

棉铃虫成虫种群空间结构的研究

葛绍奎, 李典谟*, 张广学

(中国科学院动物研究所, 北京 100080)

摘要: 利用性诱捕器调查了棉铃虫越冬代至 3 代棉铃虫成虫种群的种群密度, 而后用 4 种地统计模型拟合其种群的空间结构, 并分析它们的空间关系, 其结果如下: (1) 越冬代种群在全方位、 90° 及 135° 方向上空间模型均为线型; 在 0° 及 45° 方向上分别为球型和指数型, 模型的参数表明越冬代成虫的空间相关距离为 $6.01 \sim 8.01$ 空间单位 (单位为 100m, 下同), 异质系数为 $54.60 \sim 83.50$, 空间依赖度为 $150.00 \sim 180.60$ 。 (2) 一代种群在全方位、 0° 、 45° 、 90° 及 135° 方向上的空间模型分别为线型、球型、线型、球型和球型; 模型的种群参数表明一代成虫的空间异质系数是 $536.00 \sim 588.10$, 相关距离为 $16.02 \sim 19.07$ 空间单位, 空间取样方差约是 2600。 (3) 二代成虫在全方位、 0° 和 45° 方向的空间模型均为指数型, 在 90° 及 135° 方向的模型均为球型; 模型的参数表明二代成虫的空间异质系数为 $5.56 \sim 25.93$, 空间取样方差是 $53.49 \sim 64.96$, 相关距离为 $4.54 \sim 5.33$ 空间单位。 (4) 三代种群在全方位、 0° 、 45° 、 90° 及 135° 方向的模型分别为指数型、球型、指数型、线型和指数型, 模型的参数表明三代成虫的空间异质系数为 $291.93 \sim 493.67$, 空间取样方差为 $1199.53 \sim 2311.72$, 相关距离是 $4.31 \sim 5.33$ 。

关键词: 棉铃虫; 空间结构; 模型

A study on spatial structures of the adult population of the cotton bollworm (*Helicoverpa armigera*)

GE Shao-Kui, LI Dian-Mo, ZHANG Guang-Xue (Institute of Zoology, Academia Sinica, Beijing 100080, China)

Abstract: The densities of adult population were investigated by pheromone-trap from the overwintering generation to the third generation. The spatial models would be simulated by four types of models in geo-statistics, and simultaneously their spatial relationships were also analyzed, the results could be made: (1) In the overwintering generation, the spatial structures were simulated by linear models in the directions of omnidirection, 90° and 135° ; but the spatial structures were described by spherical model and exponential model, respectively, in the direction of 0° and 45° . The ranges of spatial were $6.01 \sim 8.01$ units (per unit is 100 m), the sample variance were $150 \sim 180$, the degrees of heterogeneity were $54.6 \sim 83.5$. (2) In the first generation, the spatial structure were simulated by linear models in the directions of both omnidirection and 45° , but each of spatial structures were exhibited spherical models in the other three directions: 0° , 45° and 135° . The ranges of spatial dependence were $16.02 \sim 19.07$ units, the sample variance were 2600 or so, the degrees of heterogeneity were $536.10 \sim 588.10$. (3) In the second generation, models of the spatial structures were exponential with the exceptions of the directional analyses in the other two directions (90° , 135°), which were spherical models. The ranges of spatial dependence were $4.54 \sim 5.33$ units, the sample variance were $53.49 \sim 64.96$, and the degrees of heterogeneity were $5.56 \sim 25.93$. (4) In the third generation, the spatial structures were simulated by exponential model in three directions: omnidirection, 45° and 135° , but the spatial model was spherical in the direction of 0° , and the model was linear in the

基金项目: 国家“九五”攻关项目和中国科学院“九五”重大项目的资助

收稿日期: 1998-05-15; 修订日期: 1999-04-24

* 通讯作者 万方数据

作者简介: 葛绍奎 (1967~), 男, 副研究员。

direction of 90°. The ranges of spatial dependence were 4.31~5.33 units, the indexes of spatial dependence were 1199.53~2311.72, and the degrees of heterogeneity were 219.93~610.64.

Key words: cotton bollworm; spatial structure; models

文章编号: 1000-0933(2000)03-0485-05 中图分类号: Q958, Q968 文献标识码: A

棉铃虫具有食性杂、繁殖率高和迁移性强的特点,能够在区域性农田生态系统中的多种作物上发生和为害,对于这种分布广、流动性强的害虫必须实行区域性种群管理^[1,2]。区域性农田景观具有高度的异质性,这一特性作用于种群空间结构的形成过程,产生了特异性的空间型及其空间关系,影响了种群的空间取样和种间关系^[3],因此为了对棉铃虫种群实行科学的区域性种群管理,必须对棉铃虫的空间结构进行深入的研究,为建立有效的取样规程和防治策略提供理论依据。

目前,对棉铃虫幼虫种群空间结构已进行了研究,通过农田生态系统中幼虫种群密度的取样调查,利用密度的平均数与方差的关系,计算不同的空间参数,确定概率形式下的空间结构,其研究结果对幼虫的取样调查及防治方案的制定都具有重要的理论指导意义^[4,5]。但由于成虫的飞翔能力较强,无法进行类似的取样调查,因而至今仍没有对成虫种群空间结构的开展深入的研究。本研究使用性诱捕器调查成虫种群的田间密度,并借助于地统计学的方法开展棉铃虫成虫种群空间结构的研究,为区域性种群管理给予科学指导。

1 调查与分析方法

1.1 种群密度的调查

当 1~4 代棉铃虫成虫发生时,分别在麦田(越冬代)、棉田(1~3 代)设置诱捕器,不同诱捕器的相互距离为 100m,高度随作物的高度而变化,一般要求高于作物 10cm 左右,诱捕器的直径为 35cm,其中要保持足够的水(水面低于诱芯 2cm,并放入少量的洗衣粉),诱芯为吸附 2mg 性信息素的瓶塞型天然橡胶制品。每天调查诱捕器内的成虫数量,最终以每个诱捕器的累计诱蛾量代表取样点种群的密度。

1.2 数据分析

1.2.1 半方差的计算

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

其中, h 为空间位置的迟滞距离; $N(h)$ 为空间相距 h 的样本对数; $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$ 分别是空间距离为 h 的空间两点 x_i , $x_i + h$ 的向量值。

1.2.2 空间结构模型的拟合 根据不同 h 值,在不同方向上(总体、0°、45°、90°和 135°共 5 种),求出不同的半方差 $\hat{\gamma}(h)$;然后以 h 为自变量, $\hat{\gamma}(h)$ 为因变量,运用不同空间结构模型拟合,确定适宜的空间结构型。

常见的理论模型有以下 4 种:

(A)线性模型

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 h$$

(B)球形模型

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left(\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right) \quad h \in [0, a]$$

或

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \quad h \geq a$$

(C)指数模型:

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left(1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right)$$

(D)高斯模型:

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left(1 - \exp\left(-\frac{h^2}{a^2}\right) \right)$$

万方数据

1.3 空间结构参数 C_0 , Sill 和 a 的含义

C_0 。它是曲线在 y 轴的截距,在地统计学中称为“块金系统”,包括观测误差和取样尺度下的微观结构差异;在种群生态学中可以用它表示种群的异质性,这种异质性是由环境异质性和取样误差所导致的,因此它在本研究中称为异质系数(Index of heterogeneity)。

a 在地统计学中称为“变程”,其含义是空间相关的范围(Range of spatial dependence),在种群生态中可指示种群空间相关的距离。

$Sill=C_0+C_1$ 在地统计学中称为“基台值”,当 $h\geq a$ 时,空间相关性消失,空间结构由聚集型转换为随机型,方差值是取样方差,在空间生态学的研究中可以用来表示空间取样方差(Sample variance)。

2 结果与分析

2.1 越冬代棉铃虫种群的空间结构

5月上旬是棉铃虫越冬代种群成虫的发生期,据此期间设置在麦田中的诱捕器的累计诱蛾量,进行空间结构模型的拟合,并计算空间结构的特征参数(表1)。结果表明:越冬代的空间结构在全方位、 90° 及 135° 方向上均为线型,变程与平台值是不确定的;而 0° 与 45° 方向分别为球型与指数型,它们的相关距离与空间依赖性系数分别是8.01、150.00和6.01、180.60。全方位、 0° 、 45° 、 90° 、 135° 方向上异质性系数依次为83.50、73.60、57.10、54.60、68.70,这些数值表明了不同方向空间结构的异质性;在全方位、 90° 、 135° 取样时,空间结构模型为线型,说明在这一取样尺度下种群是随机分布的,而在 0° 、 45° 取样时种群是高度聚集分布的,因此棉铃虫越冬种群的空间分布随机性大,相关距离近,空间异质性大,空间依赖性弱;这可能由于越冬代越冬能量消耗后,飞行能力弱所造成的结果。

2.2 一代成虫的空间结构和特征参数

一代成虫发生期,调查棉田中诱捕器的诱蛾量,空间结构及特征参数的分析(表2)表明: 0° 、 90° 、 135° 方向空间结构均为球型,空间分布高度聚集,而全方位、 45° 方向为线型,在取样尺度下空间分布是均匀或随机分布。总的说来,一代成虫的空间相关距离远,相关距离为16.02~19.07,空间异质性大,在不同方向其系数分别为588.10、536.00、584.00、563.00、587.00,在取样的空间尺度下种群的异质性大;空间依赖性强;这些空间分布的特性与一代成虫由麦田向棉田的扩散转移有关;一方面,生活在不同麦田系统的种群,其营养状况具有差异性,棉田种群由不同的麦田种群扩散而来,种群生理营养条件的不同造成了种群的差异性;另一方面,棉田品种和生育期的差别也导致了棉铃虫种群生存空间的异质性,因此扩散距离和营养生理条件的异质性形成了种群空间结构的依赖性高和异质性大。

2.3 二代成虫的空间结构和特征参数

二代成虫发生期,通过在棉田中诱捕器的诱蛾数量的调查,经过空间结构分析(表3),可获得如下结果:全

表1 越冬代成虫空间结构模型及特征参数

Table 1 The spatial structure of the cotton bollworm in the overwintering generation					
方向	模型	相关范围	取样方差	异质系数	决定系数
Direction	Model	Range of depend- ence	Sample variance	Index of hetero- geneity	Coefficient of determination
全方位 ^①	线型 ^②	>7.96	>164.30	83.50	0.72
0°	球型 ^③	8.01	150.00	73.60	0.61
45°	指数型 ^④	6.01	180.60	57.10	0.62
90°	线型 ^⑤	>4.61	>216.00	54.60	0.62
135°	线型 ^⑥	>20.99	>172.3	68.70	0.63

①Omnidirection ②Linear model ③Spherical model
④Exponential model ⑤Linear model ⑥Linear model

方位、 0° 、 45° 方向的空间结构均为指数型,而 90° 、 135° 方向为球型;其空间相关距离较近,均为5m左右,空间依赖性弱,空间异质性小(系数为25.93~5.56)。这种空间结构与特征是因为二代成虫主要附近棉田进行取食、产卵等生存活动,同时棉花生长处于蕾铃盛期,适于棉铃虫取食产卵的空间资源充足且分布均匀,因而棉铃虫种群的空间依赖性弱,相关距离近。

2.4 三代成虫的空间结构和特征参数

通过三代成虫的诱捕数量调查,经过空间模型的模拟分析(表4),表明三代成虫在全方位、 45° 、 135° 方向上的空间结构为指数型,而在 0° 方向为球型,在 90° 方向为线型;除线型(线型是随机分布)外,其空间分布为高度聚集;三代成虫的相关距离也比较近,相关范围为4.31~

表 2 一代成虫空间模型及特征参数

Table 2 The spatial structure of the cotton bollworm in the first generation					
方向	模型	相关范围	取样方差	异质系数	决定系数
Direction	Model	Range of depend- ence	Sample variance	Index of hetero- geneity	Coefficient of determination
全方位 ^①	线型 ^②	>10.00	>2208	588.10	0.95
0°	球型 ^③	19.07	2614.0	536.00	0.89
45°	线型 ^④	>8.63	>2243.4	584.00	0.90
90°	球型 ^⑤	16.02	2602.0	563.00	0.89
135°	球型 ^⑥	18.71	2610.0	587.00	0.88

①Omnidirection ②Linear model ③Spherical model
④Linear model ⑤Spherical model ⑥Spherical model

表 3 二代成虫空间结构模型及特征参数

Table 3 The spatial structure of the cotton bollworm in the second generation					
方向	模型	相关范围	取样方差	异质系数	决定系数
Direction	Model	Range of depend- ence	Sample variance	Index of hetero- geneity	Coefficient of determination
全方位 ^①	指数型 ^②	4.54	56.87	18.00	1.00
0°	指数型 ^③	5.00	53.60	5.56	0.74
45°	指数型 ^④	5.00	53.49	6.87	0.73
90°	球型 ^⑤	4.58	64.48	25.60	0.75
135°	球型 ^⑥	5.33	64.96	25.93	0.75

①Omnidirection ②Exponential model ③Exponential model
④Exponential model ⑤Spherical model ⑥Spherical model

表 4 三代成虫空间动态模型及特征参数

Table 4 The spatial structure of the cotton bollworm in the third generation					
方向	模型	相关范围	取样方差	异质系数	决定系数
Direction	Model	Range of depend- ence	Sample variance	Index of hetero- geneity	Coefficient of determination
全方位 ^①	指数型 ^②	4.44	1346.00	482.67	0.98
0°	球型 ^③	4.31	1272.42	516.51	0.51
45°	指数型 ^④	5.00	1199.53	291.93	0.50
90°	线型 ^⑤	>4.58	>1356.0	610.64	0.51
135°	指数型 ^⑥	5.33	2311.72	493.67	0.52

①Omnidirection ②Exponential model ③Spherical model
④Exponential model ⑤Linear model ⑥Exponential model

5.33;并且空间异质性高(291.93~610.64)。在三代成虫期,棉花已进入生长后期,适于取食产卵的空间场所减少,适于生存的蕾铃营养条件差异较大,使棉铃虫生存空间的异质性增高,空间的依赖性增强。

3 讨论

空间结构一直是种群生态学研究的重要研究领域之一,它是种群取样和管理的重要理论依据。过去主要利用种群密度的平均数与方差的关系研究概率意义下的空间结构,但由于取样时没有考虑样本的方向性和空间距离,空间结构难免不丢失一些重要的空间信息^[6~8]。近年来,许多地统计学的方法(如空间自相关、协方差函数、半方差分析及Kring分析等)已被成功地应用于种群空间结构的研究,促进了种群空间动态研究的发展^[7~12]。但模型参数的生态学含义是值得探讨的问题;地统计学的模型参数在地学领域有其特殊的含义,它并不适应于生物种群的空间结构研究^[12~14]。C₀在地学中称为“块金系数”,是指在取样尺度下矿物的微观结构差异和取样误差,代表了矿物的空间异质性;而在生物种群中它主要是由微观结构的差异(如生理条件和营养状况等)和环境的异质性所造成的,因此它是种群异质性的表现,可将其称为“异质性系数”,“a”在地统计学称为变程,表示矿物空间相关的最大距离,而在种群生态学中它是种群空间相关的距离,可将其称为“相关距离”,Sill在地统计学中称为“基台值”,是空间距离达到最大相关距离时空间变量的最大半方差值,此时空间结构由聚集型向随机型转变,空间依赖性消失,其方差是由取样造成的,因此可将其称为空间取样方差。

在昆虫生态学中,空间模型主要用来研究昆虫种群与环境的关系和种群的空间变化对种群稳定与持续的影响^[8]。在本研究中可以利用模型的参数分析环境对种群空间特性的作用,阐明棉铃虫成虫种群空间结构的变化规律。通过研究发现棉铃虫成虫种群的空间结构是不断变化的,不但不同世代具有不同的空间结构与特性,而且空间特征具有方向性;这是因为种群的生死存亡与迁移过程影响了种群的异质性。

在空间结构的研究中,空间分析都对空间

取样尺度具有依赖性,因此地统计学和传统的平均数-方差型的研究方法一样,空间结构受取样多少、取样方向和取样尺度的影响;但通过研究表明,尺度仅导致空间关系的随机变化,影响空间特性的精确度和可靠性,在较高的决定系数下,它不会引起空间结构基本特性的变化^[7,12,13]。在不同世代棉铃虫成虫空间结构的研究中,借助于性诱剂在所研究的区域内进行取样,通过地统计学的分析技术阐明了其各个时代种群的空间结构特征。虽然这一结果也和其他同类研究一样受到取样距离和样本多少的影响,但本文所研究的空间结构具有较大的决定系统,并且在同一世代不同方向的取样条件下种群的空间特征参数(相关距离、空间依赖度和空间异质系数)基本一致,所以结果仍能够说明棉铃虫成虫空间结构的基本特征,并为棉铃虫种群的监测和管理提供科学的依据。

已知昆虫种群的空间模型后,可以应用 Kriging 内插值法,进行昆虫种群的发生风险分析、空间种群密度的监测及种群管理效果评价的研究^[3,11]。在风险分析中只要将种群的经济阈值作为内插值的指示密度,就可以计算出种群密度超过经济阈值的可能性,分析为害风险;直接利用内插值方法可以得到昆虫种群密度的空间密度图,以便对昆虫种群进行及时准确的监测,指导害虫种群管理的实践;通过对种群管理前后种群密度内插估计值的分析,评价种群管理的效果,为种群管理的下一步决策提供依据,因此将棉铃虫种群空间结构作为依据,可进一步开展棉铃虫种群发生与为害的风险分析、种群空间监测及种群管理评价的研究。

参考文献

- [1] 李典谟,等. IPM 的发展与棉铃虫区域性综合治理. 动物学集刊,1995,12(增):1~5.
- [2] Fitt G P, *et al.* The ecology of *Heliothis* species on relation to agroecosystems. *Ann. Rev. Entomol.* 1989,34:17~52.
- [3] Liebhold A M, *et al.* Geostastical analysis of Gypsy moth (Lepidoptera:Lymantriidae)egg mass populations. *Environ. Entomol.* ,1991,20(5):1407~1417.
- [4] 丁岩钦,等. 棉田内棉铃虫卵分布型参数特征及其应用. 生态学报,1985,5(1):54~63.
- [5] Wilson L T, *et al.* the relative efficiency and reliability of three methods for sampling arthropods in Australia cotton fields. *J. Aus. Entomol. Soc.* ,1982,18:175~181.
- [6] Taylor L T. Aggregation, variance and the mean. *Nature* 1961,189:732~735.
- [7] Williams III L, *et al.* Geostatistical description of the spatial distribution of *Limmonus californicus*(Coleoptera:E-lateridae)wireworms in the northwestern United Stated,with comments on sampling. *Environ. Entomol.* 1992,21(5):983~995.
- [8] Brewster C C, *et al.* Spatiotemporal model for studying insect dynamics in large-scale cropping systems. *Environ. Entomol.* 1997,26(3):473~482
- [9] Sokal R R, *et al.* Spatial autocorelation in biology. 1. Methodology. *Bio. J. Linn. Soc.* ,1978,10:199~228.
- [10] 石根生,等. 不同松林马尾松毛虫蛹及其寄生天敌群子的空间格局分析. 生态学报,1997,17(4):386~392.
- [11] Liebhold A M, *et al.* Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. *Annu. Rev. Entomol.* ,1993,38:303~327.
- [12] Schotzko D J, *et al.* Effect of sample placement on the geostatistical analysis of spatial distribution of *Lygus hesperus* in lentils. *J. Econ. Entomol.* ,1990,83:1888~1990.
- [13] Isaaks E H, *et al.* *An introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press, New York. 1989.
- [14] 侯影儒,等. 地质统计学的理论和方法. 北京:地质统计学,1985.