

基于 GIS 的小麦-豌豆间作对麦长管蚜种群空间格局的影响

周海波^{1,2}, 陈林³, 陈巨莲¹, 程登发¹, 刘勇², 孙京瑞¹

(¹ 中国农业科学院植物保护研究所/植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193; ² 山东农业大学植物保护学院, 山东泰安 271018;

³ 宁夏出入境检验检疫局, 银川 750001)

摘要: 【目的】通过系统调查小麦-豌豆不同间作模式下麦长管蚜的种群密度, 研究麦田生物多样性对麦长管蚜空间分布格局的影响。【方法】利用地理信息系统方法, 结合传统空间分布分析方法, 分析了 Kriging-空间插值图、聚集度指标、Iwao 的 M^*-m 回归模型和泰勒指数回归模型。【结果】2 种分析方法均表明: 在麦田不同间作模式下, 麦长管蚜的空间分布主要为聚集分布; 但豌豆与小麦分别以 2:2、2:4、2:6、2:8 行间作模式情况下聚集度有所差异: 2:2 模式 > 2:6 模式 > 2:4 模式 > 小麦单作 > 2:8 模式; 由基于 GIS 的 Kriging 空间插值种群变化模拟图得知: 起初麦长管蚜主要分布在麦田的周围, 逐步向麦田中部扩散; 在麦长管蚜发生的高峰期, 形成了许多聚集中心, 主要集中在小麦单作和 2:2 模式小区中, 且小麦单作的蚜量极显著高于其它间作模式 ($P < 0.01$)。【结论】麦田合理生物多样性可以有效控制麦长管蚜种群的增长, 但并不能改变其种群格局的变化趋势。

关键词: 地理信息系统; 麦长管蚜; 空间分布; 生物多样性

Effect of Intercropping Between Wheat and Pea on Spatial Distribution of *Sitobion avenae* Based on GIS

ZHOU Hai-bo^{1,2}, CHEN Lin³, CHEN Ju-lian¹, CHENG Deng-fa¹, LIU Yong², SUN Jing-rui¹

(¹ State Key Laboratory for Biology of Plant Disease and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193; ² College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong; ³ Ningxia Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau of People's Republic of China, Yinchuan 750001)

Abstract: 【Objective】 In order to research the effect of biodiversity on spatial distribution of *Sitobion avenae* in wheat, the population density of *S. avenae* was investigated in wheat fields in Langfang Experimental Station of Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, using wheat intercropped with pea by different patterns, and the field cultivar monoculture of wheat was planted as control. 【Method】 Using the Geographical Information System (GIS) and the traditional analysis methods of spatial distribution, the Kriging-interpolation figures, aggregation indices, Iwao and Taylor's regression models were analyzed. 【Result】 The results showed that the spatial distribution of *S. avenae* was mainly aggregation distribution in intercropping patterns of wheat and pea, by the planting row of pea : wheat in 2:2, 2:4, 2:6, 2:8 and wheat monoculture, but the degrees of aggregation were different, 2:2 pattern > 2:6 pattern > 2:4 pattern > wheat monoculture > 2:8 pattern. Kriging-interpolation figures indicated that wheat aphids distributed mainly around the field during early stage, and spreaded to the middle of field gradually. There were many aggregation centers mostly at wheat monoculture and 2:2 patterns plots during aphid peak period. Compared with each intercropping field, there were higher population densities of aphid in field cultivar monocultures at the level of $P < 0.01$. 【Conclusion】 Although the reasonable biodiversity in wheat fields could control the population of wheat aphid effectively, but the spatial distribution did not change.

Key words: geographical information system (GIS); *Sitobion avenae*; spatial distribution; biodiversity

收稿日期: 2009-02-27; 接受日期: 2009-05-28

基金项目: 国家“973”项目(2006CB10023)、“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD08A05)、粮食丰产科技工程(2006BAD02A16)、中-比合作项目(PICSHANDONG)、现代农业产业技术体系建设专项资金(nycyt-x-03)

作者简介: 周海波(1982—), 男, 山东东平人, 硕士研究生, 研究方向为昆虫化学生态。Tel (Fax): 010-62815934; E-mail: zhouhaibo417@163.com。通信作者陈巨莲(1965—), 女, 湖南新邵人, 副研究员, 博士, 研究方向为昆虫生物化学与分子生物学。Tel: 010-62813685; E-mail: jlchen@ippcaas.cn

0 引言

【研究意义】麦长管蚜 *Sitobion avenae* (Fabricius) 是中国黄淮海麦区害虫的优势种, 可直接刺吸小麦汁液使植株叶片失绿、坏死, 还可传播病毒病造成作物严重减产。大面积种植单一品种的作物, 导致系统中植被较单纯, 群落结构趋于简单, 物种数和个体数都比自然生态系统中少^[1-2], 也就容易引起植食性昆虫的暴发。而在多样性的农田系统中, 稳定性会由于物种的适当增加而提高^[2], 能够有效地减少害虫的发生。空间分布型做为昆虫种群的重要属性之一, 是研究种群个体某一时刻行为习性和诸环境因子的迭加影响^[3]。因此, 昆虫种群空间分布型的研究, 不仅为了解种群的有关行为提供一条有效途径^[4], 而且对昆虫生态学、害虫综合治理^[5]及预测预报都具有重要的指导意义。菜用豌豆作为一种新兴特种蔬菜在中国各地发展迅速, 栽培面积逐年扩大。小麦与豌豆间作已经作为一种种植模式被提出^[6-7]。【前人研究进展】利用物种多样性来控制作物害虫、保护天敌的报道已经非常普遍, 例如玉米间作高粱、蚕豆^[8]、苜蓿间作棉花^[9]、小麦间作苜蓿^[10]、油菜^[11-12]等, 它们合理改变了田间的传统布局, 增加了农田生态系统的稳定性, 同时也显著影响了植食性昆虫的种群动态。环境在时间和空间上的异质性都是影响昆虫种群动态变化的主要因素^[13], 而目前的许多研究仍局限于时间而忽视了空间因子对种群动态的影响^[14-15]。GIS (geographical information system) 技术在植保上的成功应用则有效地缓解了这一局限, 为昆虫空间格局的研究提供了新的途径。如棉铃虫卵动态分析^[16]、稻田灰飞虱与蜘蛛时空动态分析^[17]、红火蚁适生性分析^[18]、东亚飞蝗卵块的研究^[15]、模毒蛾种群发生量的预测^[19]、粉花凌霄天蚕蛾的爆发情况^[20]等都将 GIS 技术成功的运用到昆虫空间格局分析中, 并取得了突破性的成果。【本研究切入点】传统空间分布的研究多基于调查样本的频次分布、统计学特征而做出的, 对调查样本数据之间的空间位置、方向、距离等空间相关性考虑的略显不足^[21], 随着计算机技术的迅猛发展, 地理信息系统的功能得到了极大的延伸和完善, 如今的 GIS 已成为地理空间信息表示^[22]、处理、分析和应用的强大工具和技术体系^[23]。GIS 分析有很多方法 (如普通克里格、泛克里格、协同克里格等) 可以估计未采样点的属性值^[24], 一定程度上可在少量采样数据的情况下预测整个研究区域中的空间分布情况, 而且预测方法也可以

设定和调整。因此, 利用地理统计学方法与传统空间分布分析方法相结合研究农业害虫空间分布情况, 可以准确、直观地表现出害虫种群的空间格局状况和种群的变化。但对于小麦-豌豆种植模式下麦长管蚜的空间分布情况, 尤其是基于地理信息系统技术的空间分布研究鲜有报道。【拟解决的关键问题】本文主要采取传统空间分布分析方法和 GIS 空间插值分析对小麦-豌豆不同间作模式下麦长管蚜种群空间分布类型及其动态变化规律进行了初步研究, 以期对麦长管蚜的综合治理提供理论依据, 同时也为生物多样性控制植食性昆虫的机理解释提供生态学思路。

1 材料与方法

1.1 供试作物品种

小麦 (*Triticum aestivum*) : 北京 837 (黄淮海麦区主栽品种), 为中国农业科学院植物保护研究所植保信息技术研究课题组保留的种质。

豌豆 (*Pisum sativum*) : 中豌 5 号, 由中国农业科学院北京畜牧兽医研究所提供。

1.2 试验小区设置

试验在河北省廊坊市中国农业科学院植物保护研究所廊坊基地 (116°69'E, 39°52'N) 进行, 共设 5 个处理: 豌豆与小麦分别以 2 : 2、2 : 4、2 : 6、2 : 8 行比例间作, 分别记作 2 : 2 模式、2 : 4 模式、2 : 6 模式、2 : 8 模式, 小麦单作作为对照。小区面积均为 67 m², 所有处理均重复 3 次。试验采用完全区组随机设计, 小区间隔 2 m 空地, 试验田四周种植 1 m 宽的对照小麦作保护行。

小麦于 2007 年 10 月 20 日播种, 同时预留出种植豌豆的区域, 豌豆于 2008 年 3 月 11 日播种, 小麦和豌豆的收获时间分别为 2008 年 6 月 5 日和 6 月 29 日。小麦行距为 30 cm, 豌豆的行距为 40 cm, 豌豆与小麦之间的行间距为 40 cm。所选试验田土壤特点及田间管理一致, 整个试验期不施用任何农药及除草剂。

1.3 田间调查方法

调查时间从 4 月下旬至 6 月初, 每隔 4 d 调查 1 次。采用“Z”字型 5 点取样法, 每点连续抽取 10 株小麦植株, 定株调查、记录蚜虫的数量, 共计取 750 个样点, 调查 9 次。

1.4 分析方法

1.4.1 传统空间分布格局的分析方法

1.4.1.1 聚集度指标 统计系统调查数据, 依据每样点平均密度 (m)、方差 (V), 计算出平均拥挤度 ($M^*=m$)

+ $V/m-1$)、扩散系数($C=V/m$)、丛生指标($I=V/m-1$)、聚块性指标(M^*/m)、聚集度指数($Ca=(V-m)/m^2$)、负二项分布中的 K 指标($K=m^2/(V-m)$), 综合分析麦长管蚜的空间格局。

1.4.1.2 Iwao 的 $M-m$ 回归模型分析法 依据样本平均数和平均拥挤度, 得出 $M^*=\alpha+\beta\cdot m$ 线性回归方程, 判断聚集情况。

1.4.1.3 泰勒指数回归模型分析法 依据样本平均数和方差的对数值, 得出 $\lg V=\lg a+b\lg m$ 线性回归方程, 判断聚集情况。

1.4.2 基于 GIS 的空间分布格局分析 利用 ESRI ArcGIS8.3 软件, 将调查点之间空间位置制作调查点空间分布站点地图, 将每次调查的麦蚜种群数量作为属性数据挂接入地理信息系统, 利用普通 Kriging 空间插值方法进行估计, 获取麦蚜种群的空间分布近似估计。

1.5 数据处理

数据采用 DPS 软件进行统计, 利用 SAS9.0 软件对各处理进行方差分析和 Duncan 氏多重比较 ($P\leq 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同种植模式下麦长管蚜的种群动态

从图 1 可以看出, 不同种植模式中麦长管蚜种群数量的时序变化趋势基本一致, 为单峰型。在 4 月 27 日前麦长管蚜种群增长缓慢, 后随温度的逐渐适宜,

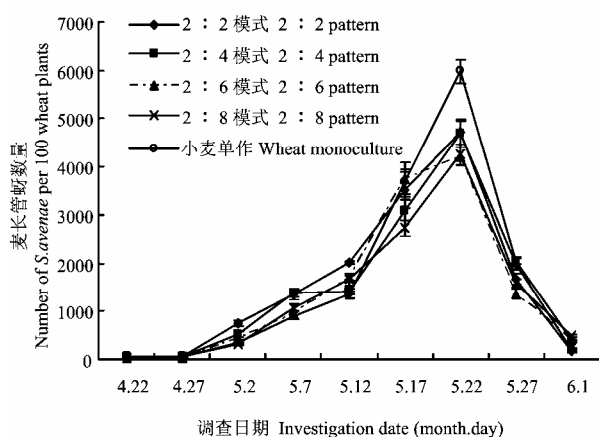


图 1 麦长管蚜在不同处理方式下的种群动态 (数据平均值 $\pm$ 标准误)

Fig. 1 Population dynamics of *S. avenae* in different planting patterns (Means $\pm$ SE)

其种群数量迅速增加, 5 月 17—25 日达到高峰。麦长管蚜高峰期最大种群密度为: 小麦单作 5 988.7 头/百株 (单位, 下同) > 2:2 模式 4 711.3 > 2:4 模式 4 696.7 > 2:6 模式 4 252.0 > 2:8 模式 4 218.7。小麦单作的蚜量高于所有小麦间作模式, 差异极显著 ($df=4$, $F=26.67$, $P<0.01$), 2:2 模式与 2:4 模式之间差异不显著 ($P>0.05$), 2:6 模式与 2:8 模式之间差异也不显著 ($P>0.05$), 但 2:2、2:4 模式与 2:6、2:8 模式 2 组之间差异显著 ($P<0.05$)。

除不同间作模式能对蚜虫高峰期数量有不同程度的降低外, 在调查期间, 麦长管蚜总量随不同种植模式也有不同变化, 且处理间存在显著差异 ($df=4$, $F=10.83$, $P<0.0012$)。其总数量分别为: 单作田 14 827.7 头 > 2:2 模式 14 243.3 头 > 2:4 模式 13 403.0 头 > 2:6 模式 12 869.7 头 > 2:8 模式 12 204.7 头, 小麦单作与 2:2 及 2:4 模式没有明显差异 ($P>0.05$), 但与 2:6 模式及 2:8 模式差异极显著 ($P<0.01$), 且 2:4 模式、2:6 模式、2:8 模式之间无显著差异 ($P>0.05$)。综合以上分析结果可知: 间作豌豆能够有效降低麦长管蚜的种群密度, 且 2:6 与 2:8 模式在发生高峰期表现出较好的控蚜效果。

2.2 传统空间分布格局的分析结果

2.2.1 聚集度指标 麦长管蚜在各种种植模式下聚集度指标测定结果 (表 1) 表明, 在所有模式下, 麦长管蚜种群空间分布的变化规律一致。在调查前期为均匀分布 (4 月下旬到 5 月中旬), 在麦长管蚜的发生高峰期 (5 月中、下旬) 变为聚集分布, 最后又趋于均匀分布, 直至种群消亡。

不同种植模式下, 尽管麦长管蚜种群空间分布变化趋势相同, 但不同模式聚集程度有所差异。依据各聚集度指标可知, 适当间作部分豌豆, 能够提高蚜虫种群的聚集程度。以麦长管蚜发生高峰期的扩散系数 C 平均值为例, 2:2 模式为 2.70、2:4 模式为 1.66、2:6 模式为 2.08、2:8 模式为 1.02、小麦单作为 1.40, 表明 2:2 模式、2:4 模式、2:6 模式的聚集度都明显高于小麦单作, 而 2:8 模式则低于小麦单作。可见, 间作豌豆量需要达到一定程度才能起到增加麦长管蚜空间聚集程度的作用。

2.2.2 Iwao 的 $M-m$ 回归与泰勒指数回归 由拟合出的 M^*-m 回归方程 (表 2) 可知, 不同种植模式下 β 均大于 1, 表明在任何模式下麦长管蚜个体间相互吸引, 分布的基本成分为个体群, 且为聚集分布型。

表 2 不同种植模式下麦长管蚜种群动态回归模型
Table 2 The regression model for population dynamics of *Sitobion avenae* in different planting patterns

种植模式	Iwao 回归方程	R	Taylor 回归方程	R
Planting pattern	Iwao regression equation		Taylor regression equation	
2 : 2	$M^*=-0.89878+1.00502m$	1.0000	$\lg V=-1.15607+1.42995*\lg m$	0.9201
2 : 4	$M^*=-0.93392+1.00383m$	1.0000	$\lg V=-1.81204+1.74352*\lg m$	0.9804
2 : 6	$M^*=-0.78058+1.00401m$	1.0000	$\lg V=-0.86059+1.29789*\lg m$	0.9261
2 : 8	$M^*=-0.83026+1.00257m$	1.0000	$\lg V=-1.58333+1.62377*\lg m$	0.9781
小麦单作	$M^*=-0.89646+1.00216m$	1.0000	$\lg V=-1.59636+1.54124*\lg m$	0.9546
Wheat monoculture				

根据 Taylor 冪法则计算出回归方程模型（表 2），不同种植模式下 b 均大于 1，说明麦长管蚜种群空间分布为聚集分布，但根据聚集指标分析（表 1），并不是在任何密度下麦蚜都呈聚集分布，随着蚜虫种群密度的增加，其空间分布逐渐由均匀分布转为聚集分布，且聚集度也会随之增加。

2.3 GIS 空间插值分析结果

4 月 22 日麦长管蚜发生初期，分布比较均匀，不同处理间的差别并不太大，可能由于微弱边际效应的影响，导致周边蚜量略高（图 2）。

5 月 2 日不同处理间蚜量差别不明显，仍以均匀分布为主，3 个区组均表明，此时，2 : 2 间作处理蚜量稍高（图 3 中椭圆），百株蚜量达到 500 头以上，并出现聚集的趋势，其余处理的百株蚜量大部分都在 500 头以下；同时也表明，蚜量偏高的区域移到了试验田的中部（图 3）。

5 月 7 日麦长管蚜种群空间分布格局没有显著变化，仅有试验田中部的 2 : 2 处理发生微弱的聚集（图 4 中椭圆），且蚜量偏高。大部分区域依然为均匀分布，百株蚜量超过 500 头，个别地块已达到 1 500 头以上（图 4）。

5 月 17 日随着温度升高，麦长管蚜数量急剧增长、聚集，且空间分布也发生了明显的变化，大多处理区都形成有聚集中心（图 5 中椭圆）。因此，此时麦长管蚜种群分布为聚集分布。小麦单作蚜量较高，其次为 2 : 6 间作处理，2 : 8 间作和 2 : 4 间作处理蚜量较低，在一定程度上，表现出了间作的优势（图 5）。

5 月 22 日麦长管蚜数量达到高峰期，大部分处理百株蚜量达到 3 000 以上，高的可以达到 6 400 头。麦长管蚜种群聚集程度加大，形成多个聚集中心（图 6 中椭圆），种群的空间分布表现为聚集分布。3 个区组都一致表明：小麦单作麦长管蚜种群密度最大（图

6 中红色区域），极显著高于其它处理（ $P<0.01$ ），另外，2 : 8 间作处理与 2 : 6 间作处理麦长管蚜种群密度相对较低。该图也更加直观的表明，与小麦单作相比，小麦间作豌豆的处理有着明显的优势（图 6）。

5 月 27 日麦长管蚜种群密度急剧下降，除个别试验小区维持有聚集中心外，大部分处理区的聚集中心都消失，麦长管蚜种群在向试验田四周扩散，又恢复了先前的均匀分布，且小麦单作处理依然保持较高种群密度，百株蚜量依然保持在 2 000 头左右，2 : 6 间作处理蚜虫种群衰退较快（图 7）。

6 月 1 日整个麦田的蚜量大幅度降低，且周边麦长管蚜种群密度高于中部（图 8 中椭圆），表明麦蚜逐渐开始迁出麦田，除 2 : 8 间作处理保持较弱的聚集外，其余均表现为均匀分布（图 8）。

整体来看，麦长管蚜在 4 月中下旬开始侵入麦田，此时边际效应占据一定的优势，试验田周边种群密度稍高，但在各个不同的小区麦蚜种群空间均为均匀分布。随着温度的升高，更利于麦长管蚜的生长、繁殖，5 月中下旬，麦长管蚜达到发生高峰期，间作豌豆的处理麦长管蚜种群密度明显低于小麦单作处理，差异极显著（ $P<0.05$ ），且麦蚜种群聚集程度增加，形成了多个聚集中心，空间分布呈聚集分布。5 月底至 6 月初，麦长管蚜种群开始衰退，试验田周边种群密度高于中部，表明麦蚜逐渐开始迁出麦田，且麦蚜种群空间上比较松散，表现为均匀分布，直至麦蚜退出麦田。

小麦间作豌豆对控制麦长管蚜有显著的效果，但并不是在整个发生期都有控制作用（如 5 月 2—7 日），作用效果的显著时期主要在麦蚜发生的高峰期（如 5 月 12—27 日），这样可以明显降低麦长管蚜的发生总量，从而减轻对小麦的虫害。

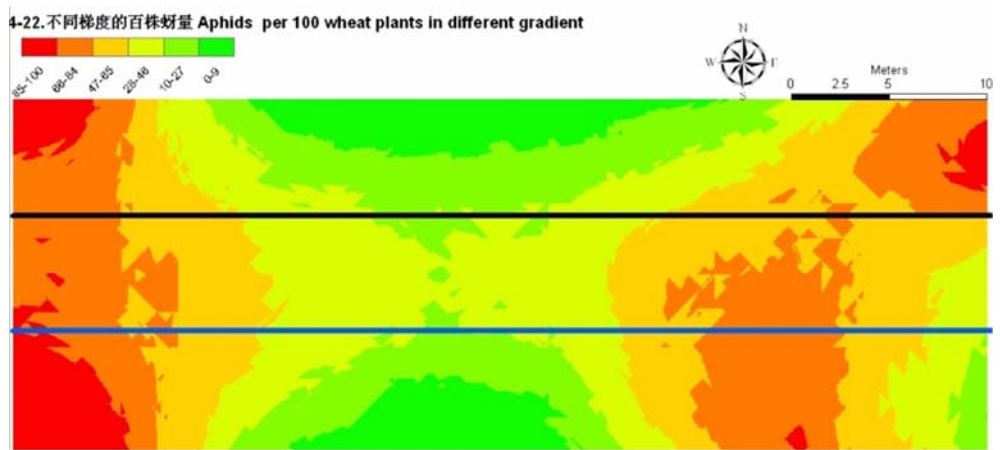


图 2 4 月 22 日 Kriging 插值方式模拟的的麦长管蚜种群空间分布图
Fig. 2 The spatial distribution of *Sitobion avenae* simulated by Kriging interpolation on 22th Apr.

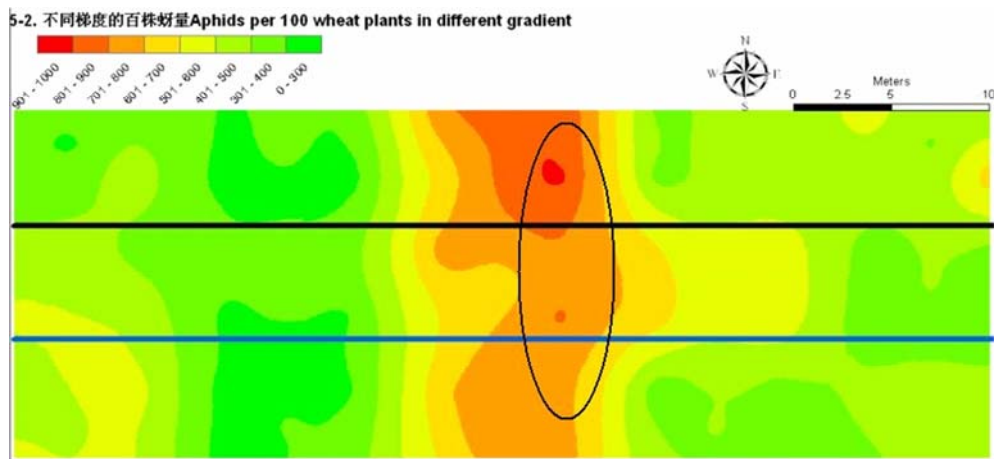


图 3 5 月 2 日 Kriging 插值方式模拟的的麦长管蚜种群空间分布图
Fig. 3 The spatial distribution of *Sitobion avenae* simulated by Kriging interpolation on 2nd May

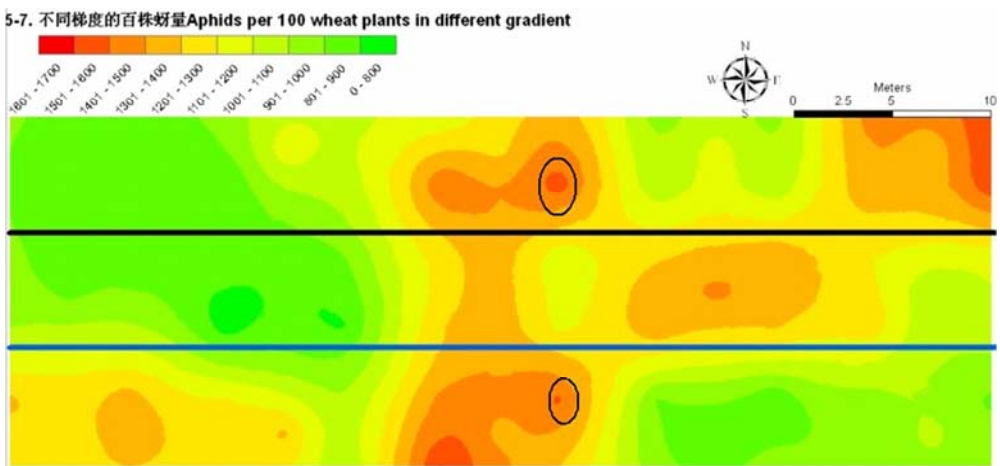


图 4 5 月 7 日 Kriging 插值方式模拟的的麦长管蚜种群空间分布图
Fig. 4 The spatial distribution of *Sitobion avenae* simulated by Kriging interpolation on 7th May

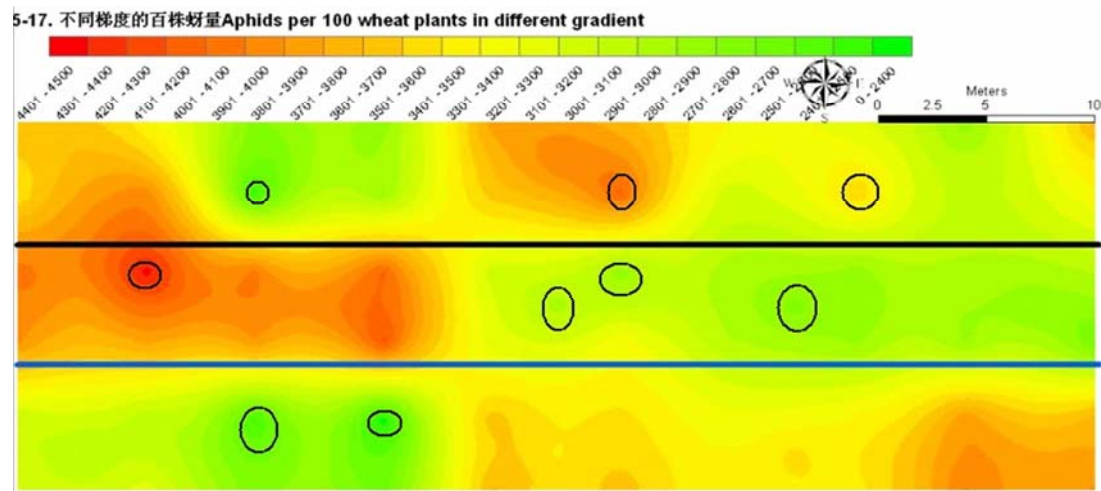


图 5 5 月 17 日 Kriging 插值方式模拟的的麦长管蚜种群空间分布图
Fig. 5 The spatial distribution of *Sitobion avenae* simulated by Kriging interpolation on 17th May

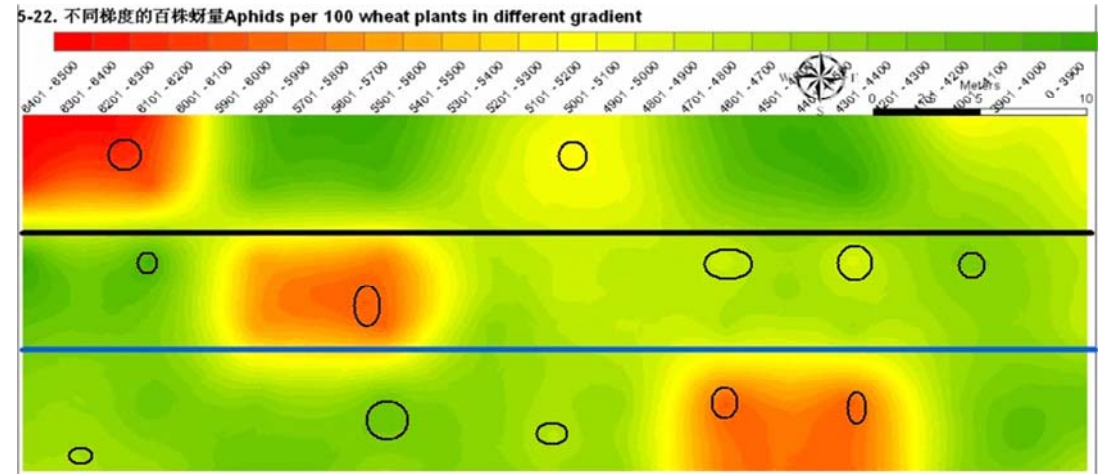


图 6 5 月 22 日 Kriging 插值方式模拟的的麦长管蚜种群空间分布图
Fig. 6 The spatial distribution of *Sitobion avenae* simulated by Kriging interpolation on 22nd May

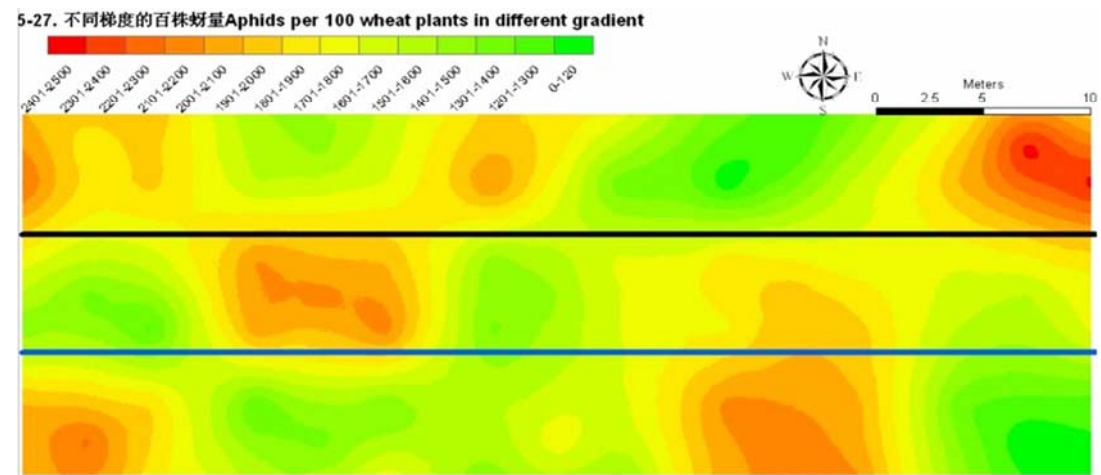


图 7 5 月 27 日 Kriging 插值方式模拟的的麦长管蚜种群空间分布图
Fig. 7 The spatial distribution of *Sitobion avenae* simulated by Kriging interpolation on 27th May

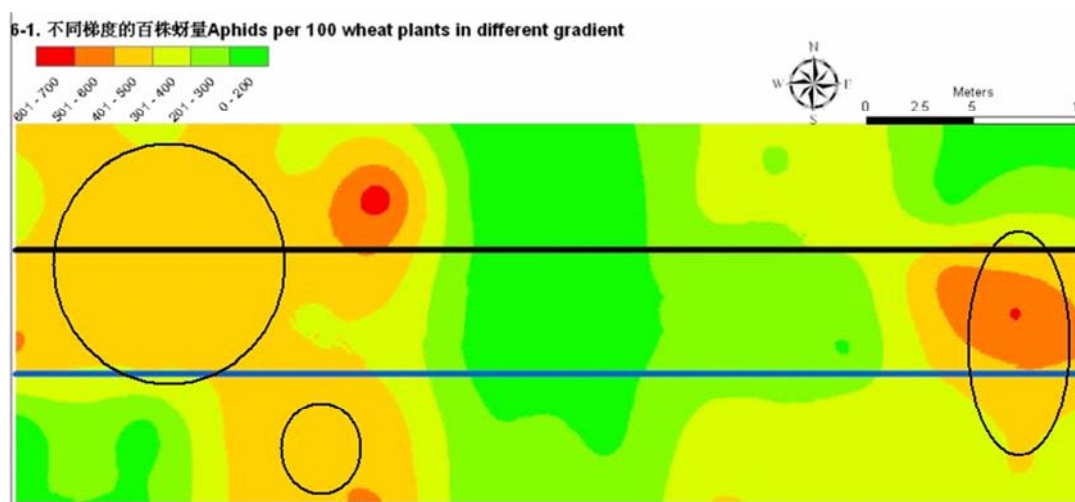


图 8 6 月 1 日 Kriging 插值方式模拟的的麦长管蚜种群空间分布图

Fig. 8 The spatial distribution of *Sitobion avenae* simulated by Kriging interpolation on 1st June

3 讨论

蚜虫的空间分布及种群间距并不稳定^[13]，随着时间和空间的变化发生经常性改变。本研究中，传统空间分布分析结果与 GIS 的分析结果一致，麦长管蚜种群的空间分布由初期的均匀分布变为高峰期的聚集分布，末期又转向为均匀分布。

尽管不同间作模式能够降低蚜虫的种群密度，但对蚜虫的空间格局的趋势并没有显著改变。这同时也可从侧面解释麦田生物多样性控制植食性昆虫的生态原因，作物多样性是农田生物多样性的基础，多样性的农田生态系统造成复杂的视觉和嗅觉刺激，从而扰乱害虫寻找寄主植物^[25]，干扰植食性昆虫在田间的活动，使之更倾向于少迁入或多迁出，降低麦长管蚜的种群数量，尤其是在高峰期。从而减轻了小麦的虫害，对提高其产量和质量都会有积极的影响。

传统上对昆虫种群空间分布的研究大多停留在定性的水平上，或者基于某种空间分布格局的假设，而 GIS 的出现使昆虫生态学家们能够存储、更新和显示空间相关数据，并进行空间分析。基于 GIS 技术的麦蚜空间分布分析，可以考虑特定地域中影响昆虫种群数量分布的各种因素，如景观种植模式、土壤因素、气象因素等，有利于提高虫害发生的预测、杀虫剂的合理应用及更有效的生物防治^[26]。从而能够及时准确的为科研工作者和生产服务部门提供有关区域综合、规划、战略决策等方面可靠的地理或空间信息。

本研究结果表明，利用 GIS 技术分析麦田生物多样性对麦长管蚜空间格局的影响，能够直观观察麦长

管蚜在不同种植模式下麦长管蚜的分布情况，进而在一定程度上推断间作作物所起到的作用，间作适量的豌豆（如 2 : 8 模式和 2 : 4 模式），蚜虫种群的聚集度较弱，反之，如果间作豌豆量较多（如 2 : 2 模式），则蚜虫种群的聚集程度加大（如 5 月 17 日，5 月 22 日）。还可以看出，2 : 8 模式及 2 : 6 模式蚜量相对较少，另外，作物间作一般是按一定的比例，在一定的时期种植在主栽作物田，如果比例太大，将会影响主栽作物的产量，种植者不易接受；反之，如果比例太小，对害虫的控制力就会降低，起不到应有的效果。因此，对于小麦生产而言，2 : 6 模式及 2 : 8 模式的可操作性、可推广性的潜力较大。然而，将 GIS 应用于麦田多样性对昆虫空间布局影响的技术并不成熟，如何对其完善以及小麦间作作物的最佳模式和对主要害虫的调控的生态机理还需进一步探讨。

4 结论

麦田合理的生物多样性可以有效控制麦长管蚜种群的增长，但并不能改变其种群格局的变化趋势；麦长管蚜在不同种植模式麦田中均以聚集分布为主，但间作适量豌豆的麦田麦长管蚜种群的聚集度有所增加；基于 GIS 的空间分析与传统空间分布分析结果一致，但其能够更加直观地发现麦长管蚜的扩散动态、聚集中心的位置以及对未调查区域进行合理估计。

References

- [1] 尤民生, 刘雨芳, 侯有明. 农田生物多样性与害虫综合治理. 生态学报, 2004, 24(1): 117-122.

- You M S, Liu Y F, Hou Y M. Biodiversity and integrated pest management in agroecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(1): 117-122. (in Chinese)
- [2] Trenbath B R. Multispecies cropping systems in India predictions of their productivity, stability, resilience and ecological sustainability. *Agroforestry Systems*, 1999, 45: 81-107.
- [3] 徐卫建, 王 铁, 陆 进, 朱文禄, 肖 春, 刘云忠, 李正跃, 孙跃先. 枇杷潜蛾幼虫空间分布型及抽样技术研究. *西南农业学报*, 2007, 20(5): 1016-1019.
- Xu W J, Wang T, Lu J, Zhu W L, Xiao C, Liu Y Z, Li Z Y, Sun Y X. The spatial distribution patterns and sampling techniques of *Lyonetia eriobotryae* larvae. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2007, 20(5): 1016-1019. (in Chinese)
- [4] 庞保平, 赵建兴, 周晓榕, 关明卓. 麦长管蚜种群空间格局及其应用. *内蒙古农牧学院学报*, 1999, 20(2): 83-86.
- Pang B P, Zhao J X, Zhou X R, Guan M Z. Spatial pattern of *Sitobion avenae* (Fabricus) and its application. *Journal of Inner Mongolia Institute of Agriculture & Animal Husbandry*, 1999, 20(2): 83-86. (in Chinese)
- [5] Holland J M, Winder L, Woolley C, Alexander C J, Perry J N. The spatial dynamics of crop and ground active predatory arthropods and their aphid prey in winter wheat. *Bulletin of Entomological Research*, 2004, 94: 419-431.
- [6] 赵伯善, 李生秀, 李世清. 豆科与非豆科作物对磷肥反应差异根源之探讨. *干旱地区农业研究*, 1995, 13(2): 45-56.
- Zhao B S, Li S X, Li S Q. The causes of the differences of legume and non-legume crop responses to P fertilizers. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1995, 13(2): 45-56. (in Chinese)
- [7] 贾志红, 杨珍平, 张永清, 苗果园. 麦田土壤微生物三大种群数量的研究. *麦类作物学报*, 2004, 24(3): 53-56.
- Jia Z H, Yang Z P, Zhang Y Q, Miao G Y. Study on the quantity of three main colony of soil microbe in wheat farmland. *Journal of Triticeae Crops*, 2004, 24(3): 53-56. (in Chinese)
- [8] Songa J M, Jiang N, Schulthess F, Omwega C. The role of intercropping different cereal species in controlling lepidopteran stemborers on maize in Kenya. *Journal of Applied Entomology*, 2007, 131(1): 40-49.
- [9] Lin R, Liang H, Zhang R, Tian C, Ma Y. Impact of alfalfa /cotton intercropping and management on some aphid predators in China. *Journal of Applied Entomology*, 2003, 127: 33-36.
- [10] Ma K Z, Hao S G, Zhao H Y, Kang L. Strip cropping wheat and alfalfa to improve the biological control of the wheat aphid *Macrosiphum avenae* by the mite *Allothrombium ovatum*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2007, 119: 49-52.
- [11] Ferguson A W, Barari H, Warner D J, Campbell J M, Smith E T, Watts N P, Williams I H. Distributions and interactions of the stem miners *Psylliodes chrysocephala* and *Ceutorhynchus pallidactylus* and their parasitoids in a crop of winter oilseed rape (*Brassica napus*). *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2006, 119: 81-92.
- [12] 王万磊, 刘 勇, 纪祥龙, 王 光, 周海波. 小麦间作大蒜或油菜对麦长管蚜及其主要天敌种群动态的影响. *应用生态学报*, 2008, 19(6): 1331-1336.
- Wang W L, Liu Y, Ji X L, Wang G, Zhou H B. Effects of wheat-oilseed rape or wheat-garlic intercropping on the population dynamics of *Sitobion avenae* and its main natural enemies. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(6): 1331-1336. (in Chinese)
- [13] Fievet V, Dedryver C A, Plantegenest M, Simon J C, Outreman Y. Aphid colony turn-over influences the spatial distribution of the grain aphid *Sitobion avenae* over the wheat growing season. *Agricultural and Forest Entomology*, 2007, 9: 125-134.
- [14] 黄荣花, 叶正襄, 刘细保, 张耀文, 张献国. 用多次逐步回归周期分析法进行棉铃虫发生量的长期预测. *江西农业学报*, 1995, 7(2): 142-146.
- Huang R H, Ye Z X, Liu X B, Zhang Y W, Zhang X G. The long-term prediction of emergence size of *Heliothis armigera* by multitime stepwise regression periodic analysis. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 1995, 7(2): 142-146. (in Chinese)
- [15] 季 荣, 谢宝瑜, 李 哲, 李典谟, 孟冬丽. 基于 GIS 和 GS 的东亚飞蝗卵块空间格局的研究. *昆虫学报*, 2006, 49(3): 410-415.
- Ji R, Xie B Y, Li Z, Li D M, Meng D L. Spatial distribution of the Oriental migratory locust (Orthoptera: Acrididae) egg pods studied with GIS and GS. *Acta Entomologica Sinica*, 2006, 49(3): 410-415. (in Chinese)
- [16] 王正军, 李典谟, 谢宝瑜. 基于 GIS 和 GS 的棉铃虫卵空间分布与动态分析. *昆虫学报*, 2004, 47(1): 33-40.
- Wang Z J, Li D M, Xie B Y. Analysis on spatial distribution and dynamics of *Helicoverpa armigera* (Hübner) eggs, based on GIS and GS. *Acta Entomologica Sinica*, 2004, 47(1): 33-40. (in Chinese)
- [17] 王 瑞, 翟保平, 胡 高, 陈 晓, 沈慧梅. 基于地统计学方法的稻田灰飞虱与蜘蛛时空动态分析. *昆虫学报*, 2009, 52(1): 65-73.
- Wang R, Zhai B P, Hu G, Chen X, Shen H M. Analysis of spatio-temporal dynamics of *Laodelphax striatellus* (Fallén) (Homoptera: Delphacidae) and spiders in paddy fields based on geostatistics. *Acta Entomologica Sinica*, 2009, 52(1): 65-73. (in Chinese)
- [18] 陈 林, Korzukhin M D, 程登发, 陆庆光, 王福祥. 基于 GIS 和气

- 候、种群动态模型的红火蚁适生性分析. 植物保护学报, 2006, 33(4): 384-390.
- Chen L, Korzukhin M D, Cheng D F, Lu Q G, Wang F X. The Analysis for the fire ant *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) distribution in China based on 3S technology, climate model and colony dynamic model. *Acta Phytophylacica Sinica*, 2006, 33(4): 384-390. (in Chinese)
- [19] Tracz W. New analytical methods in forestry: integration of expert systems and artificial neural networks with GIS. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 2004, 7(1): 4.
- [20] James H S, Ryan R J. A hazards approach towards modelling Pandora moth risk. *Journal of Biogeography*, 2003, 30(12): 1899-1906.
- [21] 陈 林, 蒋旭东, 胡想顺, 田 喆, 程登发, 陆庆光. 基于 GIS 的麦长管蚜空间分布型分析. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006: 636-641.
- Chen L, Jiang X D, Hu X S, Tian Z, Cheng D F, Lu Q G. *The Analysis for the Spatial Distribution of Sitobion avenae (Fabricus)*. Beijing: China Agriculture Science and Technology Press, 2006: 636-641. (in Chinese)
- [22] 潘学标. 基于 GIS 的中国县域棉花生产空间分布与变异研究. 中国农业科学, 2003, 36(4): 382-386.
- Pang X B. Study on the spatial distribution and variation of cotton production in counties of china based on GIS. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(4): 382-386. (in Chinese)
- [23] 陈 林. 红火蚁(*Solenopsis invicta*)在我国的潜在分布研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2006.
- Chen L. Research on the potential geographic distribution of *Solenopsis invicta* in China[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2006. (in Chinese)
- [24] Castrignanò A, Maiorana M, Fornaro F. Using regionalised variables to assess field-scale spatiotemporal variability of soil impedance for different tillage management. *Biosystems Engineering*, 2003, 85(3): 381-392.
- [25] 吕昭智, 李进步, 田卫东, 田长彦. 生物多样性在害虫控制中的生态功能与机理. 干旱区研究, 2005, 22(3): 400-404.
- Lü Z Z, Li J B, Tian W D, Tian C Y. Ecological functions and mechanism of biodiversity in controlling insect pests in agro-ecosystems. *Arid Zone Research*, 2005, 22(3): 400-404. (in Chinese)
- [26] Young C L, Wright M G. Seasonal and spatial distribution of banana aphid, *Pentalonia nigronervosa* (Hemiptera: Aphididae), in banana plantations on Oahu. *Proceedings of the Hawaiian Entomological Society*, 2005, 37: 73-80.

(责任编辑 毕京翠, 李 莉)