

烟盲蝽及其天敌蜘蛛空间格局的地统计学分析

赵 静¹, 赵 鑫¹, 王玉军¹, 李光强², 刘丽平¹, 孟家华¹, 郑方强^{1,*}

(1. 山东农业大学植物保护学院, 泰安 271018; 2. 北京出入境检验检疫局, 北京 100026)

摘要:利用地统计学的方法研究了烟草(品种为中烟100)不同生长期烟盲蝽及天敌蜘蛛的空间格局,结果表明:烟盲蝽的空间格局随时间的变化呈现为随机、聚集、再随机和再聚集;尽管蜘蛛混合种群的空间格局也依次表现为随机、聚集、随机和聚集分布,但只是在后期与烟盲蝽的空间格局一致。利用 Block Kriging 进行空间插值分析,得到的三维空间插值模拟图能很好地反映烟盲蝽和蜘蛛种群的田间分布状况。同时,对烟盲蝽及天敌蜘蛛的种群动态进行了分析,发现它们的种群数量变化趋势相似。所有结果表明蜘蛛种群在较大程度上与烟盲蝽种群存在跟随关系。

关键词:地统计学;烟盲蝽;蜘蛛;空间格局;半方差函数;种群动态

Geostatistical analysis of spatial patterns of *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) (Hemiptera: Miridae) and its natural enemy spiders

ZHAO Jing¹, ZHAO Xin¹, WANG Yujun¹, LI Guangqiang², LIU Liping¹, MENG Jiahua¹, ZHENG Fangqiang^{1,*}

1 College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China

2 Beijing Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Beijing 100026, China

Abstract: Green tobacco capsid, *Nesidiocoris tenuis*, is one of the important insect pests on tobacco. It pierces and sucks on the leaves, growing points and buds, which can not only result in pale spots and slow growth, but also transmit some virus diseases. As very important biological agent, spiders such as *Hylyphantes graminicola*, *Misumenops tricuspidatus* and *Coleosoma octomaculatum* can have good control efficiency on the insect pest in tobacco field. This research was carried out to reveal the spatial patterns and population dynamics of the insect pest and spiders in different growing stages of tobacco (Zhongyan-100) at the Experimental Station of Shandong Agricultural University, and aim to lay the theoretical foundation for sampling and management of the pest and conservation of spiders. *N. tenuis* immigrated into tobacco field gradually from the surroundings during transplanting and rosette stages of tobacco, and its population showed random distribution. The semivariograms of *N. tenuis* were fitted by the exponential, spherical and linear models with the ranges of 6.92 — 65.56m in vigorous growth stage of tobacco, and the spatial pattern belonged to aggregative distribution. The population of *N. tenuis* distributed randomly again after the vigorous growth stage. When the habitat was steady gradually after the first harvest, the semivariograms of the pest were fitted by exponential and spherical models with the ranges of 31.11 — 58.84m, and the spatial pattern obviously displayed aggregative distribution with the aggregative intensities above 65%. Therefore, the spatial patterns of *N. tenuis* showed random, aggregative, random and aggregative patterns in the temporal sequence, respectively. In comparison with that of *N. tenuis*, the spatial pattern of spiders was random distribution with the small population of *N. tenuis* at the early stage and became aggregative with the rising number of *N. tenuis*. Affected by the spatial patterns of *N. tenuis* in the late growing period, the spatial pattern of spiders took on random distribution in a short time, and then turned into aggregative distribution. So the spatial patterns of spiders also showed random, aggregative, random and aggregative patterns in the growing period, respectively. Although the spiders displayed the similar spatial patterns to that of *N. tenuis*, they only coincided with *N. tenuis* in the aggregative spatial pattern in the later growing period, especially the ranges of

基金项目:山东省烟草专卖局科技计划资助项目(31468)

收稿日期:2010-01-07; **修订日期:**2010-03-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fqzheng@sdau.edu.cn

spiders(3.42—64.09m) were highly similar to that of *N. tenuis*(6.92—58.84m). The simulated 3D-maps of spatial distribution obtained from the analysis of Block Kriging interpolation can intuitively show the spatial distributions of *N. tenuis* and spiders in the field. Meanwhile, the temporal dynamics of *N. tenuis* and spiders populations was analyzed. The population density of *N. tenuis* increased slowly at the rosette stage, rose quickly in the early and middle parts of vigorous growth stage and peaked at the ripe stage, thereafter the density decreased gradually with the aging tobacco plants. The population dynamics of spiders was similar to that of *N. tenuis*. All the results in this studies indicated that the spiders had a good synchronization with the occurrence of *N. tenuis* in the tobacco field.

Key Words: *Nesidiocoris tenuis*; spiders; geostatistics; spatial pattern; semivariogram; population dynamics

烟盲蝽 *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) 属半翅目、盲蝽科, 广泛分布于全国许多烟区, 是烤烟上发生量大、危害较严重的一种害虫。其成虫和若虫在烟叶背面、生长点、花蕾、果实等部位刺吸危害, 导致烟叶斑驳失绿、新叶生长不良、落花落蕾、种子产量和品质下降; 作为传毒媒介, 在刺吸汁液的同时, 还传播烟草丛枝病, 使烟株矮化、丛枝、叶片变小, 严重影响烟叶的产量和品质^[1-6]。

国内外关于烟田中烟盲蝽的研究主要集中在生物学特性^[1-4]、种群动态^[5]、传毒^[5-6]、空间格局^[7]、综合防治^[2] 和其作为天敌的捕食作用^[4, 8-10] 等方面, 目前尚无利用地统计学方法对烟盲蝽及其天敌蜘蛛空间格局及跟随关系的研究。作者在研究烟田重要害虫及天敌发生动态和空间格局时发现, 烟田蜘蛛种类丰富, 多种蜘蛛(主要是草间钻头蛛 *Hylyphantes graminicola*、三突花蟹蛛 *Misumenops tricuspidatus* 和八斑鞘腹蛛 *Coleosoma octomaculatum*) 均捕食烟盲蝽, 对烟盲蝽具有很好的自然控制作用。前人分析烟盲蝽^[7] 和蜘蛛^[11-12] 空间格局大多数采用经典统计学方法, 由于经典分析方法存在一定的局限性, 利用地统计学方法分析空间格局则日渐受重视。地统计学不仅能够解决小尺度范围内昆虫在空间中的相关性, 而且还能分析较大尺度上的空间结构^[13]。在昆虫生态学研究, 昆虫种群并不是纯随机变量, 可被看做区域化变量, 在空间中的分布有某种程度的相关性或连续性^[14]。20 世纪 80 年代末, 国外最早将地统计学应用于昆虫空间格局分析^[15-18], Liebhold 综述了地统计学在昆虫生态学研究中的理论基础和应用^[13]。到目前为止, 地统计学已被广泛地应用于森林^[19-24]、大田农作物^[25-32]、蔬菜^[33]、果树^[34-37]、桑田^[38]、牧草^[39] 等害虫的空间结构和害虫与天敌间的跟随关系^[40-44] 的研究上。

本文基于地统计学中的半方差函数理论, 利用各种理论模型来拟合半方差函数曲线, 研究烟盲蝽和蜘蛛类的空间格局及二者在空间上的跟随关系, 同时分析其在时间上的动态变化, 以期为该害虫的田间抽样、监测和防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验田概况

试验在山东农业大学科学试验站的烟田中进行, 田块南北行向, 45m × 10m, 南北方向长度大于东西方向宽度。所栽植的烟草品种为中烟 100(2009 年 5 月 14 日移栽), 按照株行距为 50cm × 100cm 的规格移栽 10 行, 共栽植 750 株。试验田除了东邻一块烟田外, 其余周围的生境均为杂草。

1.2 抽样方法

自烟苗移栽后 2 周开始(5 月 29 日) 田间调查, 每 7d 调查 1 次, 至烟叶采收完成, 共 17 次。采用网格取样法(5m × 5m), 整块试验田共分为 18 个网格, 每个网格进行 5 点取样, 每点取两株, 共 180 株。仔细调查其上烟盲蝽成若虫和蜘蛛混合种群的数量, 最后取 5 点的平均值作为此网格的数据。调查期间, 烟田进行常规的田间管理及农事操作, 不喷施任何农药。

1.3 分析方法

1.3.1 烟盲蝽和蜘蛛的空间格局分析

基于地统计学的区域化变量理论, 借助半方差函数分析烟盲蝽种群在空间上的分布格局。半方差函数的

计算公式^[13]如下:

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

式中, $\gamma(h)$ 为相对于距离 h 的估计半方差函数值, $N(h)$ 是被 h 分隔的数据对的数量, $z(x_i)$ 和 $z(x_i + h)$ 分别表示在点 x_i 和 $x_i + h$ 处样本的测量值, h 为样点间距离。

所有数据均用 Matlab7.1 进行正态分布检验,不符合正态分布的数据列在 GS + 中进行对数正态转换,转换后若最小值为负,则将补偿值调整为 1,使最小值大于等于 0。试验中得到的半方差函数通过参数设置,选用最优的理论模型进行拟合,常用的模型主要有球型、指数型、线型和高斯模型等^[45]。

由于本研究设计的抽样单元为 5m×5m 的网格,以烟株上烟盲蝽和蜘蛛数量的平均值作为各网格数据来研究网格间的相互关系,因此空间插值采用块状克里格插值法(Block Kriging)进行插值分析^[46],并绘制三维模拟图来直观反映烟盲蝽和蜘蛛种群在田间的实际分布情况。

1.3.2 烟盲蝽和蜘蛛种群动态的时序分析

将每次调查的烟盲蝽和蜘蛛种群数量汇总后求平均密度,再换算为百株种群密度(头/百株),用 Microsoft excel 2003 绘制烟盲蝽和蜘蛛种群动态曲线,并进行分析。

2 结果与分析

2.1 烟盲蝽种群的半方差函数和空间格局

5 月 29 日调查时尚未发现烟盲蝽,故不作任何空间分析。利用 GS + 软件处理得出各调查时间的半方差函数曲线,然后确定相关参数及拟合模型(表 1),绘制出的三维空间插值图见图 1。

表 1 烟盲蝽成若虫混合虫态的半方差函数模型参数及空间格局

Table 1 The parameters of semivariogram models and spatial patterns of *Nesidiocoris tenuis* adults and nymphs

日期 Date	块金值 C_0 Nugget	基台值 C Sill	变程 A_0 Range	聚集度/% ($C - C_0$)/ C Aggregative intensity	决定系数 R^2 Resolution coefficient	模型 Model	空间格局 Pattern
06-05	0.023	0.023	25.250	0	0	—	随机型
06-12	0.023	0.099	51.410	76.5	0.418	指数	聚集型
06-19	0.008	0.047	6.920	82.8	0.019	球状	聚集型
06-26	0.713	2.366	52.440	69.9	0.550	指数	聚集型
07-03	0.085	0.552	65.560	84.6	0.872	球状	聚集型
07-10	0.001	2.581	9.680	100	0.971	线型	聚集型
07-17	6.080	13.430	28.320	54.7	0.916	指数	聚集型
07-24	72.495	72.495	25.250	0	0	—	随机型
07-31	123.977	123.977	25.250	0	0	—	随机型
08-07	0.129	0.129	25.250	0	0	—	随机型
08-14	14.400	124.600	5.800	88.4	0	—	随机型
08-21	80.200	342.400	56.220	76.6	0.641	指数	聚集型
08-28	56.100	182.600	31.110	69.3	0.598	指数	聚集型
09-04	35.600	143.200	34.990	75.1	0.715	指数	聚集型
09-11	7.200	43.280	58.840	83.4	0.765	球状	聚集型
09-18	2.400	18.750	37.230	87.2	0.994	球状	聚集型

烟苗自 5 月 14 日移栽至 6 月 5 日,烟株处于团棵期,在此期间烟盲蝽逐渐从周围环境迁入烟田,其聚集度($C - C_0$)/ C 为 0($(C - C_0)/C$ 表示聚集强度的大小,即由空间自相关所产生的结构性变异在总变异中所占比例的大小),决定系数 R^2 为 0(表 1),各样点间不存在空间相关性,表明烟盲蝽成若虫混合种群的空间格局为随机型。

自 6 月 12 日烟株开始进入旺盛生长期(简称旺长期)至 7 月 17 日,烟盲蝽种群数量渐增并基本趋于稳定。由表 1 可知,其半方差函数的变程范围为 6.92—65.56m,即在此范围内的任意两样点间都存在空间相关性,并且随着距离的增大,空间相关性逐渐减小,而超过此范围样点间的空间相关性不再随距离而变,拟合半方差函数曲线的理论模型主要是球状模型和指数模型。这段时间的聚集度分别为 76.5%、82.8%、69.9%、84.6%、100% 和 54.7%,各 R^2 大都大于 0.5,说明这些理论模型与试验半方差函数曲线的拟合程度较高。只有 7 月 10 日的拟合模型为非水平直线的线型模型,表明它属于中等强度的聚集分布^[47],所以总体来说处于烟株旺长期的烟盲蝽种群空间格局为聚集型,从相应的三维插值模拟图(图 1)可以看出,烟盲蝽种群的聚集高峰除了 6 月 19 日为 2 个外(在田块的北边和中间)(图 1C),其余均为 1 个且聚集在田块的北边。这可能与烟田北面烟株的长势好有关系,烟株长势好的,烟盲蝽发生密度也较大^[1]。任顺祥和何永福的研究表明,烟盲蝽的成虫和若虫聚集,在较大程度上是由于烟草生长状况引起^[7]。

7 月 24 日之后,烟株进入成熟采收期,烟盲蝽数量剧增,并在烟田扩散,空间结构发生较大的变化,故 7 月 24 日至 8 月 14 日的空间格局为随机型。进行插值分析后得到其三维空间模拟图(图 1)显示了其在田间的实际分布情况,可以看出烟盲蝽种群的分布相对分散,没有表现出明显的空间相关性。

自 8 月 21 日起至 9 月 18 日,烟叶采收结束,烟田生境又渐趋稳定。半方差函数模型参数中的块金值和基台值呈逐渐减小的趋势,变程范围为 31.11—58.84m,变化幅度较小,其聚集强度分别为 76.6%、69.3%、75.1%、83.4% 和 87.2%, R^2 均大于 0.5(表 1),说明此时烟盲蝽成若虫混合虫态的空间格局表现出很强的聚集强度,空间格局也相对稳定。其三维空间插值模拟图(图 1 L—P)表现出了与 6 月 12 日至 7 月 17 日相似的聚集格局。

2.2 烟田蜘蛛混合种群的半方差函数和空间格局

蜘蛛混合种群的空间分析自 5 月 29 日开始,共计 17 次,其半方差函数模型及参数见表 2,三维插值模拟图如图 2。由表 2 可以看出,自 5 月 29 日至 7 月 17 日蜘蛛混合种群的半方差函数模型各项参数均表明此期

表 2 烟田蜘蛛混合种群的半方差函数模型参数及空间格局
Table 2 The parameters of semivariogram models and spatial patterns of mixed spider populations

日期 Date	块金值 C_0 Nugget	基台值 C Sill	变程 A_0 Range)	聚集度/% ($C - C_0$)/ C Aggregative intensity	决定系数 R^2 Resolution coefficient	模型 Model	空间格局 Pattern
05-29	0.0080	0.0080	25.2500	0	0	—	随机型
06-05	0.0037	0.0135	2.5600	72.3	0.0650	—	随机型
06-12	0.0054	0.0618	8.5500	91.3	0.0420	—	随机型
06-19	0.0599	0.0599	25.2500	0	0	—	随机型
06-26	0.0001	0.0702	7.4500	99.9	0.0050	—	随机型
07-03	0.0575	0.0575	25.2500	0	0	—	随机型
07-10	0.0102	0.0531	5.8000	80.8	0	—	随机型
07-17	0.1484	0.1484	25.2500	0	0	—	随机型
07-24	0.0544	0.3268	9.1900	83.4	0.2840	球状	聚集型
07-31	0.4460	1.5010	5.2100	70.3	0.9360	指数	聚集型
08-07	0.0780	0.5140	9.8500	84.8	0.2970	球状	聚集型
08-14	0.1998	0.1998	25.2500	0	0	—	随机型
08-21	0.2100	1.0040	64.0900	79.1	0.7810	球状	聚集型
08-28	0.0428	0.3186	60.4600	86.6	0.8890	球状	聚集型
09-04	0.0073	0.2556	10.0200	97.1	0.9920	指数	聚集型
09-11	0.0685	0.1570	39.6100	56.4	0.8130	指数	聚集型
09-18	0.0080	0.0725	3.4200	89.0	0.0910	指数	聚集型

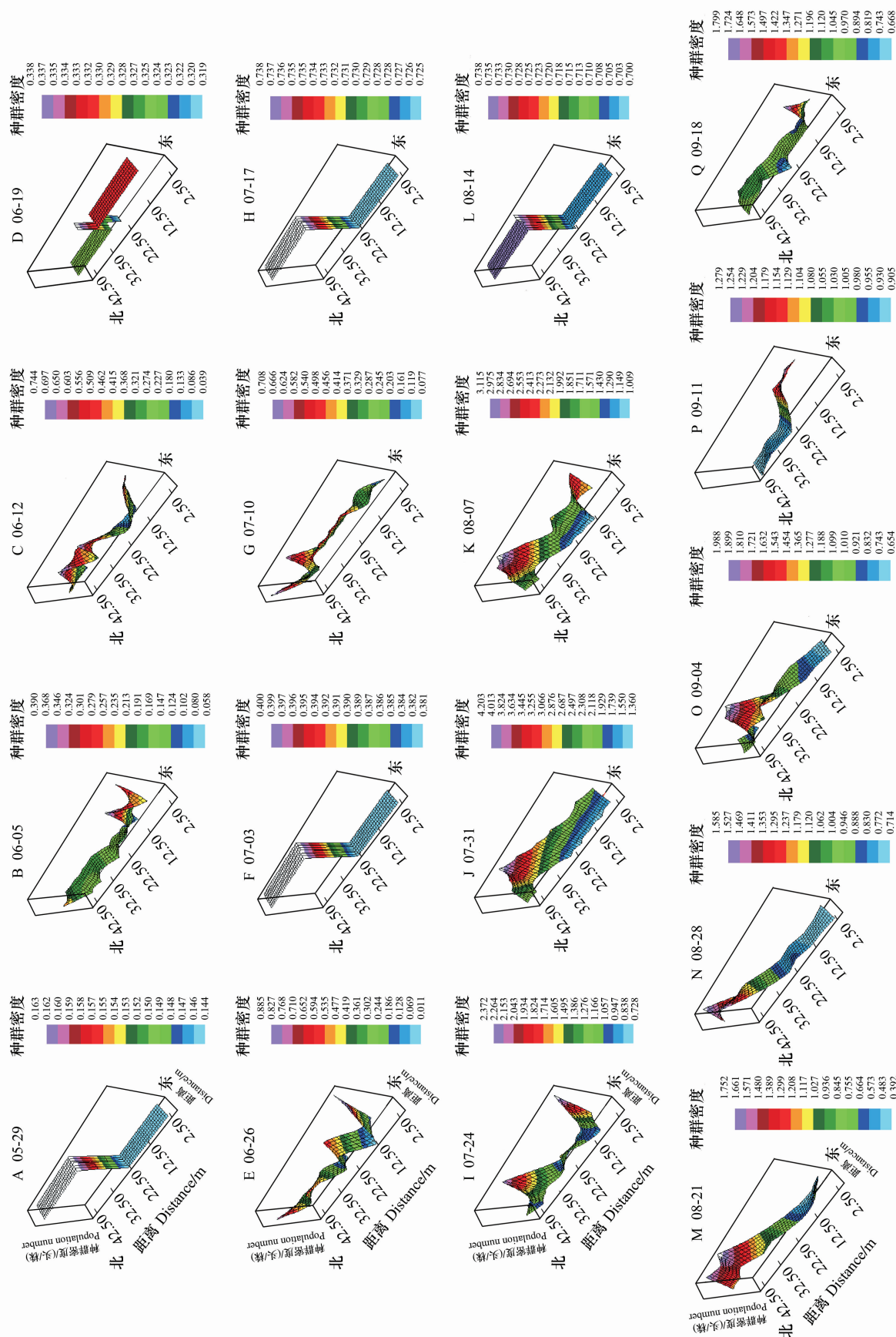


图2 蜘蛛混合种群的三维插值分布
Fig. 2 The three-dimensional interpolation maps of mixed spider populations

间的空间格局为随机型。三维插值图(图2 A—H)也表明其在田间的空间分布相对分散,样点间没有空间相关性。自7月24日至9月18日,除8月14日表现为随机分布(与此时烟盲蝽的空间格局相同)外,蜘蛛混合种群的空间分布均表现为聚集分布,但聚集强度各不相同,三维空间插值模拟图也显示其分布型为聚集型,且聚集中心大多为一个。特别是自8月21日后,与烟盲蝽的空间格局相吻合。

2.3 烟盲蝽和蜘蛛混合种群在时间序列上的数量动态

整个调查期间烟盲蝽和蜘蛛的数量动态见图3。自5月29日至6月19日,烟盲蝽从其他环境陆续迁入烟田,种群建立尚不稳定,种群密度很低。自6月26日以后烟草处在旺长盛期,烟盲蝽食料充足,烟田生境稳定,为其提供了良好的栖息、繁衍条件,种群密度随之升高,于7月底达到高峰,在以后的一个月,由于诸多因素的影响,虽然数量有所波动,但变化不大。8月底后,由于烟株老化,叶片落黄,导致其逐渐迁出烟田,种群密度迅速降低。蜘蛛数量变化基本上呈现出与烟盲蝽相似的趋势,说明在一定程度上蜘蛛与烟盲蝽存在跟随关系。

3 讨论

利用地统计学方法研究昆虫空间格局的研究目前较多,相对传统统计学来说,地统计学更能直观地反映昆虫在田间的实际分布情况。本研究发现烟盲蝽成若虫混合虫态的空间格局随烟草不同的生育期而变化,依次为随机(6月5日)、聚集(6月12日至7月17日)、再随机(7月24日至8月14日)和再聚集(8月21日至9月18日)。Park 和 Obrycki 曾报道过关于玉米田中玉米蚜 *Rhopalosiphum maidis* 和瓢虫类时空分布的地统计学研究,发现二者在种群密度达到高峰时表现为聚集分布,而在前期和后期均为随机分布^[44],这与本研究的结果十分相似。

就本研究来看,一方面,烟株的生长状况是影响烟盲蝽空间格局的重要因素之一。从移栽到团棵期,烟株矮小,长势较弱,烟田生境不稳定,此时烟盲蝽刚开始迁入烟田,不仅数量少,而且分布比较分散。而进入旺长期(6月12日)后,烟田生境渐趋稳定,由于各组织器官幼嫩,烟盲蝽食料充足,适宜其取食、生长和繁殖,种群迅速建立且稳定,明显呈聚集分布。在第1次成熟采收期中,由于下部叶片落黄,烟盲蝽逐渐转移到中上部叶片取食,再加上强度较大的人为农事操作(如打顶、抹芽等),影响了烟盲蝽的生存环境,迫使其扩散转移,故在7月24日至8月14日空间格局表现为随机型。此后烟盲蝽大多聚集在烟株偏嫩绿的上半部分,空间格局则呈聚集型。另一方面,降雨对烟盲蝽种群有较大的影响。陈凤玉等曾报道过雨日和雨量与烟盲蝽田间数量有很大的关系,在大雨或暴雨后,烟盲蝽的种群密度显著下降^[1]。降雨不仅影响烟盲蝽的种群数量,而且在一定程度上也能影响其空间格局。如6月19日调查到近一半进程时突降大雨,大雨过后又将剩余部分调查完,从表1的结果可以看出虽然此时的分布型为聚集型,拟合模型为球状模型,但其 R^2 仅为0.019,也就是说理论模型与实验半方差函数曲线的拟合度不高,即大雨使得烟盲蝽的空间分布趋于随机性。

与烟盲蝽空间格局相比,蜘蛛类的空间格局在5月29日到7月17日这段时间为随机分布,可能是由于烟盲蝽数量相对较小(图3),在烟田中以随机分布的方式存在最适合获取足够食物。在7月24日至9月18日,由于烟田中以烟盲蝽数量居多,因此蜘蛛空间格局的变化受烟盲蝽分布格局的影响较大。蜘蛛类表现为随机分布的时间与烟盲蝽有吻合的部分,并且蜘蛛类呈聚集格局时,特别是在后期蜘蛛呈聚集格局时的变程为3.42—64.09m,而烟盲蝽呈聚集分布时变程为6.92—58.84m,二者变程相似,说明蜘蛛类与烟盲蝽具有较好的跟随关系。

致谢:承蒙山东农业大学昆虫学系许永玉教授对本文写作的帮助,特此致谢。

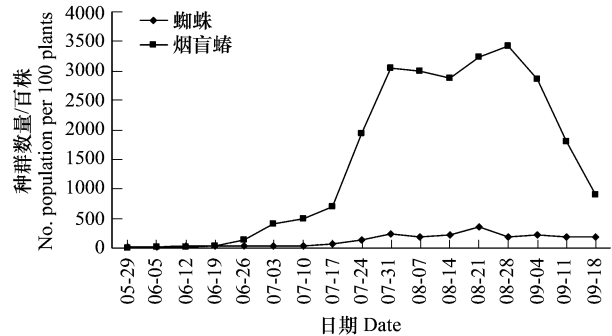


图3 烟盲蝽和蜘蛛种群动态

Fig. 3 The population dynamics of *Nesidiocoris tenuis* and mixed spider populations

References:

- [1] Chen F Y, Yang X G. Preliminary study on the bionomics of tobacco capsid *Cyrtopeltis tenuis* Reuter (Hemiptera: Miridae). Journal of Southwest Agricultural University, 1985, 4: 88-92.
- [2] Hu M C. Studies on biology and control of *Cyrtopeltis tenuis* (Reuter). Acta Agriculturae Jiangxi, 1993, 5(2): 150-156.
- [3] Shao L, Qin X Y, Sun Y T, Yang M. Study of biological characteristics of tobacco capsid. Tobacco Science and Technology, 1997, 3: 45-46.
- [4] Torreno H S, Magallona E D. Biological relationship of the bug, *Cyrtopeltis tenuis* Reuter (Hemiptera: Miridae) with tobacco. Philippine Entomologist, 1994, 9: 406-425.
- [5] Li Z Y, Zhang Q W. Population dynamics of *Cyrtopeltis tenuis* (Reuter) and virus transmission by its different instars. Journal of China Agricultural University, 2005, 10(2): 26-29.
- [6] Yan N S, Li Z Y, Sun Y X, Xu R Q, Chen B. On the transmission of tobacco bushy dwarf virus by *Cyrtopeltis tenuis* Reuter (Hemiptera: Miridae). Acta Phytopylacica Sinica, 2001, 28(3): 250-253.
- [7] Ren S X, He Y F. Spatial distribution pattern and application of *Cyrtopeltis tenuis* Reuter. Journal of Guizhou Agricultural College, 1993, (2): 57-63.
- [8] Wei D W, Xian X Y, Zhou Z H, Wang Z Y, Zhou X H, Huang J D. Preliminary study on the functional responses of *Cyrtopeltis tenuis* to *Spodoptera litura*. Acta Agriculturae Universitatis Henanensis, 1998, 32(1): 55-59.
- [9] Guan B B, Chen J H, Chen Q J, Zhang Y Z, Zhang Z H, Zhang J Z. The predacious capacity and functional response of *Cyrtopeltis tenuis* Reuter to aphids and larvae of *Prodenia litura* (Fabricius). Acta Tabacaria Sinica, 1999, 5(4): 21-24.
- [10] Li L R, Xue R F, Wang X J, Zeng F R. Predation of *Nesidiocoris tenuis* to *Trialeurodes vaporariorum* and *Plutella xylostella*. Journal of Agricultural University of Hebei, 2008, 31(1): 84-87.
- [11] Wang Z, Zeng W H. Study on internal distribution patterns of dominant spiders in horsebean field. Acta Arachnologica Sinica, 2005, 14(2): 108-111.
- [12] Li S C, Li Y, Yang F T, Dong W X. Analysis and application of spatial pattern of mixed spider population in cotton field. Acta Arachnologica Sinica, 1997, 6(2): 107-111.
- [13] Liebhold A M, Rossi R E, Kemp W P. Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. Annual Review of Entomology, 1993, 38: 303-327.
- [14] Zhou G F, Xu R M. Research on the Biogeostatistics. Beijing: Science Press, 1998: 3-10.
- [15] Kemp W P. Probabilizing of outbreak for rangeland grasshoppers (Orthoptera: Acrididae) in Montana: application of *Markovian principle*. Journal of Economic Entomology, 1987, 80(6): 1100-1105.
- [16] Johnson D L, Worobec A. Spatial and temporal computer analysis of insect and weather: grasshoppers and rainfall in Alberta. Memoirs of the Entomological Society of Canada, 1988, 146: 33-48.
- [17] Kemp W P, Kalaris T M, Quimby W F. Rangeland grasshopper (Orthoptera: Acrididae) spatial variability: macroscale population assessment. Journal of Economic Entomology, 1989, 82: 1270-1276.
- [18] Schotzko D J, O'Keefe L E. Geostatistical description of the spatial distribution of *Lygus hesperus* (Heteroptera: Miridae) in lentils. Journal of Economic Entomology, 1989, 82: 1277-1288.
- [19] Liebhold A M, Zhang X, Hohn M E, Elkinton J S, Ticehurst M, Benzon G L, Campbell R W. Geostatistical analysis of gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) egg mass populations. Environmental Entomology, 1991, 20: 1407-1417.
- [20] Shi G S, Li D M. Geostatistic analysis of spatial pattern of *Dendrolimus punctatus*. Chinese Journal of Applied Ecology, 1997, 8(6): 612-616.
- [21] Shi G S, Li D M. Spatial distribution of masson pine caterpillar pupae and its parasitic natural enemy guilds for the overwintering generation in the different pine forests. Acta Ecologica Sinica, 1997, 17(4): 386-392.
- [22] Li Y C, Xia N B, Tu Q H, Luo Y Q, Wen J B. A geostatistical analysis of spatial patterns of *Anoplophora glabripennis* in poplars. Acta Ecologica Sinica, 1997, 17(4): 393-401.
- [23] Zong S X, Luo Y Q, Xu Z C, Wen J B, Jia F Y. Geostatistical analysis on spatial distribution of *Holcocerus hippophaecolus* eggs and larva. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(4): 831-836.
- [24] Wang T, Wen J B, Luo Y Q, Xu Z C, Heliövaara K. Geostatistical study on the spatial pattern of *Anoplophora glabripennis* in three types of stands. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(9): 3041-3048.
- [25] Huang S S, Hu H J, Liang G W. The spatial pattern of diapausing larva of striped rice borer, *Chilo suppressalis* Walker, with geographics. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(2): 250-253.

- [26] Zou Y D, Bi S D, Wang X S, Li G T, Meng Q L, Geng J G, Shen Y. Geostatistical analysis on spatial patterns of *Macrosiphum granarium* and *Aphidius*. Chinese Journal Applied Ecology, 2001, 12(6): 887-891.
- [27] Lu Y Y, Liang G W. The spatial pattern of the cotton bollworm eggs with geostatistics. Journal of Huazhong Agricultural University, 2002, 21(1): 13-17.
- [28] Gozé E, Nibouche S, Deguine J P. Spatial and probability distribution of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) in cotton: systematic sampling, exact confidence intervals and sequential test. Environmental Entomology, 2003, 32(5): 1203-1210.
- [29] Zhou Q, Zhang R J, Gu D X. Spatial distribution patterns of the white-backed planthopper in rice fields. Acta Entomologica Sinica, 2003, 46(2): 171-177.
- [30] Wang R, Zhai B P, Sun X Y. Spatio-temporal dynamics of the first generation larvae of *Laodelphax striatellus* in wheat field. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(11): 4536-4546.
- [31] 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.
- [32] Ma N Y, Wang H Q, Zhang W, Simayi Y, Luo L, Ma D Y. The damage dynamics and spatio-temporal distribution of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in cotton field based on GS analysis in Xinjiang. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(6): 2654-2662.
- [33] Dutta S, Bhattacharya B K, Rajak D R, Chattopadhyay C, Dadhwal V K, Patel N K, Parihar J S, Verma R S. Modelling regional level spatial distribution of aphid (*Lipaphis erysimi*) growth in Indian mustard using satellite-based remote sensing data. International Journal of Pest Management, 2008, 54(1): 51-62.
- [34] Nestel D, Klein M. Geostatistical analysis of leafhopper (Homoptera: Cicadellidae) colonization and spread in deciduous orchards. Environmental Entomology, 1995, 24(5): 1032-1039.
- [35] Wang Y L, Fang G F, Wang L P, Cao C W, Liu X L, Ding Y Z. Geostatistical analysis on spatial patterns of the *Myzoxallis karicola* Matsumura and *Chilocorus kuwanae* Silvestri. Journal of Anhui Agricultural University, 2004, 31(3): 330-334.
- [36] Ifoulis A A, Savopoulou-Soultani M. Use of geostatistical analysis to characterize the spatial distribution of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) larvae in northern Greece. Environmental Entomology, 2006, 35(2): 497-506.
- [37] Li Z Q, Liang G W, Cen Y J. Geostatistical analysis of spatial pattern of the citrus red mite, *Panonychus citri* (McGregor) (Acarina: Tetranychidae) in citrus orchard. Journal of Environmental Entomology, 2008, 30(3): 202-206.
- [38] Chen Q, Wu W J, Zhang Z F, Liang G W. Geostatistical analysis of spatial pattern of *Fruhstorferiola tonkinensis* Will (Orthoptera: Catantopidae) nymphs. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(2): 467-470.
- [39] Zhang R, Leng Y F, Zhu M M, Wang F. Spatial structure analysis and distribution simulation of *Therioaphis trifolii* population based on geostatistics and GIS. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(11): 2580-2585.
- [40] Zou Y D, Bi S D, Zhou X Z, Li L, Gao C Q, Ding C C. Geostatistical analysis on spatial patterns of *Erythroneura sudra* and *Erigonidium graminicola*. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(12): 1645-1648.
- [41] Zou Y D, Li C G, Zhou X Z, Wu H C, Chen X Y. Spatial construction and relationship between *Haltica chalybea* and its predatory natural enemy, *Erigonidium graminicola*. Acta Phytophylacica Sinica, 2007, 34(3): 241-246.
- [42] Ding C C, Zou Y D, Bi S D, Gao C Q, Liu X L, Cao C W, Meng Q L, Li C G. Geostatistics analysis on spatial patterns of *Myzus persicae* and *Erigonidium graminicola* in plum orchard. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(7): 1308-1312.
- [43] Wu H Z, Xu G S, Fang M H, Cheng X N, Zou Y D. Spatial structure of populations *Myzus persicae* and its predatory natural enemy *Erigonidium graminicola*. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(6): 1039-1042.
- [44] Park Y L, Obrycki J J. Spatio-temporal distribution of corn leaf aphids (Homoptera: Aphididae) and lady beetles (Coleoptera: Coccinellidae) in Iowa. Biological Control, 2004, 31: 210-217.
- [45] Vieira S R, Hatfield J L, Nielsen D R, Biggar J W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. Hilgardia, 1989, 51: 1-75.
- [46] Sun Y J, Wang J F, Bai Y C. Study on progress of methods in geostatistics. Advance in Earth Sciences, 2004, 19(2): 268-274.
- [47] Williams L, Schotzko D J, McCaffrey J P. Geostatistical description of the spatial distribution of *Limonius californicus* (Coleoptera: Elateridae) wireworms in the northwestern United States, with comments on sampling. Environmental Entomology, 1992, 21(5): 983-995.

参考文献:

- [1] 陈凤玉, 杨绪纲. 烟盲蝽 (*Cyrtopoltis tenuis* Reuter) 生活史及生活习性的研究. 西南农业大学学报, 1985, 4: 88-92.
- [2] 胡梅操. 烟盲蝽发生危害及其防治的研究. 江西农业学报, 1993, 5(2): 150-156.
- [3] 邵莉, 秦西云, 孙玉桐, 杨铭. 烟草盲蝽生物学特性研究. 烟草科技, 1997, 3: 45-46.

- [5] 李正跃,张青文. 烟盲蝽田间种群动态及不同龄期与病毒病传播的关系. 中国农业大学学报,2005,10(2): 26-29.
- [6] 严乃胜,李正跃,孙跃先,许若清,陈斌. 烟盲蝽传播云南烟草丛枝病害研究. 植物保护学报,2001,28(3): 250-253.
- [7] 任顺祥,何永福. 烟草盲蝽空间格局及其应用. 贵州农学院学报,1993,12(2):57-63.
- [8] 韦德卫,贤小勇,周志宏,王助引,周兴华,黄家达. 烟盲蝽对斜纹夜蛾捕食功能反应的初步研究. 河南农业大学学报,1998,32(1): 55-59.
- [9] 官宝斌,陈家骅,陈乾锦,张玉珍,张章华,张建忠. 烟盲蝽对斜纹夜蛾幼虫和烟蚜的捕食功能反应. 中国烟草学报,1999,5(4): 21-24.
- [10] 李令蕊,薛仁凤,王晓婧,曾凡荣. 烟盲蝽对温室白粉虱和小菜蛾捕食作用研究. 河北农业大学学报,2008,31(1): 84-87.
- [11] 王智,曾文虎. 蚕豆地蜘蛛优势种内分布型研究. 蛛形学报,2005,14(2):108-111.
- [12] 李生才,李峪,杨福田,董文霞. 棉田蜘蛛混合种群空间格局分析及应用. 蛛形学报,1997,6(2):107-111.
- [14] 周国法,徐汝梅. 生物地理统计学. 北京: 科学出版社,1998: 3-10.
- [20] 石根生,李典谟. 马尾松毛虫空间格局的地理统计分析. 应用生态学报,1997,8(6): 612-616.
- [21] 石根生,李典谟. 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.
- [22] 李友常,夏乃斌,屠泉洪,骆有庆,温俊宝. 杨树光肩星天牛种群空间格局的地统计学研究. 生态学报,1997,17(4): 393-401.
- [23] 宗世祥,骆有庆,许志春,温俊宝,贾峰勇. 沙棘木蠹蛾卵和幼虫空间分布的地统计学分析. 生态学报,2005,25(4): 831-836.
- [24] 王涛,温俊宝,骆有庆,许志春, Kari Heliövaara. 不同配置模式林分中光肩星天牛空间格局的地统计研究. 生态学报,2006,26(9): 3041-3048.
- [25] 黄寿山,胡慧建,梁广文. 二化螟越冬幼虫空间分布图式的地理统计学分析. 生态学报,1999,19(2): 250-253.
- [26] 邹运鼎,毕守东,王祥胜,李桂婷,孟庆雷,耿继光,沈阳. 麦长管蚜及蚜茧蜂空间格局的地统计学研究. 应用生态学报,2001,12(6): 887-891.
- [27] 陆永跃,梁广文. 棉铃虫卵空间分布的地理统计学分析. 华中农业大学学报,2002,21(1): 13-17.
- [29] 周强,张润杰,古德祥. 白背飞虱在稻田内空间结构的分析. 昆虫学报,2003,46(2): 171-177.
- [30] 王瑞,翟保平,孙晓洋. 麦田一代灰飞虱若虫的时空分布. 生态学报,2007,27(11): 4536-4546.
- [31] 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.
- [32] 马宁远,王慧卿,张伟,伊萨克·司马义,罗亮,马德英. 基于地统计学的新疆棉田烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 危害动态与时空分布. 生态学报,2008,28(6): 2654-2662.
- [35] 王玉玲,方国飞,汪礼鹏,曹传旺,刘小林,丁玉洲. 栗角斑蚜与红点唇瓢虫种群空间格局的地统计学分析. 安徽农业大学学报,2004,31(3): 330-334.
- [38] 陈强,吴伟坚,张振飞,梁广文. 越北腹露蝗若虫空间格局的地统计学分析. 应用生态学报,2007,18(2): 467-470.
- [39] 张蓉,冷允法,朱猛蒙,王芳. 基于地统计学和 GIS 的苜蓿斑蚜种群空间结构分析和分布模拟. 应用生态学报,2007,18(11): 2580-2585.
- [40] 邹运鼎,毕守东,周夏芝,李磊,高彩球,丁程成. 桃一点叶蝉及草间小黑蛛空间格局的地统计学研究. 应用生态学报,2002,13(12): 1645-1648.
- [41] 邹运鼎,李昌根,周夏芝,巫厚长,陈向阳. 葡萄跳叶甲和捕食性天敌草间小黑蛛的空间格局及其联系. 植物保护学报,2007,34(3): 241-246.
- [42] 丁程成,邹运鼎,毕守东,高彩球,刘小林,曹传旺,孟庆雷,李昌根. 李园桃蚜和草间小黑蛛种群空间格局的地统计学研究. 应用生态学报,2005,16(7):1308-1312.
- [43] 巫厚长,徐光曙,房明惠,程遐年,邹运鼎. 烟蚜及其捕食性天敌草间小黑蛛种群空间结构分析. 应用生态学报,2004,15(6):1039-1042.