

王琳, 包云轩, 谢晓金, 等. 基于地统计法的稻纵卷叶螟时空变化特征[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(1): 50-55.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2017.01.008

基于地统计法的稻纵卷叶螟时空变化特征

王琳¹, 包云轩¹, 谢晓金¹, 李玉婷¹, 朱凤²

(1. 南京信息工程大学江苏省农业气象重点实验室, 江苏 南京 210044; 2. 江苏省植物保护站, 江苏 南京 210013)

摘要: 为了研究稻纵卷叶螟的时空变化特征, 利用 2013 年中国南方稻区稻纵卷叶螟监测数据, 应用地统计方法和地理信息系统技术, 分析了田间蛾量的空间结构参数, 绘制其空间分布图, 并分析了稻纵卷叶螟的空间分布格局及其重心的时间变化特点。结果表明, 稻纵卷叶螟的分布具有显著的空间自相关性和空间连续性, 空间相关距离在 1 000 km 左右。稻纵卷叶螟在宏观尺度呈现显著的南北向和东西向变化特征, 而且这种格局随着时间变化而变化。5-8 月, 稻纵卷叶螟集中爆发区和分布重心不断北移, 9-10 月不断南移。以南雄市站点为代表的华南稻区呈现双迁入峰, 以高邮市站点为代表的长江中下游稻区呈现单迁入峰。说明基于地统计学的空间分析技术, 能够有效地获取稻纵卷叶螟的时空分布信息, 从而为及时掌握害虫种群动态和早期预报预警提供参考。

关键词: 稻纵卷叶螟; 地统计; 空间分布; 迁移轨迹

中图分类号: S435.112⁺.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2017)01-0050-06

Spatio-temporal characteristics of rice leaf rollers (*Cnaphalocrocis medinalis*) based on geostatistics method

WANG Lin¹, BAO Yun-xuan¹, XIE Xiao-jin¹, LI Yu-ting¹, ZHU Feng²

(1. Jiangsu Key Laboratory of Agricultural Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2. Jiangsu Province Plant Protection Station, Nanjing 210013, China)

Abstract: The rice leaf roller (*Cnaphalocrocis medinalis*) is a major migration pest in China, causing serious damages to rice production. In order to make researches on its spatio-temporal patterns, based on geostatistics and geographical information system, the spatial patterns of the rice leaf rollers and their dynamical changes were analyzed, and their spatial structures features in 2013 were obtained. The monitoring data from the south rice area, China, observed in 2013 were taken for example. The spatial distribution patterns and the gravity centers of rice leaf rollers were mapped. The results showed that the rice leaf rollers was aggregated in space and had marked auto-correlation and spatial continuity, and the average spatial correlated range was about 1 000 km. The rice leaf rollers had obviously both of zonal and meridional spatial

收稿日期: 2016-03-11

基金项目: 国家公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306053);
国家自然科学基金面上项目(41475106); 国家自然科学基金
基金项目(31601221)

作者简介: 王琳(1977-), 女, 山东枣庄人, 博士, 副教授, 主要从事农业气象研究, (Tel) 025-58699901; (E-mail) linwangnuist@hotmail.com

通讯作者: 包云轩, (Tel) 025-58699923; (E-mail) baoyx@nuist.edu.cn

distribution, which changed with time. From May to August, the hard-hit areas and gravity centers of rice leaf rollers continuously migrated northward, while they migrated southward during September to October. In southern China, like Nanxiong station, rice leaf rollers had double peaks during one year. And in the Middle-lower Reaches of Yangtze River Basin, like Gaoyou station, they had only one peak. The results of this paper illustrated that spatial analysis technology based on geostatistics could provide strong evidence for spatio-temporal characteristics of rice

leaf rollers and supply scientific foundation for population dynamics monitoring and early warning.

Key words: rice leaf roller; geostatistics; spatial distribution; migration trajectory

稻纵卷叶螟(*Cnaphalocrocis medinalis*),是中国水稻产区的主要害虫之一。自上世纪60年代起,爆发频率不断增加,为害程度逐渐加重。它们多以幼虫为害水稻叶片,啃食叶肉细胞,降低水稻光合作用,造成水稻减产10%~15%,甚至可达50%以上,对中国粮食安全构成了严重威胁^[1-3]。稻纵卷叶螟具有突发性和远距离迁飞性,爆发时间不固定,空间分布不均匀,给田间调查和防治工作带来很大困难。掌握迁飞性虫害的田间分布信息及其动态变化,是虫灾预测和灾损评估的关键所在,也是研究其种群特征与环境因子关系的重要手段^[4]。过去对稻纵卷叶螟的研究多侧重于害虫生物学特征和迁飞轨迹推算的研究^[5-7]。关于地面虫情时空变化的研究较少。传统的地面稻纵卷叶螟监测一般依靠人工调查,以点代面,进行数据收集。由于人力和时间的限制,调查数据往往仅限于离散的测报站点附近,其他区域数值未知。稻纵卷叶螟生存的环境因子是复杂多变的,这就决定了其种群结构和分布具有空间异质性。如果单纯地用离散样点数据来代表整个区域情况,将会给监测和预测带来较大偏差。事实上,害虫种群在空间分布上并不是离散的,而是连续的^[8]。虫害管理就需要连续的详细地面虫情信息。虫情的数值大小在空间上是相互关联的,距离越近,往往数值也越相近,这种性质叫做空间自相关^[9]。作为迁飞性昆虫,稻纵卷叶螟的迁飞和扩散往往由食物资源或环境因素引起,它们一般都呈有规律的空间分布格局,因此稻纵卷叶螟的种群间也存在相互联系。它们的空间分布不应是纯随机的,而是既有随机性又有结构性的变量。这种变量属于典型的区域化变量。地统计学(Geostatistics),就是以区域化变量理论为基础,对变量的空间结构进行定量描述,并对未采样位置进行数值预测。它考虑了离散数据间的空间相关性,能够最大限度地利用站点数据,揭示样点间的空间相关性,对空间异质性进行模拟,并在此基础上进行空间插值,估测未采样点的数值,从而获得连续的面状数据^[10-11]。而传统统计学的研究对象是纯随机变量,忽视了地理变量之间的空间相关性,只能概括描述该变量在研究区中的全貌,无法反映其局部变化特征^[12],不适合迁飞性害

虫的空间特征研究。地统计学可以有效弥补传统统计学的不足,目前广泛应用于地质、气象、土壤、经济等研究领域,并在虫害研究中崭露头角,为虫害研究开辟了新的有效途径^[13]。例如石根生等^[14]分析了区域尺度上稻纵卷叶螟时间格局上的自相关性。王海建等^[15]、王瑞等^[16]、闫香慧等^[17]等探讨了利用地统计学模拟稻飞虱在田间尺度的空间分布规律。作为较新的发展方向,目前地统计学在病虫害上的应用多集中在种群时间动态变化上,关于空间分布的研究较少。而且少数的空间分析又多限于田间小尺度,宏观尺度研究较少。宏观尺度的研究不仅有利于虫源、害虫迁入迁出轨迹的分析,还有助于分析环境因子对其空间及动态变化的作用机制。本研究以2013年中国主要稻区的稻纵卷叶螟数据为例,借助于地统计学方法,结合地理信息系统技术,分析稻纵卷叶螟的空间结构特征,绘制空间分布图,分析其动态变化规律,为提高病虫害动态监测和田间管理效率提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区范围与数据来源

研究区范围按省级行政区确定,包括江苏、上海、安徽、河南、浙江、福建、江西、湖北、湖南、广东、广西、海南、重庆、贵州、四川、云南16省(市)。研究区范围及测报站点分布见图1。该区域是中国水稻主产区,也是历年来稻纵卷叶螟高发区。受东部季风显著影响,气候温暖湿润,土壤肥沃。2013年是全国稻纵卷叶螟的大爆发年,在各稻区均有发生,发生面积广,为害程度较重。

稻纵卷叶螟数据来源于2013年5-10月的全国测报站点逐日观测资料。由于站点的平均蛾量数据往往缺失,选用最高蛾量代表虫情信息。

1.2 数据处理

利用EXCEL软件对稻纵卷叶螟日测数据进行统计,获得逐月平均值。利用GS+(V3.1)软件分析稻纵卷叶螟月均值的空间结构特征,构建半方差模型,并进行普通克里格插值。由于稻纵卷叶螟蛾量数据呈现严重的偏态分布,对其进行了对数转换,使之接近正态分布,并在出图前进行乘方逆运算,从而

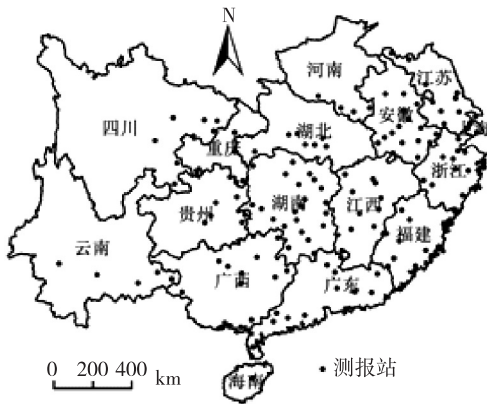


图1 研究区稻纵卷叶螟测报站点分布

Fig.1 The distribution of rice leaf roller observation stations in the study area

获得最终的稻纵卷叶螟蛾量空间分布图。在空间结构分析中,最大搜索半径设为1 300 km,步长设为100 km。为了消除不同月份间方差量级的差异,对半方差函数进行了标准化处理。

借助 ArcGIS 和 EXCEL 软件,计算逐月蛾量的分布重心,并绘制它们的迁移路径。重心计算模型如下^[18]:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n P_i x_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (1)$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n P_i y_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

式中, X, Y 分别为各个变量的分布重心坐标, (x_i, y_i) 为各个测报站点坐标, P_i 为蛾量的观测值。

2 结果与分析

2.1 稻纵卷叶螟蛾量描述性统计

基于测报站点数据计算的 2013 年整个研究区稻纵卷叶螟蛾量的描述性统计参数:田间蛾量平均值为 1 hm^2 5 489 头,最高达 1 hm^2 202 500 头,最小值为 1 hm^2 0 头,标准差 (1 hm^2 12 773 头)、变异系数 (232.7%)、偏度 (6.9) 和峰度 (78.2) 都较大,呈严重的偏态分布。

图 2 是 2013 年月均稻纵卷叶螟蛾量的变化曲线。可以看出,在整个研究区,蛾量呈现先增加后降低的变化规律,曲线类似抛物线。其中 5–8 月,蛾量处于缓慢增长阶段,5 月份平均蛾量不到 1 hm^2 3 000 头,8 月份达到 1 hm^2 约 7 500 头,之后迅速增长,在 9 月份达到峰值, 1 hm^2 接近 13 500 头,进入 10 月后又急剧下降,约 1 hm^2 3 450 头。

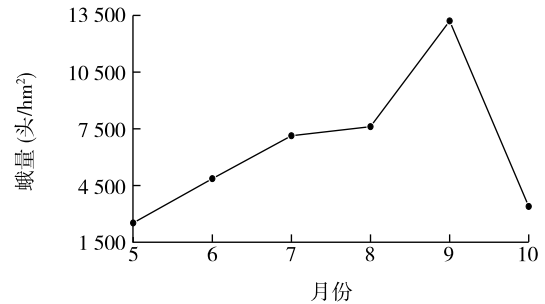


图2 不同月份月均稻纵卷叶螟蛾量的变化趋势

Fig.2 Monthly changes of rice leaf roller moths

2.2 稻纵卷叶螟蛾量时间变化规律

选择广东阳春和江苏高邮两个测报站点的蛾量数据,分别构建时间序列曲线(图 3),以对比不同稻区稻纵卷叶螟的时间变化规律。首先,在不同稻区,蛾量差异很大,阳春点各月蛾量和总量都远低于高邮点。其次,稻纵卷叶螟的种群消长动态不同。阳春站点位于华南稻区,在一年内出现 2 个蛾量高峰期。第 1 个是早稻发蛾高峰期,开始于 5 月初,持续到 6 月中旬,在 6 月初达到峰值;第 2 个高峰期是晚稻发蛾高峰期,出现于 9 月初至 10 月中旬,在 10 月初达到峰值。高邮站点位于长江中下游稻区,蛾量表现为 1 个主要高峰期,持续时间较长。从 8 月初开始,一直持续到 9 月底,在 8 月底至 9 月上中旬达到最大值。

2.3 稻纵卷叶螟种群空间结构

各个月份的稻纵卷叶螟蛾量空间结构均可以用球状模型拟合,拟合参数见表 1。蛾量变程在 900 km 至 1 200 km 之间波动,平均值约为 1 000 km。这一空间相关尺度大致与一个省的跨度相当。

这些模型拟合的块金系数为 7%~44%,说明在全国尺度上,稻纵卷叶螟的分布以结构性成分为主,随机性成分所占比例较小。Sciarretta 等^[11]认为如果块金系数小于 0.8,就意味着其空间分布是聚集型的。据此判断,在全国尺度上,稻纵卷叶螟种群在各个月份均呈空间聚集型,说明稻纵卷叶螟的空间分布受结构性因子的影响为主。这些结构性因子主要源于稻纵卷叶螟的生态环境,如气温、降水、湿度等气象因子,都具有内在的变异规律。同时,农业系统本身也具有内在的空间异质性,如土壤肥力、土壤保水性、微气候、作物种类、作物生产力等。

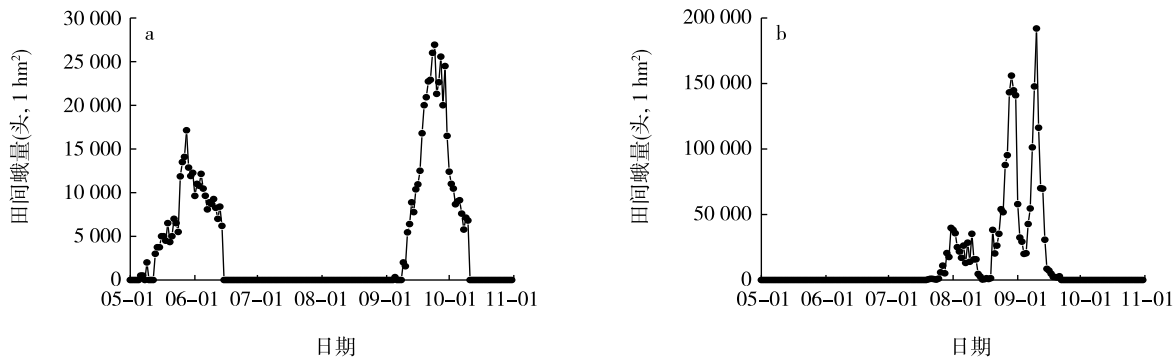


图3 广东阳春(a)和江苏高邮(b)稻纵卷叶螟田间蛾量动态变化
Fig.3 Dynamics of rice leaf roller moths in the Yangchun station, Guangdong Province (a), and Gaoyou station, Jiangsu Province (b)

表1 稻纵卷叶螟蛾量的半方差模型参数

Table 1 Coefficients of semivariogram models for rice leaf roller moths

月份	块金值 (C_0)	基台值 (C_0+C)	块金系数 [$C_0/(C_0+C)$] (%)	变程 (km)	决定系数 (R^2)
5	0.29	1.45	20	1 154	0.97
6	0.23	1.36	17	1 215	0.97
7	0.42	1.12	38	1 026	0.94
8	0.46	1.05	44	900	0.66
9	0.40	1.10	36	900	0.64
10	0.10	1.40	7	1 100	0.96

在不同月份,稻纵卷叶螟的空间结构也不同。其中5、6、10月份的空间结构参数相似,块金值和块金系数都较小,变程较大,具有强空间自相关性^[19]。这表明在虫情为害程度较轻的时期,结构性成分所占比例较大,随机性成分所占比例较小,空间分布连续性强。7-9月份变程较小,块金系数和块金值较大,属于中等空间自相关性。这说明在虫情集中爆发的时间,随机性成分所占比例增加,稻纵卷叶螟空间连续性较弱。并且从6月到8月,变程有不断缩小趋势,而块金系数有不断增大趋势。这进一步表明随虫情发展,结构性成分比例趋于下降,随机性成分比例不断增加,随机性因子的影响力逐渐变大。随机性因子可能包括作物长势差异、种植制度差异、田间管理差异、采样误差等。

2.4 稻纵卷叶螟空间分布

图4是空间插值后的逐月稻纵卷叶螟蛾量空间分布图。可以看出,2013年稻纵卷叶螟为害区

域集中在华南、长江中下游地区及西南地区东部。随着时间推移,虫害集中爆发区及其范围也发生变化。

5月份,虫情集中出现在华南稻区,如广西、广东一带。蛾量大多在1 hm² 300头至1 300头之间。约84.0%的区域蛾量低于1 hm² 1 500头,0.2%的地区蛾量高于1 hm² 15 000头。6月份,虫害影响范围向北扩展到福建、江西、湖南、浙江等地。约4%的区域蛾量高于1 hm² 15 000头,主要分布于广西和湖南交界地带,而低于1 hm² 1 500头的范围缩小到64%。

到了7月份,虫害影响范围进一步北移扩大,主要位于研究区中部,包括浙江、江西、湖南、重庆、贵州等大部分区域,以及江苏南部、云南西部、湖北南部等地。此时华南地区虫情较弱。蛾量高于1 hm² 15 000头的区域增加到6%,不足1 hm² 1 500头的区域缩小到48%。在8月份,稻纵卷叶螟的分布范围继续北移,主要位于长江中下游地区,蛾量自东北沿海向西南内陆有递减趋势,以江苏沿海尤为严重,华南地区虫情依然较弱。蛾量高于1 hm² 15 000头的面积有所减少(3%),低于1 hm² 1 500头的区域维持上一个月的水平。

在9月份,稻纵卷叶螟集中爆发区开始南移,但仍集中于东部沿海一带,如江苏、安徽、江西、广东等地,西部地区蛾量很少。高于1 hm² 15 000头的区域扩大到10%,不足1 hm² 1 500头的区域仍占48%左右。到了10月份,稻纵卷叶螟集中爆发区进一步南移,蛾量及其分布范围大大缩小,空间分布规律与5月份相似,主要出现在华南南部(广东、广西南部,以及海南)。

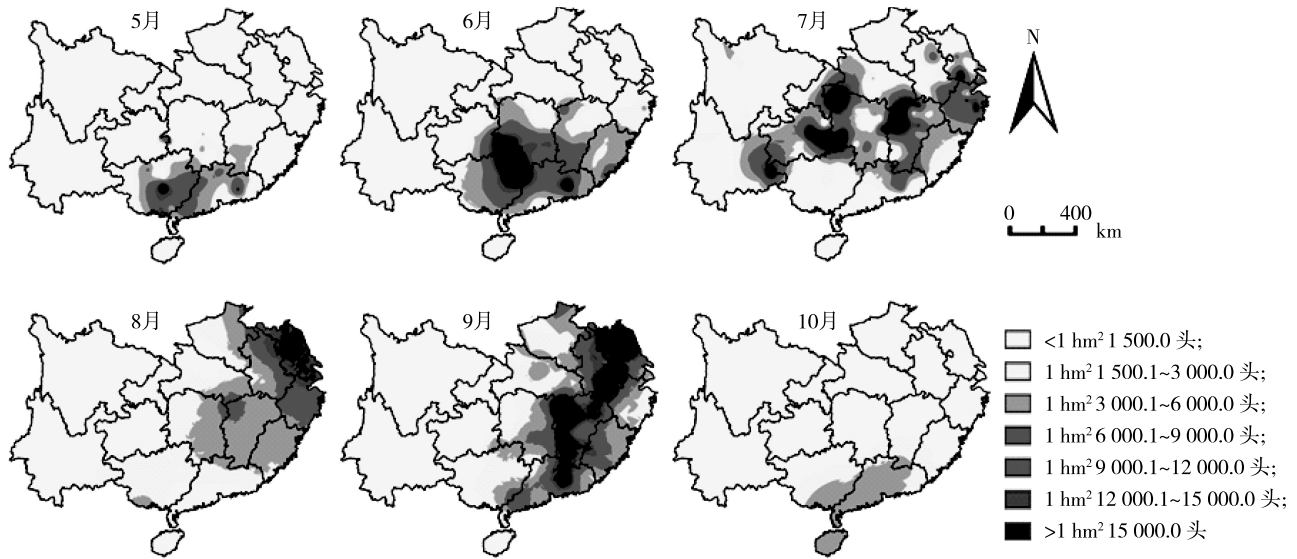


图 4 稻纵卷叶螟田间蛾量空间分布

Fig.4 Spatial distribution of rice leaf roller moths

从稻纵卷叶螟空间分布重心及其迁移轨迹图(图 5)来看,南北向是稻纵卷叶螟迁飞和扩散的主要方向。5-8 月份,稻纵卷叶螟的重心逐渐北移,其中 5 月份重心位于广东、广西交界一带,6 月移至湖南南部,7 月移至湖南与江西交界处,8 月移至安徽与江西交界处。在 9-10 月份,重心呈现南移的趋势,9 月移至江西北部,10 月移至广东中部。除了南北向,稻纵卷叶螟分布重心也有东西向的迁移特征,5-8 月趋于向东部沿海迁移,8-10 月偏于向西部内陆迁移。

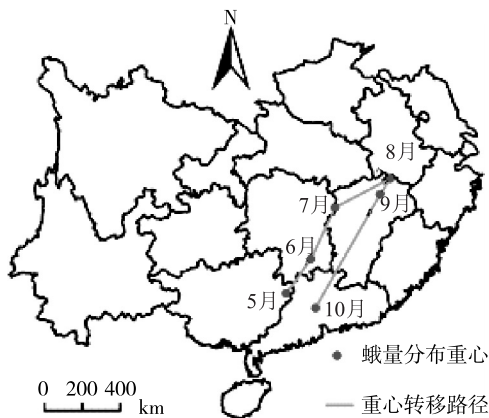


图 5 稻纵卷叶螟田间蛾量分布重心及其迁移轨迹

Fig.5 Spatial gravity centers and their migration trajectory of rice leaf roller moths

3 讨论

本研究利用地统计学方法,通过半方差模型拟合,获得了稻纵卷叶螟的空间结构参数。研究结果表明,稻纵卷叶螟在全国尺度上具有显著的空间相关性,在宏观尺度上具有很强的空间连续性,不是随机分布的。这进一步证明了地统计学方法在虫害监测中的应用价值,也为害虫种群空间分布图的绘制和大发生的预测预报提供了可能。

稻纵卷叶螟的空间相关距离达到 1 000 km,远大于其他迁飞性害虫。王正军等^[4]认为棉铃虫卵的空间相关距离介于 115 km 和 490 km 之间。Liebhold 等^[8]证明舞毒蛾卵块在 25~50 km 范围内具有显著的空间相关性。Kemp 等^[9]证明蝗虫在 1~100 km 范围内存在空间相关性。稻纵卷叶螟的这种空间相关性,意味着 1 000 km 左右的采样间距能够满足宏观尺度监测要求,而目前测报站间距普遍小于 1 000 km,因此站点分布基本合理。这种采样间距合理性的判断,能够为将来采样调查和测报站的布设提供参考信息。

本研究通过数据插值绘制了不同月份稻纵卷叶螟的空间分布图,探讨了其空间分布格局的动态变化,并获得了重心迁移轨迹。结果显示,稻纵卷叶螟的分布范围及其重心随时间不同而不同,5-8 月自

南向北推移,8月之后自北向南推移。这一变化规律与前人关于稻纵卷叶螟迁飞规律的研究结论一致,进一步证实了稻纵卷叶螟存在大范围的南北往返迁飞现象。张孝羲等^[20]认为,稻纵卷叶螟每年3-8月有5次不断的由南向北的迁飞过程,从8月底到10月又有3次不断的由北向南的回迁过程。每年春季稻纵卷叶螟从中南半岛陆续迁入中国华南地区,这里成为境外虫源迁入中国第1站。5月底-8月初,稻纵卷叶螟开始从华南迁出,不断向长江中下游稻区迁飞。因此7-8月份,华南地区蛾量很少,而在长江中下游地区蛾量出现高峰期。8月下旬开始陆续南迁,直到10月底逐渐迁出中国大陆地区^[20-22]。稻纵卷叶螟在时空分布上的这种不均匀性,与其生境条件密不可分^[23-27]。例如,在长江中下游地区,以单季稻为主的栽培制度为稻纵卷叶螟提供了适宜的生存环境和食料条件。

本研究结果可为及时掌握稻纵卷叶螟种群动态和早期预报预警提供理论参考,有利于优化监测站点的布设方案,能够有效促进虫害管理和风险评估的发展。下一步将考虑利用更长时间序列的稻纵卷叶螟数据,研究其时空分布规律,以验证研究结果的稳定性和可靠性。

参考文献:

- [1] 周奋启,康晓霞,陈银凤,等.扬州市邗江区稻纵卷叶螟发生特点及防治技术[J].江苏农业科学,2016,44(3):140-145.
- [2] 李云瑞.农业昆虫学(南方本)[M].北京:中国农业出版社,2002:42-43.
- [3] 王凤英,黎柳锋,廖世纯,等.广西不同稻作区稻纵卷叶螟发生动态分析[J].南方农业学报,2015,46(7):1218-1222.
- [4] 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[J].昆虫学报,2004,47(1):33-40.
- [5] 高月波,陈晓,陈钟荣,等.稻纵卷叶螟(*Cnaphalocrocis medinalis*)迁飞的多普勒昆虫雷达观测及动态[J].生态学报,2008,28(11):5238-5247.
- [6] 蒋春先,齐会会,孙明阳,等.2010年广西兴安地区稻纵卷叶螟发生动态及迁飞轨迹分析[J].生态学报,2011,31(21):6495-6504.
- [7] 张孝羲,耿济国,周威君.我国稻纵卷叶螟(*Cnaphalocrocis medinalis* Guenée)迁飞规律的研究[J].南京农学院学报,1981(3):43-54.
- [8] LIEBHOLD A M, ROSSI R E, KEMP W P. Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology[J]. Annual Review Entomology, 1993, 38: 303-327.
- [9] KEMP W P, KALARIS T M, QUIMBY W F. Rangeland grasshopper (Orthoptera: Acrididae) spatial variability: macroscale population assessment[J]. Journal of Economic Entomology, 1989, 82(5): 1270-1276.
- [10] WEBSTER R, OLIVER M A. Geostatistics for environmental scientists[M]. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2001: 55-60.
- [11] SCIARRETTA A, TREMATERRA P. Geostatistical tools for the study of insect spatial distribution: practical implications in the integrated management of orchard and vineyard pests[J]. Plant Protection Science, 2014, 50(2): 97-110.
- [12] 周强,张润杰,古德祥.地质统计学在昆虫种群空间结构研究中的应用概述[J].动物学研究,1998,19(6):482-488.
- [13] IFOULIS A A, SAVOPOULOU-SOULTANI M. Use of geostatistical analysis to characterize the spatial distribution of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) Larvae in Northern Greece[J]. Environmental Entomology, 2006, 35(2): 497-506.
- [14] 石根生,周立阳,张孝羲.稻纵卷叶螟种群动态的地统计学分析[J].南京农业大学学报,1998,21(3):26-31.
- [15] 王海建,蒋春先,武俊杰,等.广西兴安地区中稻田白背飞虱若虫空间分布研究[J].四川农业大学学报,2013,31(1):87-92.
- [16] 王瑞,翟保平,胡高,等.基于地统计学方法的稻田灰飞虱与蜘蛛时空动态分析[J].昆虫学报,2009,52(1):65-73.
- [17] 闫香慧,赵志模,刘怀,等.白背飞虱若虫空间格局的地统计学分析[J].中国农业科学,2010,43(3):497-506.
- [18] 李在军,管卫华,柯文前.中国区域消费与经济、人口重心演变的时间多尺度研究[J].经济地理,2014,34(1):7-14.
- [19] CAMBARDELLA C A, MOORMAN T B, Novak J M, et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58(5): 1501-1511.
- [20] 张孝羲,陆自强,耿济国,等.稻纵卷叶螟迁飞途径的研究[J].昆虫学报,1980,23(2):130-140.
- [21] 包云轩,王永平,严明良,等.2003年我国稻纵卷叶螟发生特征及其灾变大气背景的研究[J].气象科学,2008,28(2):184-189.
- [22] 全国稻纵卷叶螟研究协作组.我国稻纵卷叶螟迁飞规律研究进展[J].中国农业科学,1981,14(5):1-8.
- [23] 江苏省植物保护站.农作物主要病虫害预测预报与防治[M].南京:江苏科学技术出版社,2006:89-100.
- [24] 王凤英,胡高,陈晓,等.近年来广西南宁稻纵卷叶螟大发生原因分析[J].中国水稻科学,2009,23(5):537-545.
- [25] 张左生,王功满.稻纵卷叶螟的防治[M].上海:上海科学技术出版社,1988:1-59.
- [26] 王翠花,包云轩,王建强,等.2003年稻纵卷叶螟大发生的水汽条件分析[J].应用生态学报,2006,17(9):1693-1698.
- [27] 白先达,唐广田,张雅昕,等.稻纵卷叶螟发生的气象条件等级预报[J].中国农业气象,2010,31(4):607-611.

(责任编辑:张震林)