

# 水稻与蔬菜/玉米邻作下稻纵卷叶螟幼虫和食虫沟瘤蛛的空间格局与变异\*

张娟<sup>1,2</sup> 曾玲<sup>1\*\*</sup> 黄俊<sup>3</sup> 陈科伟<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 华南农业大学昆虫生态研究室, 广州 510642; <sup>2</sup> 浙江大学昆虫科学研究所, 杭州 310029; <sup>3</sup> 浙江省农科院花卉研究开发中心, 杭州 311202)

**摘要** 应用地统计学的原理和方法研究了水稻与白瓜、番茄及玉米等邻作生境内稻纵卷叶螟幼虫和食虫沟瘤蛛的空间格局与变异. 结果表明: 整个水稻生长过程中稻纵卷叶螟幼虫和食虫沟瘤蛛的空间分布基本为聚集分布, 且两者的空间相关变程范围分别为 1.91 ~ 182.57 m 和 3.70 ~ 9.70 m; 种群密度的等值线图表明, 两者在空间及时间上的吻合程度高, 说明食虫沟瘤蛛对稻纵卷叶螟幼虫有较强的追随效应和控制作用; 不同邻作模式下以白瓜邻作水稻田的控制效果最佳.

**关键词** 稻纵卷叶螟幼虫 食虫沟瘤蛛 空间格局 空间变异 地统计学

**文章编号** 1001-9332(2011)08-2126-07 **中图分类号** Q968.1 **文献标识码** A

**Spatial pattern and its variation of *Cnaphalocrocis medinalis* larvae and *Ummeliata insecticeps* under paddy rice cropping neighboring with vegetables or corn.** ZHANG Juan<sup>1,2</sup>, ZENG Ling<sup>1</sup>, HUANG Jun<sup>3</sup>, CHEN Ke-wei<sup>1</sup> (<sup>1</sup>College of Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; <sup>2</sup>Institute of Insect Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; <sup>3</sup>Research and Development Centre of Flower, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 311202, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2011, 22(8): 2126-2132.

**Abstract:** Geostatistical methods were adopted to characterize the spatial pattern and its variation of *Cnaphalocrocis medinalis* larvae (Lepidoptera: Crambidae) and *Ummeliata insecticeps* (Araneida: Linyphiidae) in the habitats of paddy rice neighboring with white melon, tomato, or corn. In the rice growth period, *C. medinalis* larvae and *U. insecticeps* presented aggregative distribution, with the spatial range varied from 1.91 to 182.57 m and from 3.70 to 9.70 m, respectively. Isoline map showed that the density of *U. insecticeps* was spatially and temporally identical with that of *C. medinalis* larvae, suggesting that *U. insecticeps* had strong pursuing and control effects on *C. medinalis* larvae. Among the test neighboring patterns, paddy rice neighboring with white melon had the best performance of *U. insecticeps*.

**Key words:** *Cnaphalocrocis medinalis* larvae; *Ummeliata insecticeps*; spatial pattern; spatial variation; geostatistics.

稻纵卷叶螟 (*Cnaphalocrocis medinalis*) 是我国水稻上的重要害虫, 近年来随着水稻种植制度的改变和化学农药的不合理使用, 其发生为害日趋严重<sup>[1]</sup>. 目前, 探讨以保护和利用昆虫天敌为基础的稻纵卷叶螟生态调控技术已成为研究热点<sup>[2-4]</sup>. 有研究表明, 合理的作物布局能给昆虫天敌提供良好

的栖息<sup>[5-6]</sup>、保护与增殖场所<sup>[7-8]</sup>, 减缓单一作物种植过程中天敌-害虫跟随现象的时滞效应, 及时抑制害虫种群数量的发展<sup>[9]</sup>. 这方面研究多见于林果-杂草<sup>[10]</sup>、稻田-杂草等作物布局方式<sup>[11-12]</sup>, 而水稻-蔬菜/作物邻作模式还鲜见报道, 同时以往的研究局限于某一生态系统内的某一害虫或天敌, 对于复合种植系统内害虫及其天敌关系的定量研究还不够. 食虫沟瘤蛛 (*Ummeliata insecticeps*) 是稻纵卷叶螟的常见捕食性天敌<sup>[13]</sup>, 本研究以稻纵卷叶螟幼虫和食虫沟瘤蛛为对象, 应用地统计学的半变异函数, 对分别

\* “十一五”国家科技支撑计划项目 (2008BADA5B04, 2008BADA5B01) 资助.

\*\* 通讯作者. E-mail: zengling@scau.edu.cn

2011-01-06 收稿, 2011-04-28 接受.

与白瓜、番茄和玉米邻作的水稻田稻纵卷叶螟幼虫及食虫沟瘤蛛种群的空间格局与变异进行分析,探讨不同邻作模式下两者的空间分布格局,旨在为建立合理的水稻邻作模式提供参考依据,并为稻田生态系统害虫生物防治提供理论支撑。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 试验区概况

本试验在华南农业大学宁西教学科研基地进行。安排白瓜、番茄和玉米等 3 种作物分别与水稻进行邻作,其中每个水稻及蔬菜区的面积分别为 192 m<sup>2</sup> (16 m×12 m) 和 64 m<sup>2</sup> (16 m×4 m)。水稻种植均以东西方向为行、南北方向为列。稻田四周为水泥田埂,稻田北面紧临虻蜚菊 (*Wedelia chinensis*) 条带 (宽约 2 m),南面临近稻区水泥路面 (宽约 4 m),东面靠近西洋菜 (*Nasturtium officinale*) 地 (面积约 2240 m<sup>2</sup>),西面为闲置荒地 (面积约 2240 m<sup>2</sup>)。整个生长期稻田按照常规水肥管理,采取保护天敌和人工除草等措施进行病虫害的管理,不施用任何化学药剂。

### 1.2 取样方法

分别于 2009 年 5 月 4 日 (水稻生长前期)、6 月 4 日 (水稻生长中期) 及 7 月 4 日 (水稻生长后期) 采用栅格式取样方法进行取样,以 2 m×1.5 m 方格为 1 个样方,在稻田中间位置抽取 10 行 (隔行,东西方向),每行 6 个样方,每种邻作模式稻区各 60 个样方,记录样方内整株水稻上稻纵卷叶螟幼虫和食虫沟瘤蛛的数量,并标记相应样方的位置<sup>[14-16]</sup>。

### 1.3 变异曲线图的建立

通过半方差公式 (semivariogram) 计算东西方向上不同间距的半方差函数值,作出半方差函数值对间隔距离的坐标图形,即变异曲线图,并计算半变异函数值,拟合变异模型,最后用半变异函数的结构来描述稻纵卷叶螟和食虫沟瘤蛛的空间格局及空间相关性。对于观测数据系列样本半方差函数值  $r(h)$  可用下式计算:

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

式中:  $N(h)$  是被  $h$  分割的数据对的数量,  $Z(x_i)$  和  $Z(x_{i+h})$  分别是在点  $x_i$  和  $x_{i+h}$  处样本的测量值,  $h$  是分割两样点的距离。半变异函数有 3 个重要参数,即变程 (range)、基台值 (still) 和块金值 (nugget)。其中,变程反映了空间依赖范围,即半方差函数值不再增加时的距离,用  $\alpha$  表示;基台值反映变量变化幅度的大小,用  $C+C_0$  表示;块金值反映了区域化变量

$Z(x)$  内部随机性的可能程度,用  $C_0$  表示;变量的随机程度用  $C_0/(C+C_0)$  表示,该比值可以比较不同情况下半方差值的差异性<sup>[17-19]</sup>。

## 1.4 数据分析

使用 DPS 软件分别对 3 种邻作模式下、不同时期稻纵卷叶螟幼虫和食虫沟瘤蛛种群密度进行统计分析,用 Duncan 新复极差法进行差异显著性检验。在 Excel 中通过半方差公式求得半方差函数值,并通过二元线性回归模型得出相应模型参数,如模型参数不存在,则采用多项式进行拟合<sup>[20-22]</sup>。半变异函数模型拟合程度用  $R^2$  进行检验。为获得更为直接的效果,应用 Surfer 8.0 绘制等值线图,以等值线图  $x$  轴的原点为界,左半侧为食虫沟瘤蛛空间分布图,右半侧为稻纵卷叶螟幼虫空间分布图。

## 2 结果与分析

### 2.1 稻纵卷叶螟幼虫和食虫沟瘤蛛的空间半变异函数

对 3 种邻作条件下稻纵卷叶螟幼虫和食虫沟瘤蛛种群密度进行分析,结果表明,稻纵卷叶螟幼虫数量均以水稻生长中期 (6 月 4 日) 最高,且发生高峰期虫量以水稻-玉米邻作模式最高,为每丛 1.71 头;3 种邻作模式下食虫沟瘤蛛数量均以水稻生长后期 (7 月 4 日) 最高,且发生高峰期虫量无显著差异。

对 3 种邻作模式下稻纵卷叶螟幼虫种群的空间格局进行分析,结果表明,除了 7 月 4 日水稻-番茄邻作下稻纵卷叶螟幼虫空间格局为均匀分布之外,其余均为聚集分布 (表 1)。从不同时期半变异函数的变程  $\alpha$  可以看出,水稻-白瓜、水稻-番茄及水稻-玉米邻作下的变程范围分别为 13.84 ~ 182.57 m、3.07 ~ 3.09 m 和 1.91 ~ 8.99 m,说明 3 种邻作模式下稻纵卷叶螟幼虫种群的聚集程度不同。不同时期 3 种邻作模式下稻纵卷叶螟幼虫空间变异函数模型的决定系数变化范围为 0.13 ~ 0.84,其中水稻生长后期水稻-玉米邻作下的决定系数为 0.84,说明其实际半变异函数值与理论曲线的吻合度最高。

对 3 种邻作模式下食虫沟瘤蛛种群的空间格局进行分析,结果表明,5 月 4 日水稻-番茄及水稻-玉米邻作下没有调查到食虫沟瘤蛛,不存在拟合模型;而其余 7 次食虫沟瘤蛛的半变异函数拟合模型均为球形,且空间分布类型为聚集分布。水稻-白瓜、水稻-番茄及水稻-玉米邻作下食虫沟瘤蛛种群的变程范围分别为 5.39 ~ 9.68 m、1.00 ~ 4.07 m 和 5.94 ~

表 1 不同邻作模式下稻纵卷叶螟幼虫和食虫沟瘤蛛空间变异函数模型及其参数

Table 1 Semivariograms model parameters of both *Cnaphalocrocis medinalis* larvae and *Ummeliata insecticeps* under different neighboring patterns

物种 Species	邻作模式 Neighbouring pattern	调查日期 Date	平均密度 Average density (head · hill <sup>-1</sup> )	模型参数 Model parameters					分布类型 Distribution pattern
				块金常数 C <sub>0</sub>	基台值 C <sub>0</sub> +C	差异程度 C <sub>0</sub> /(C <sub>0</sub> +C)	相关范围 α (m)	决定系数 R <sup>2</sup>	
稻纵卷叶螟幼虫 <i>C. medinalis</i> larvae	水稻-白瓜 Rice-white melon	05-04	0.50±0.07cAB	-	-	-	13.84	0.51	聚集 Aggregation
	水稻-白瓜 Rice-white melon	06-04	1.19±0.08aC	0.15	30.95	0.005	182.57	0.61	聚集 Aggregation
	水稻-白瓜 Rice-white melon	07-04	0.97±0.06bC	-	-	-	13.84	0.51	聚集 Aggregation
	水稻-番茄 Rice-tomato	05-04	0.59±0.07aAB	-	-	-	3.09	0.46	聚集 Aggregation
	水稻-番茄 Rice-tomato	06-04	1.50±0.07aB	-	-	-	3.07	0.49	聚集 Aggregation
	水稻-番茄 Rice-tomato	07-04	1.27±0.07abB	-	-	-	-	0.13	随机 Random
	水稻-玉米 Rice-corn	05-04	0.63±0.08cA	-	-	-	8.28	0.37	聚集 Aggregation
	水稻-玉米 Rice-corn	06-04	1.71±0.07aA	-	-	-	1.91	0.54	聚集 Aggregation
	水稻-玉米 Rice-corn	07-04	1.45±0.08bA	-	-	-	8.99	0.84	聚集 Aggregation
食虫沟瘤蛛 <i>U. insecticeps</i>	水稻-白瓜 Rice-white melon	05-04	0.39±0.08bB	-	-	-	9.68	0.39	聚集 Aggregation
	水稻-白瓜 Rice-white melon	06-04	0.55±0.07aA	-	-	-	5.39	0.99	聚集 Aggregation
	水稻-白瓜 Rice-white melon	07-04	0.53±0.08aA	0.17	0.21	0.83	5.45	0.94	聚集 Aggregation
	水稻-番茄 Rice-tomato	05-04	/	/	/	/	/	/	/
	水稻-番茄 Rice-tomato	06-04	0.52±0.07aA	-	-	-	4.00	0.46	聚集 Aggregation
	水稻-番茄 Rice-tomato	07-04	0.53±0.06aA	-	-	-	4.47	0.45	聚集 Aggregation
	水稻-玉米 Rice-corn	05-04	/	/	/	/	/	/	/
	水稻-玉米 Rice-corn	06-04	0.39±0.07bB	-	-	-	5.94	0.93	聚集 Aggregation
	水稻-玉米 Rice-corn	07-04	0.54±0.07aA	-	-	-	6.07	0.94	聚集 Aggregation

不同小、大写字母分别表示相同邻作不同时期和相同时期不同邻作处理差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different small and capital letters meant significant difference among treatments with the same neighboring pattern and different dates or the same date and different neighboring patterns at 0.05 level, respectively. /: 没调查到食虫沟瘤蛛 No *U. insecticeps* was found; -: 无该模型参数 The model didn't have this parameter.

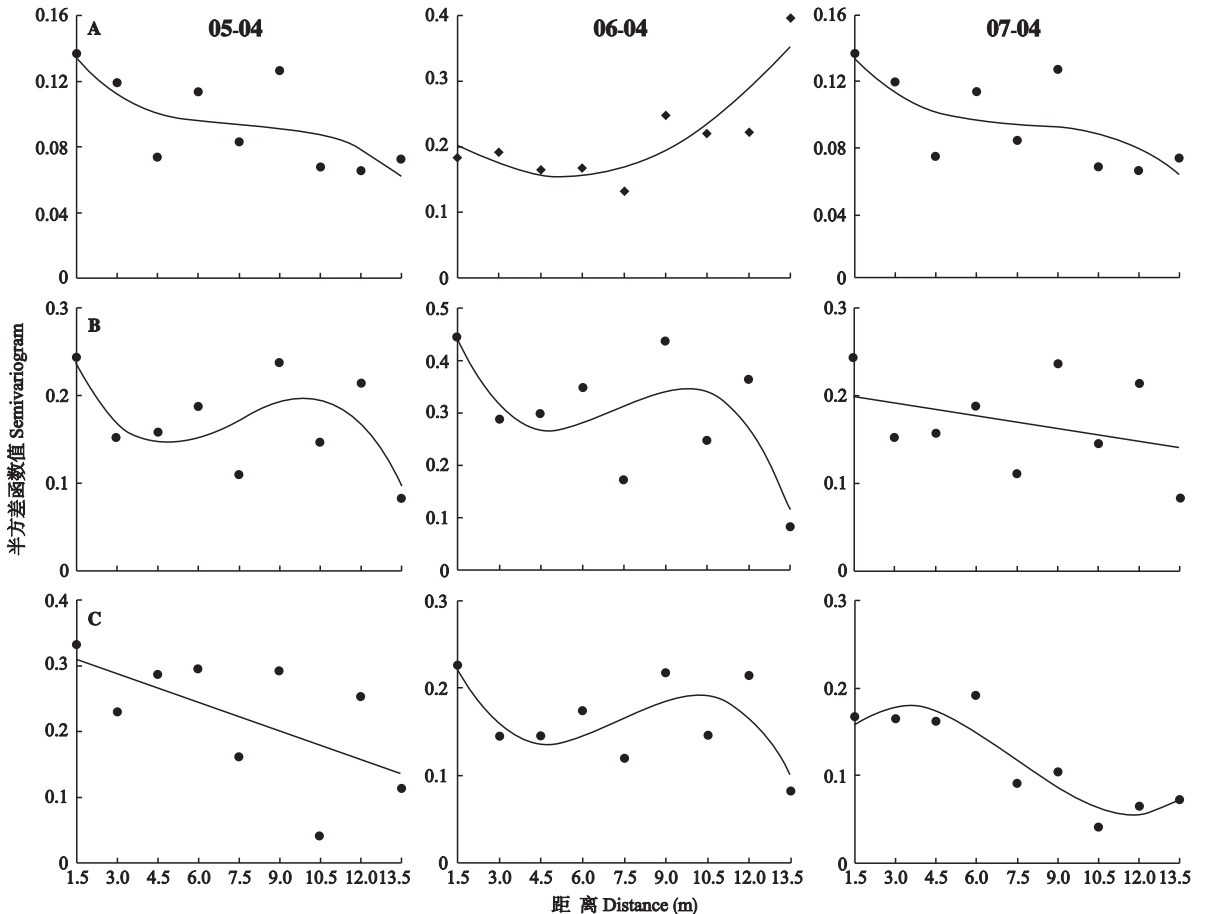


图 1 不同邻作模式下稻纵卷叶螟幼虫空间分布格局

Fig. 1 Spatial distribution patterns of *Cnaphalocrocis medinalis* larvae under different neighboring patterns.

A: 水稻-白瓜 Paddy rice-white melon; B: 水稻-番茄 Paddy rice-tomato; C: 水稻-玉米 Paddy rice-corn. 下同 The same below.

6.07 m, 说明 3 种邻作模式下食虫沟瘤蛛种群的聚集程度差异不大. 不同时期食虫沟瘤蛛的函数模型决定系数变化范围为 0.39 ~ 0.99, 其中水稻-白瓜及水稻-玉米邻作下水稻生长中后期的决定系数均大于 0.90, 说明其实际半变异函数值与理论曲线的吻合度较高.

不同时期、3 种邻作模式下稻纵卷叶螟幼虫和食虫沟瘤蛛的变异函数图如图 1、图 2 所示. 由图可知, 所调查 3 种邻作模式下东西方向上稻纵卷叶螟幼虫和食虫沟瘤蛛种群数量在不同间隔距离上的半方差值呈明显规律性变化.

## 2.2 稻纵卷叶螟幼虫和食虫沟瘤蛛种群空间格局的变化

通过等值线图进一步直观地比较不同时期 3 种邻作模式下稻纵卷叶螟幼虫和食虫沟瘤蛛的空间格局变化关系. 从图 3 可以看出, 3 个时期稻纵卷叶螟幼虫和食虫沟瘤蛛在空间上存在几个种群密度斑块, 且斑块大小与种群密度空间自相关尺度有关. 在稻纵卷叶螟幼虫发生初期, 种群斑块较小, 而在发生

中期和末期, 种群斑块相对较大, 表明随着水稻生长期的推进, 稻纵卷叶螟幼虫种群数量和为害面积不断扩大, 而同期食虫沟瘤蛛的密度和分布区域也在增加. 根据等值线密度和变化方向分析空间数据之间的内在联系, 水稻生长早期稻纵卷叶螟幼虫在水稻-白瓜邻作模式下稻田南北角均有分布, 水稻生长中期则主要集中在东南角上, 并存在明显的梯度变化, 而在水稻生长晚期则再次向南北方向移动. 同期, 食虫沟瘤蛛种群密度变化和转移方向的趋势与稻纵卷叶螟幼虫相同.

水稻-番茄邻作下 3 个时期稻纵卷叶螟幼虫种群密度斑块大小的变化不大, 稻纵卷叶螟幼虫在空间上主要分布在东南角、中部和西北角, 而且整个水稻生长期转移方向变化不明显. 5 月 4 日未调查到食虫沟瘤蛛, 6 月 4 日食虫沟瘤蛛主要分布在东南角和西北角, 而 7 月 4 日则向北转移, 并且等值线变疏, 斑块变小.

5 月 4 日稻纵卷叶螟幼虫在水稻-玉米邻作下整个稻田内分布密度均较高, 随着时间的推移, 逐渐

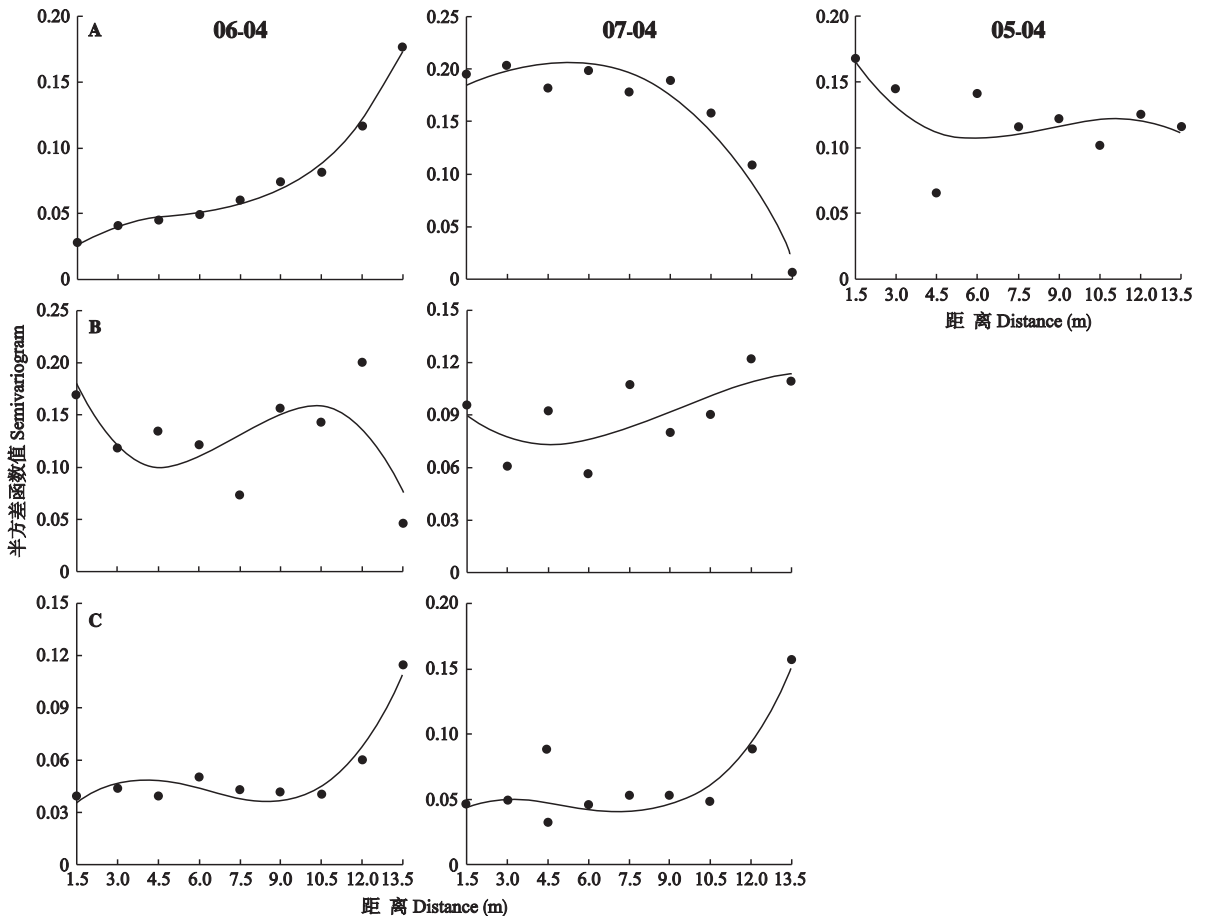


图 2 不同邻作模式下食虫沟瘤蛛空间分布格局

Fig. 2 Spatial distribution patterns of *Ummeliata insecticeps* under different neighboring patterns.

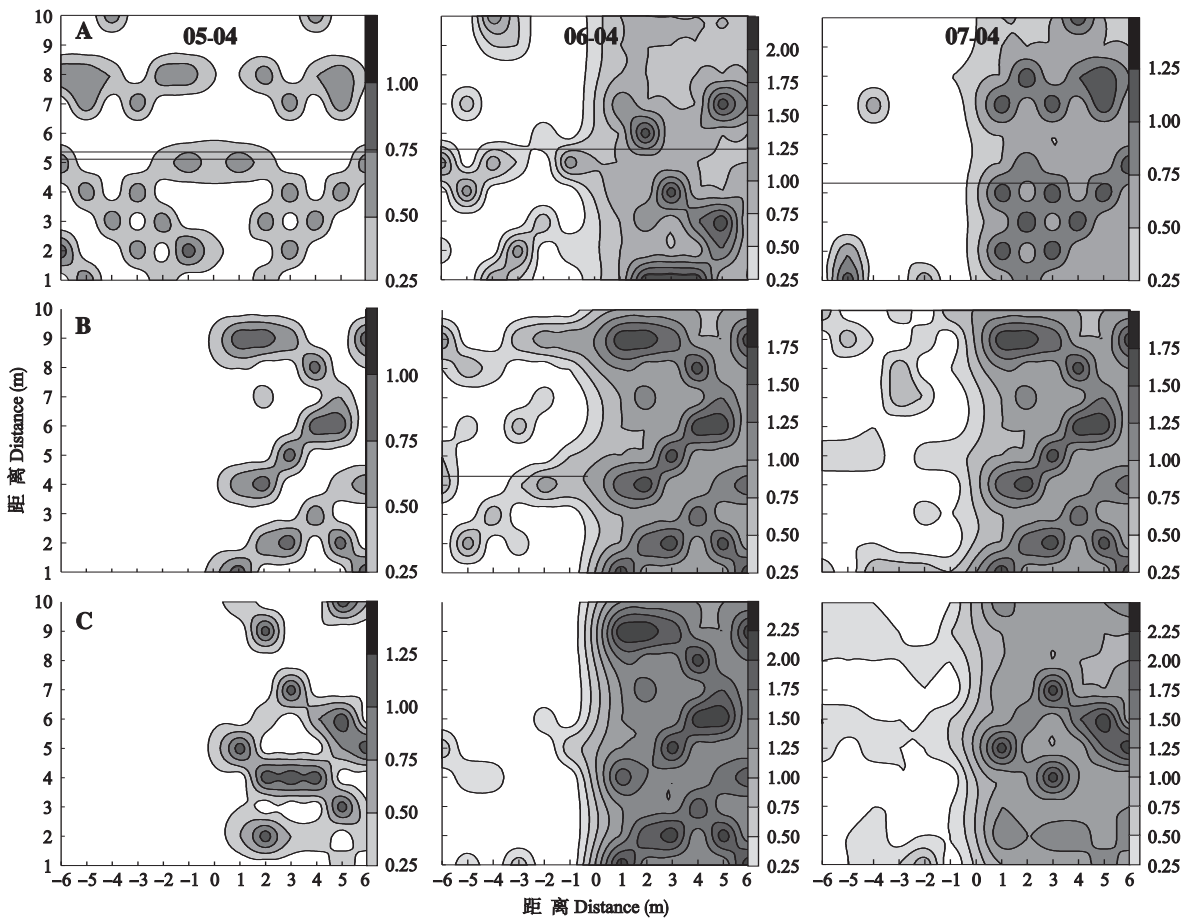


图3 不同邻作模式下稻纵卷叶螟幼虫和食虫沟瘤蛛种群的等值线图

Fig. 3 Isoline map of *Cnaphalocrocis medinalis* larvae and *Ummeliata insecticeps* under different neighboring patterns.

以横坐标0刻度为界,左侧1/2图为食虫沟瘤蛛的空间格局,右侧1/2图为稻纵卷叶螟幼虫的空间格局。Left half-figure and right-half figure were corresponding the spatial distributions of *U. insecticeps* and *C. medinalis* larva, respectively; 图中斑块阴影越深表示每个样方内虫口数越多,密度梯度为每样方0.25头。The darker the patch color was, the greater amount of *C. medinalis* larvae or *U. insecticeps* was, and the density gradient was 0.25 head per quadrat.

向西北、东南及中部方向移动,且种群密度进一步增加;到水稻生长后期,稻纵卷叶螟幼虫主要集中在中部,且种群密度有所降低。同期,食虫沟瘤蛛数量较少,基本呈现随机分布的状况。

### 3 讨论

地统计学是在地质分析和统计分析相互结合的基础上形成的一套分析空间相关变量的理论和方法,它以区域化变量理论为基础,以半方差函数为主要工具,研究那些在空间分布上既有随机性又有结构性的自然现象<sup>[23-25]</sup>。目前,地统计学已经广泛应用于昆虫生态学领域<sup>[26-28]</sup>。本研究通过半变异函数和等值线图对水稻-白瓜、水稻-番茄和水稻-玉米等3种邻作模式下稻纵卷叶螟幼虫和食虫沟瘤蛛空间变异和格局进行分析,结果表明稻区稻纵卷叶螟幼虫与食虫沟瘤蛛具有高度的空间异质性。在整个水

稻生育期,稻纵卷叶螟幼虫的空间分布型基本都为聚集分布,这与前人的研究结果大致相符,然而以往研究方法多见于频次分布、指数法和模型分析法等,忽略了方向和样点的距离,而本研究采用的地统计学方法能弥补以上缺陷。研究进一步表明,稻纵卷叶螟幼虫和食虫沟瘤蛛的空间相关变程范围分别为1.91~182.57 m和3.70~9.70 m,除了6月4日水稻-白瓜邻作模式下稻纵卷叶螟幼虫的空间变程(182.57 m)存在较大偏差之外,稻纵卷叶螟幼虫与食虫沟瘤蛛的空间相关变程变化幅度基本相同(1.91~13.84 m,3.70~9.70 m),而引起较大偏差的原因还有待进一步研究。本研究中,3种邻作模式下稻纵卷叶螟幼虫密度以水稻-白瓜模式最低,说明该邻作模式在控制主要害虫稻纵卷叶螟方面具有很好的效果。在对白瓜、番茄及玉米地节肢动物群落特征研究中发现,白瓜地植食性类群多样性指数

(0.60 ~ 1.69) 显著高于番茄地 (0.16 ~ 0.47) 和玉米地 (0.12 ~ 0.44) (未发表数据), 说明植被覆盖度高的白瓜地增加了生境内植食性类群的种类及数量, 同时也为广谱性捕食性天敌食虫沟瘤蛛提供了丰富的食物。此外, 对第一茬白瓜的采收迫使食虫沟瘤蛛迁入相邻稻田, 使得水稻-白瓜邻作模式下稻田内食虫沟瘤蛛密度最高, 对水稻生长关键时期的害虫进行了有效控制。进一步观察稻纵卷叶螟幼虫和食虫沟瘤蛛种群密度的等值线图发现, 两者在空间及时间上的吻合程度较高, 体现了食虫沟瘤蛛对稻纵卷叶螟幼虫在空间及时间上均存在较强的追随效应和明显的控制作用, 这种效应在水稻-白瓜邻作模式下特别明显。在调查时还发现狼蛛、皿蛛和隐翅虫等捕食性天敌在稻田和白瓜地之间的转移非常频繁, 而在其他邻作模式下不明显。可见, 水稻-白瓜邻作模式对于控制害虫和保护天敌均具有较好的效果。本研究中各模式邻作面积比例参照了前人的设计, 而之前的研究多侧重于经济学角度。因此, 在确定合适的蔬菜品种后, 还应进一步权衡经济学和生态学效应, 对水稻邻作模式的合理种植面积进行探讨, 为实际应用提供指导。

**致谢** 浙江大学昆虫科学研究所施祖华教授对本论文提出宝贵意见, 在此表示衷心的感谢!

#### 参考文献

- [1] Cai G-L (蔡国梁). Continual occurrence reason of *Chaphalorocis medinalis* and its controlling countermeasures. *China Rice* (中国稻米), 2006(2): 49-50 (in Chinese)
- [2] Ge F (戈 峰). The principles, methods and practices of regional ecological regulation and management of pest. *Entomological Knowledge* (昆虫知识), 2001, 38(5): 337-341 (in Chinese)
- [3] Li Z-Y (李正跃), Altieri MA, Zhu Y-Y (朱有勇). Biodiversity and Integrated Pest Management. Beijing: Science Press, 2009: 112-116 (in Chinese)
- [4] You M-S (尤民生), Liu Y-F (刘雨芳), Hou Y-M (侯有明). Biodiversity and integrated pest management in agroecosystems. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2004, 24(1): 117-122 (in Chinese)
- [5] Zhang W-Q (张文庆), Zhang G-R (张古忍), Gu D-X (古德祥). On some aspects of community ecology associated with the preservation and utilization of farmland natural enemies. *Acta Phytopylacica Sinica* (植物保护学报), 1996, 23(4): 363-367 (in Chinese)
- [6] Wang H (王 寒), Tang J-J (唐建军), Xie J (谢坚), et al. Controlling effects of multiple species coexistence on rice diseases, pests and weeds in paddy field ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生

- 态学报), 2007, 18(5): 1132-1136 (in Chinese)
- [7] Altieri MA, Letourneau DK. Vegetation management and biological control in agroecosystem. *Crop Protection*, 1982, 1: 405-430
- [8] Andow DA. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annual Review of Entomology*, 1991, 36: 561-586
- [9] Chen LD, Fu BJ, Zhao WW. Source-sink landscape theory and its ecological significance. *Frontiers of Biology in China*, 2008, 3: 131-136
- [10] Du X-G (杜相革), Yan Y-H (严毓骅). Effect of the cover crops on the pest mite *Panonychus ulmi* and its predator *Orius sauteri*. *Chinese Journal of Biological Control* (中国生物防治), 1994, 10(3): 114-117 (in Chinese)
- [11] Li Z-S (李志胜), Huang D-C (黄顶成), Xu D-M (徐敦明), et al. Species richness, dominance and diversity of arthropod community in the weed habitat surrounding a rice field. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University* (福建农林大学学报), 2003, 32(4): 425-429 (in Chinese)
- [12] Yu X-P (俞晓平), Zheng X-S (郑许松), Xu H-X (徐红星), et al. A study on the dispersal of lycosid spider, *Pirata subpiraticus* between rice and *Zizania* field. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), 2002, 45(5): 636-640 (in Chinese)
- [13] Shen B-B (沈斌斌). Research on predation of *Bianor horingchiehi* and *Ummeliata insecticeps* on *Cnaphalocrocis medinalis* and *Nilaparvata lugens*. *Acta Arachnologica Sinica* (蛛形学报), 2005, 14(2): 112-117 (in Chinese)
- [14] Wang R (王 瑞), Zhai B-P (翟保平), Sun X-Y (孙晓洋). Spatio-temporal dynamics of the first generation larvae of *Laodelphax striatellus* Fallén in wheat field. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2007, 27(11): 4536-4546 (in Chinese)
- [15] Zhou Q (周 强), Zhang R-J (张润杰), Gu D-X (古德祥). Spatial distribution patterns of the white-backed planthopper in rice fields. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), 2003, 46(2): 171-177 (in Chinese)
- [16] Huang D-C (黄德超), Zeng L (曾 玲), Liang G-W (梁广文), et al. Population dynamics of pests and their enemies in different cultivated rice fields. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2005, 16(11): 2122-2125 (in Chinese)
- [17] Liebhold AM, Rossi RE, William PK. Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. *Annual Review of Entomology*, 1993, 38: 303-327
- [18] Wang Z-Q (王政权). Application of Geostatistics in Ecology. Beijing: Science Press, 1999: 150-156 (in Chinese)
- [19] Roberts EA, Ravlin FW, Fleischer SJ. Spatial data representation for integrated pest management programs. *American Entomologist*, 1993, 39: 91-107
- [20] Bi S-D (毕守东), Zou Y-D (邹运鼎), Geng J-G (耿继光), et al. 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)
- [21] Bi S-D (毕守东), Liu L (刘 丽), Gao C-Q (高彩球), *et al.* Spatial distribution pattern and space dependence of *Contarinia* sp. and *Erigonidium graminicola* in jujube orchard. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2005, **16**(11): 2126-2129 (in Chinese)
- [22] Geng J-G (耿继光), Zou Y-D (邹运鼎), Bi S-D (毕守东). Geostatistical analysis on spatial patterns of *Schizaphis granarium* and *Aphidius* sp. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2002, **13**(10): 1307-1310 (in Chinese)
- [23] Wang Z-J (王正军), Li D-M (李典模), Shang H-W (商哈武), *et al.* Theories and methods of geostatistics and its their application in insect ecology. *Entomological Knowledge* (昆虫知识), 2002, **39**(6): 405-411 (in Chinese)
- [24] Zhang R-J (张润杰), Zhou Q (周 强), Chen C-X (陈翠贤), *et al.* Application of ordinary Kriging method in entomologic ecology. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2003, **14**(1): 90-92 (in Chinese)
- [25] Vieira SR, Hatfield JL, Nielsen DR, *et al.* Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, 1983, **51**: 1-75
- [26] Darnell SJ, Meinke LJ, Young LJ, *et al.* Geostatistical investigation of the small-scale spatial variation of western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) adults. *Environmental Entomology*, 1999, **28**: 266-274
- [27] Zhou Q (周 强), Zhang R-J (张润杰), Gu D-X (古德祥), *et al.* Spatial structure and pattern of *Nilaparvata lugens* population in large-scale. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2001, **12**(2): 249-252 (in Chinese)
- [28] Farias PRS, Barbosa JCB, Busoli AC, *et al.* Spatial analysis of the distribution of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and losses in maize crop productivity using geostatistics. *Neotropical Entomology*, 2008, **37**: 321-327

---

作者简介 张 娟,女,1981年生,博士. 主要从事昆虫生态学与分子生物学研究. E-mail: juanjuan0031@yahoo.com.cn

责任编辑 肖 红

---