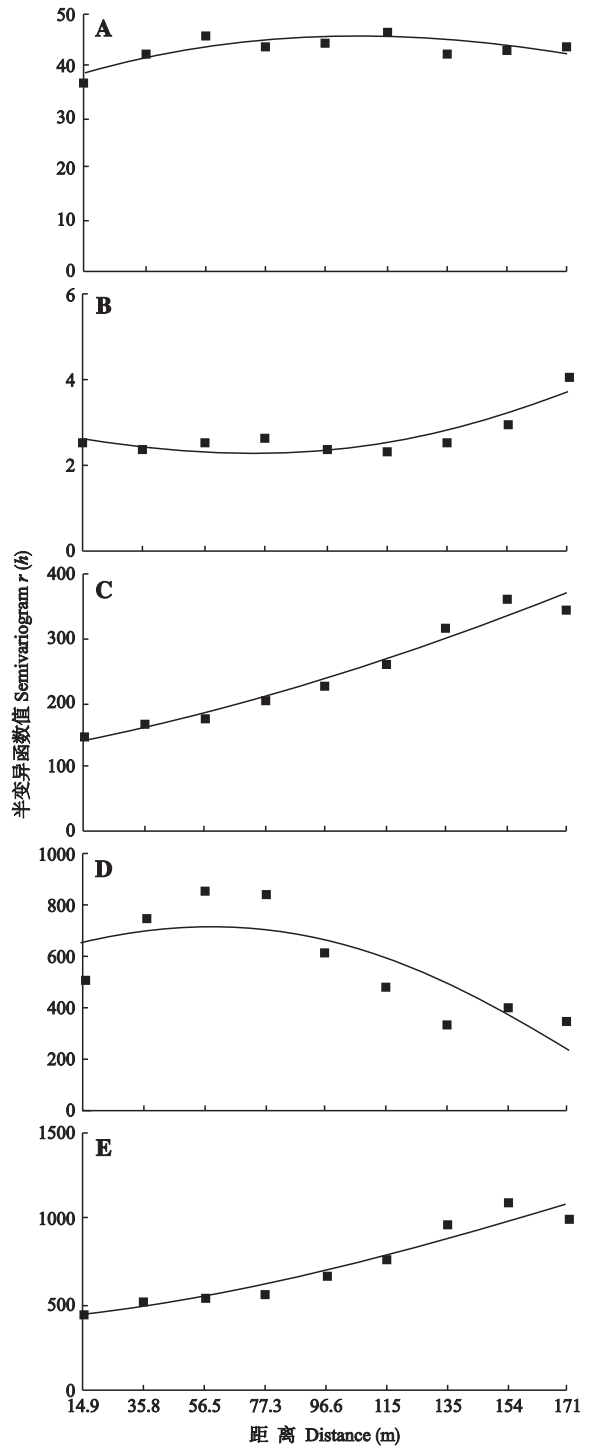


图 1 不同时期麦红吸浆虫及其卵寄生蜂种群的半变异函数曲线

Fig. 1 Semivariograms of populations of both *Sitodiplosis moselana* and associated egg parasitoids.

A: 休眠体 Cocoon; B: 成虫 (羽化初期) Adults (initial emergence period); C: 成虫 (羽化高峰期) Adults (peak emergence period); D: 幼虫 Larvae; E: 卵寄生蜂 Egg parasitoids. 下同 The same below.

聚集分布状态 (表 1).

2.3 麦红吸浆虫卵寄生蜂混合种群半变异函数与空间格局

麦红吸浆虫卵寄生蜂混合种群在吸浆虫羽化初

表 1 不同时期麦红吸浆虫及其卵寄生蜂空间格局的半变异函数模型参数

Table 1 Parameters of semivariograms model for spatial pattern of *Sitodiplosis mosellana* and associated egg parasitoids at different periods

日期 Date	虫态 Stage	模型类型 Model type	C_0	C	$C+C_0$	a (m)	R^2	随机程度 Variance $C/(C+C_0)$ (%)
04-09	越冬休眠体 Cocoon	球型 Spherica	31.09	13.67	44.76	53.6	0.81	30.5
05-01	成虫(羽化初期) Adults (initial emergence period)	球型-指数 Spherical-exponential	1.88	40.74	42.62	190.6	0.90	95.6
05-07	成虫(羽化高峰) Adults (peak emergence period)	球型-指数 Spherical-exponential	142.85	3704.45	3847.30	154.1	0.97	96.3
05-24	幼虫 Larvae	线性有基台型 Linear sill	571.24	99.65	670.89	4.2	0.76	14.9
05-07	卵寄生蜂 Egg parasitoids	球型-指数 Spherical-exponential	614.75	12401.61	13016.36	280.3	0.79	95.3

期数量较少,故未进行分析.在麦红吸浆虫成虫羽化高峰期,卵寄生蜂混合种群半变异函数曲线见图 1E.麦红吸浆虫卵寄生蜂混合种群半变异函数的最优模型为球型-指数型,表明其在田间呈聚集分布.卵寄生蜂半变异函数在 280.3 m 时达到基台值,表明其空间依赖性距离为 280.3 m,在该距离范围内,任意两点间寄生蜂数量都存在一定的空间相关或依赖关系.卵寄生蜂田间分布的连续性强度值为 95.3%,表明其种群在田间呈高度聚集分布状态(表 1).

2.4 不同时期麦红吸浆虫及其卵寄生蜂混合种群空间分布模拟

在空间相关性分析的基础上,进行普通 Kriging 插值,模拟不同时期麦红吸浆虫及其卵寄生蜂的空间分布.这种模拟不是简单的距离加权,而是建立在对整个研究区域所有样点的空间相关分析基础上,比较各种方法和模型后确定其模拟误差更小,模拟精确度更高.

由图 2 可以看出,麦红吸浆虫及其卵寄生蜂混合种群在不同时期都表现出明显的岛屿式(斑块)分布特点,呈聚集分布的空间格局,而各期的聚集程度随其空间相关成分所占比例的不同而不同.小麦

吸浆虫休眠体在田间分布的空间模拟图显示(图 2A),该时期种群聚集程度较低,只形成 10 多个小的低值聚集斑块;羽化初期成虫种群聚集程度明显升高,形成了 2 个较大高值聚集区和 10 余个低值聚集斑块(图 2B);羽化高峰期成虫种群形成了 6 个大的高值聚集斑块和 3 个小的低值聚集斑块,种群呈高度聚集分布(图 2C);幼虫种群形成了 2 个大的高值聚集斑块和 10 多个小的低值聚集斑块,种群呈低聚集分布(图 2D).卵寄生蜂混合种群的空间分布与羽化高峰期成虫种群的空间分布相似,形成了 3 个大的高值聚集斑块和 5 个小的低值聚集斑块,种群呈高度聚集分布(图 2E).空间模拟的结果与空间格局分析结果相符.

2.5 不同时期麦红吸浆虫及其与卵寄生蜂混合种群空间分布的相关性分析

麦红吸浆虫羽化高峰期的成虫与吸浆虫卵寄生蜂混合种群空间分布存在显著的正相关($r=0.99$),而羽化高峰期的成虫($r=-0.76$)和卵寄生蜂混合种群($r=-0.78$)与幼虫在田间的种群空间分布呈显著的负相关,其他时期各虫态之间以及与卵寄生蜂混合种群之间无明显相关性(表 2).

表 2 不同时期麦红吸浆虫及其与卵寄生蜂种群空间分布的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between spatial distributions of *Sitodiplosis mosellana* and associated egg parasitoids at different periods

	休眠体 Cocoon	成虫(羽化初期) Adults (initial emergence period)	成虫(羽化高峰) Adults (peak emergence period)	幼虫 Larvae	卵寄生蜂 Egg parasitoids
休眠体 Cocoon	1				
成虫(羽化初期) Adults (initial emergence period)	0	1			
成虫(羽化高峰) Adults (peak emergence period)	0.27	0.61	1		
幼虫 Larvae	0.24	-0.45	-0.76*	1	
卵寄生蜂 Egg parasitoids	0.25	0.56	0.99**	-0.78*	1

* $P<0.05$; ** $P<0.01$.

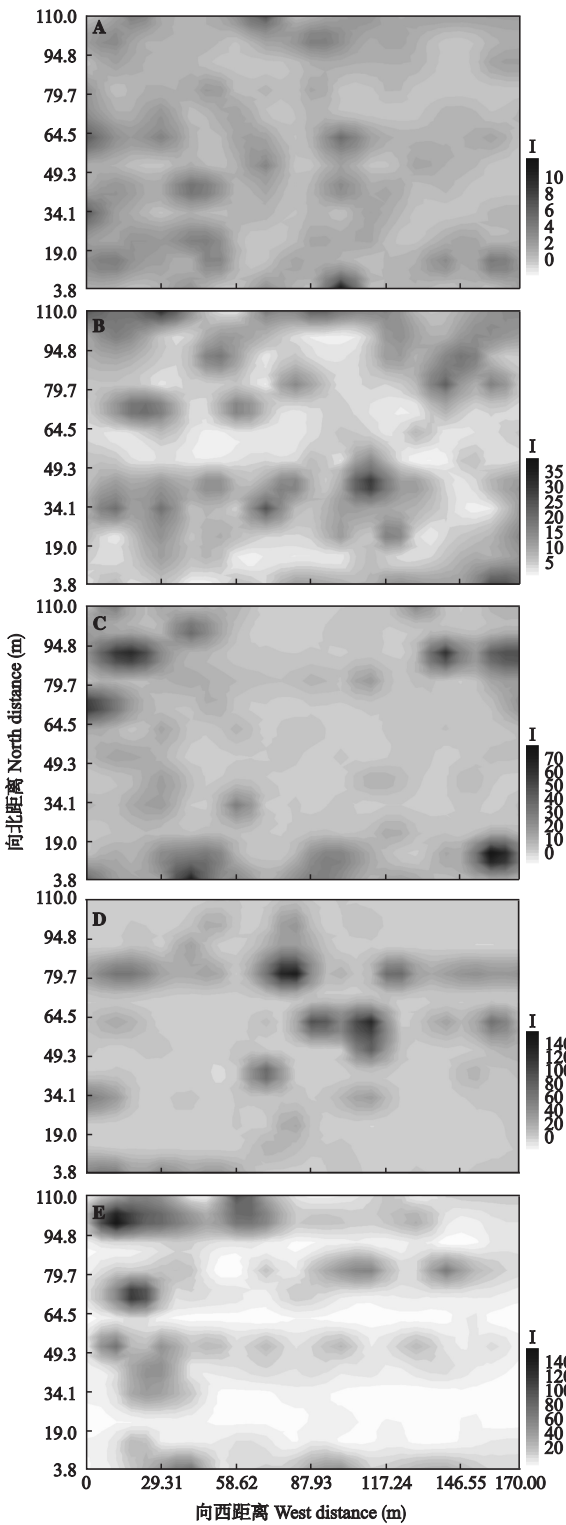


图2 不同时期麦红吸浆虫及其卵寄生蜂种群数量的 Kriging 插值分布图

Fig. 2 Kriging maps of spatial distribution for *Sitodiplosis mosellana* and associated egg parasitoids at different periods.

I: 密度 Density [$\text{ind} \cdot (100 \text{ m})^{-2}$]

3 讨 论

采用地统计学的方法分析昆虫种群空间格局,

是近年来昆虫生态学较关注的问题^[16-21]. 通过对不同时期麦红吸浆虫及其卵寄生蜂混合种群的地理统计学分析可以看出, 不同时期的麦红吸浆虫田间种群的空间结构均呈聚集分布, 聚集程度以成虫最高, 休眠体次之, 幼虫聚集度最低. 麦红吸浆虫成虫寿命仅 3 ~ 4 d^[22], 成虫种群聚集程度高有利于其交配产卵, 成虫间可能通过性信息素和聚集信息素聚集在一起. 成虫交配后即在于田间分散产卵, 因此幼虫在田间的聚集程度较低. 幼虫老熟后落土以休眠体越冬, 但休眠体在土壤中对温度和湿度具有一定的选择性^[22], 因此可能造成休眠体的聚集度高于幼虫. 麦红吸浆虫成虫羽化高峰期与其卵寄生蜂混合种群田间分布特征基本一致, 呈明显正相关, 表明卵寄生蜂对麦红吸浆虫成虫在数量和空间位置上具有较强的追随关系, 这有利于卵寄生蜂提高寄生效率.

有关麦红吸浆虫种群的空间分布已有许多研究和报道^[12, 23-25], 但大都应用经典的空间格局理论分析 *I* 指数、*CA* 指数和 Lloyd 聚块性指标等判定麦红吸浆虫某一虫态在麦田的空间格局, 利用这些参数只能对麦红吸浆虫种群在田间的分布状态进行定性分析, 不能充分获取种群数量分布的空间信息, 也不能确定空间依赖范围大小. 本文通过地统计学的方法对不同发生时期麦红吸浆虫及其卵寄生蜂混合种群虫口密度的分布模拟, 可从时空两个角度直观地分析害虫及其天敌的动态变化, 既可定性判断又能定量分析麦红吸浆虫及其卵寄生蜂混合种群在不同时期的发生程度和变化, 在空间上的分布及重发地的位置和范围, 同时还提供了空间连续的数量分布和详细的地理环境信息. 对麦红吸浆虫及其卵寄生蜂空间分布的模拟不仅可以了解它们的动态信息, 更重要的是能揭示其时空动态的内在机制^[26], 并为麦红吸浆虫的控制和预警奠定基础. 结合地理和气象等因子对麦红吸浆虫及其卵寄生蜂时空分布及其动态变化的研究还有待深入探讨.

参考文献

- [1] Bi S-D (毕守东), Zou Y-D (邹运鼎), Geng J-G (耿继光). Geostatistical analysis on spatial patterns of *Aphis gossypii* and *Propylaca japonica*. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2000, **11** (3): 421-424 (in Chinese)
- [2] Wang Z-J (王正军), Cheng J-A (程家安), Shi Z (史舟). Spatial distribution pattern and dynamics of egg masses of the 1st generation of *Chilo suppressalis* in the 1st rice crop season in Zhejiang Province. *Journal of*

- Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences) (浙江大学学报·农业与生命科学版), 2000, **26**(5): 465–473 (in Chinese)
- [3] Yuan Z-M (袁哲明), He Z-Y (贺智勇). Population spatial distribution pattern of *Chilo suppressalis* and its simulated sampling in different scales and directions. *Journal of Hunan Agricultural University* (Natural Sciences) (湖南农业大学学报·自然科学版), 2002, **27**(2): 102–106 (in Chinese)
- [4] Li Y-C (李友常), Xia N-B (夏乃斌), Tu Q-H (屠泉洪), et al. A geostatistical analysis on spatial pattern of *Anolonoplophora glabripennis* in poplars. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 1997, **17**(4): 393–401 (in Chinese)
- [5] Zhou Q (周强), Zhang R-J (张润杰), Gu D-X (古德祥). Review of geostatistics applied insect population spatial structure. *Zoological Research* (动物学研究), 1998, **19**(6): 482–488 (in Chinese)
- [6] Huang B-H (黄保宏), Zou Y-D (邹运鼎), Bi S-D (毕守东), et al. Geostatistical analysis on spatial patterns of *Didesmococcus koreanus* Borchs and *Chilocorus rubidus* Hope. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2003, **14**(3): 413–417 (in Chinese)
- [7] Wu Y-Q (武予清), Zhao W-X (赵文新), Jiang Y-L (蒋月丽), et al. Monitoring on adults of *Sitodiplosis mosellana* (Gehin) with yellow sticky traps. *Acta Phytocologica Sinica* (植物保护学报), 2009, **36**(4): 381–382 (in Chinese)
- [8] Ministry of Agriculture of the People's Republic of China (中华人民共和国农业部). Rules for the Investigation and Forecast of Wheat Blossom Midge. Beijing: China Standards Press, 2002 (in Chinese)
- [9] Lamb RJ, McKenzie RIH, Wise IL, et al. Making control decisions for *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae) in wheat (Gramineae) using sticky traps. *Canadian Entomologist*, 2002, **134**: 851–854
- [10] Wang Z-J (王正军), Li D-M (李典漠), Xie B-Y (谢宝瑜). Analysis on spatial distribution and dynamics of *Helicoverpa armigera* (Hübner) eggs, based on GIS and GS. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), 2004, **47**(1): 33–40 (in Chinese)
- [11] Li X-L (李修炼), Wu X-Y (吴兴元), Cheng W-N (成卫宁). Studies on the population occurrence and dynamics of parasitic wasp of wheat blossom midges. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica* (西北农业学报), 1997, **6**(2): 13–16 (in Chinese)
- [12] Wu J-X (仵均祥), Yuan F (袁锋), Xu X-L (许向丽), et al. Distribution pattern and sampling technique of overwintering larvae of wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae). *Agricultural Research in the Arid Areas* (干旱地区农业研究), 2001, **19**(3): 13–19 (in Chinese)
- [13] Lecoustre L, Fargette D, Fauquet C, et al. Analysis and mapping of the spatial spread of African cassava mosaic virus using geostatistics and kriging technique. *Phytopathology*, 1989, **79**: 913–920
- [14] Chen Q (陈强), Wu W-J (吴伟坚), Zhang Z-F (张振飞), et al. Geostatistic analysis of spatial pattern of *Fruhstorferiola tonkinensis* Will (Orthoptera: Catantopidae) nymphs. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18**(2): 467–470 (in Chinese)
- [15] Tang Q-Y (唐启义), Feng G-M (冯明光). DPS Data Processing System for Practical Statistics. Beijing: Science Press, 2002 (in Chinese)
- [16] Chen W (陈伟), Wu W-J (吴伟坚), Chen W-Z (陈伟洲), et al. Spatial distribution pattern of egg mass of *Fruhstorferiola tonkinensis* Will. *Journal of South China Agricultural University* (华南农业大学学报), 2004, **25**(4): 47–49 (in Chinese)
- [17] Huang S-S (黄寿山), Hu H-J (胡慧建), Liang G-W (梁广文). The spatial pattern of diapausing larvae of triped rice borer, *Chilo suppressalis* Walker, with geostatistics. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 1999, **19**(2): 250–253 (in Chinese)
- [18] Ellsbury MM, Woodson WD, Clay SA, et al. Geostatistical characterization of the spatial distribution of adult corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) emergence. *Environmental Entomology*, 1998, **27**: 910–917
- [19] Farias PRS, Barbosa JC, Busoli AC, et al. Spatial analysis of the distribution of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and losses in maize crop productivity using geostatistics. *Neotropical Entomology*, 2008, **37**: 321–327
- [20] Zou Y-D (邹运鼎), Bi S-D (毕守东), Wang X-S (王祥胜), et al. Geostatistical analysis on spatial patterns of *Macrosiphum granarium* and *Aphidius*. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2001, **12**(6): 887–891 (in Chinese)
- [21] Zou Y-D (邹运鼎), Bi S-D (毕守东), Zhou X-Z (周夏芝), et al. Geostatistical analysis on spatial patterns of *Erythroneura sudra* and *Erigonidium graminicola*. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2002, **13**(12): 1645–1648 (in Chinese)
- [22] Li J-J (李建军), Li X-L (李修炼), Cheng W-N (成卫宁). Status and prospect of studies on wheat blossom midge. *Acta Tritical Crops* (麦类作物学报), 1999, **19**(3): 51–55 (in Chinese)
- [23] Liu C-Z (刘长仲), Zhou S-R (周淑荣), Wei H-X (魏怀香), et al. Studies on the spatial patterns of *Sitodiplosis mosellana* (Gehin) and its applications. *Journal of Gansu Agricultural University* (甘肃农业大学学报), 2002, **37**(2): 204–208 (in Chinese)
- [24] Wu J-X (仵均祥), Yuan F (袁锋), Su L (苏丽). Distribution and damaging characteristics of wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae) on wheat heads. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry* (西北农林科技大学学报), 2000, **28**(4): 40–44 (in Chinese)
- [25] Zhang X (张珣). The spatial distribution parameters of wheat midge *Sitodiplosis mosellana* in wheat fields and their application. *Entomological Knowledge* (昆虫知识), 1999, **36**(3): 140–144 (in Chinese)
- [26] Yuan Z-M (袁哲明), Li F-Y (李方一), Hu X-Y (胡湘粤), et al. Geostatistical analysis on temporal patterns of *Chilo suppressalis* population. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2006, **17**(4): 673–677 (in Chinese)

作者简介 苗进,男,1977年生,博士,助理研究员.主要从事昆虫生态学研究,发表论文10余篇. E-mail: miaojin1977@163.com

责任编辑 肖红

