

# 西瓜枯萎病病株空间分布格局及其抽样技术

刘 波, 朱育菁, 肖荣凤, 林抗美, 冒乃和, 李 芳, 苏明星, 史 怀

(福建省农科院生物技术中心农业环保技术研究室, 福州 350003)

**摘要:**研究了西瓜枯萎病病株田间空间分布格局及其抽样技术,通过频次分布和聚集度指数的测定以及  $m^*-m$  回归和 Taylor 幂法则分析,结果表明:西瓜枯萎病病株田间分布趋向于聚集分布。 $m^*-m$  回归分析表明病株空间分布的基本成分是个体群,病株个体间相互吸引,病株在大田中存在明显的发病中心,个体群在田间呈均匀分布格局,即分布的基本成分个体群之间趋于均匀分布,而个体群内的个体与核心分布相吻合。Taylor 幂法则分析表明,西瓜枯萎病病株个体的空间格局随着病株密度的提高越趋均匀分布。用 Iwao 最适理论抽样模型  $n = t_a^2 / D^2 [(\alpha + 1) / X + \beta - 1]$ , 计算出不同病情指数情况下所需的最适抽样数,随着病情指数的增加,所需抽样数递减。序贯抽样模型为  $T_{0(N)} = 0.9871N \pm 1.2347 \sqrt{N}$ , 调查株数  $N$  株时,若累计病情指数超过上界可定为防治对象田,若累计病情指数未达到下界时,可定为不防治田,若累计病情指数在上下界之间,则应继续调查,直到最大样本数  $m_0 = 0.9871$  时,也即病情指数 25%, 所需抽样数 130 株止。

**关键词:**西瓜枯萎病;空间分布格局;抽样技术

## Spatial distribution pattern and sampling technique for the fungal wilt disease in watermelon fields

LIU Bo, ZHU Yu-Jing, XIAO Rong-Feng, LIN Kang-Mei, MAO Nai-He, LI Fang, SU Ming-Xing, SHI Huai (Lab. of Agri. Environ. Protection, Biotech. Center, FAAS, Fuzhou 350003, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9): 2043~2049.

**Abstract:** The present paper dealt with the spatial distribution pattern and sampling technique for the fungal wilt disease, *Fusarium oxysporum* Schl., in the watermelon field. The tests of frequency distributions indicated the all samples were not fitted to the evenness distribution, but to the poisson, neyman, negative-binomial, poisson-binomial, or compound poisson distributions, respectively. The analyses of aggregation indexes displayed that Lloyd's index of mean crowding ( $m^*$ ) ranged between 1.533 and 1.983. Cole's index ( $I$ ) of dispersion was more than 0, David and Moore's index ( $m^*/m$ ) more than 1, Kuno index ( $Ca$ ) more than 0, dispersion index ( $C$ ) more than 1, negative binomial index ( $K$ ) more than 0, which implied aggregate or contagious distributions for the tested samples. According to analysis of Iwao regression:  $M^* = 0.5575 + 0.7856M$ , the basic element for the distribution was an individual colony, and the individuals of the diseased plant attracted each other ( $\alpha > 0$ ), and the individual colonies characterized with uniform distribution ( $\beta < 1$ ). The analysis of Taylor power law gave out the equation:  $\lg(S^2) = 0.1298 + 0.7702X \lg(X)$ , in which  $b = 0.7702$  less than 1, it meant that the distribution pattern of the infected plant individual got more and more evenness as the density of it increased.

The relation between the pathogen indeces ( $X$ ) and the mean of disease grades ( $Y$ ) was set up by the equation:  $y = -0.0379 + 0.0410X$ , based on which the optimal sampling formula was built up as  $n = t_a^2 / D^2 [(\alpha + 1) / X + \beta - 1] = 149.5823 / X - 20.5909$  with the parameters of  $t(a) = 1.96$ , deviation  $D = 0.2$ ,  $\alpha = 0.5575$  and  $\beta = 0.7856$ . The sample number ( $n$ )

**基金项目:**国家 863 计划资助项目(2002AA244031-2);福建省科技厅重大资助项目(2000Z031);福建省计委资助项目(闽计农经[2002]48 号)

**收稿日期:**2003-12-01; **修订日期:**2004-07-10

**作者简介:**刘波(1957~),男,福建惠安人,博士,研究员,主要从事生物技术和生物防治研究。E-mail:laeptb@hotmail.com

**Foundation item:** National 863 Project (No. 2002AA244031-2), the project of Fujian Science and Technology Bureau (No. 2000Z031) and the project of Fujian Development and Reform Committee (No. [2002]-48)

**Received date:** 2003-12-01; **Accepted date:** 2004-07-10

**Biography:** LIU Bo, Ph. D., Professor, mainly engaged in biotechnology and biocontrol. E-mail:laeptb@hotmail.com

negatively decreased with the pathogen indeces increasing. When the pathogen indece was 5%, the amount of samples counted to 130 plants, when 25%, the amount of samples was down to 130 plants. The sequeency sampling procedure was based on the equation  $T_0(n) = 0.9871 N \pm 1.2347 \sqrt{N}$ . The application of spatial pattern to data transfer was discussed.

**Key words:** *Fusarium oxysporum* Schl.; spatial distribution pattern; sampling technique; watermelon

文章编号:1000-0933(2004)09-2043-07 中图分类号:Q948,S436.412.15 文献标识码:A

西瓜枯萎病是由尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum* Schl.)引起的西瓜作物的重要病害,西瓜枯萎病株空间分布格局是该病原种群的重要属性之一,由物种的遗传特性和生态环境条件所决定。关于植物病害空间分布格局测定的研究报道较少,曹克强等测定了品种混合种植条件下小麦条锈病的空间分布<sup>[1]</sup>,胡伟民等对山杨根腐病空间分布格局及抽样技术进行了研究<sup>[2]</sup>,刘晓光等测定了杨树冰核细菌溃疡病株空间分布格局<sup>[3]</sup>,杨志华等研究了水稻粒黑粉病空间分布及抽样技术<sup>[4]</sup>,张德雍等进行了番木瓜环斑病的空间分布及流行动态模糊聚类分析<sup>[5]</sup>,张卫民等对番茄花叶病病株及传毒介体空间分布型进行了研究<sup>[6]</sup>,赵兰勇等进行了草坪草条锈病空间格局及抽样技术的研究<sup>[7]</sup>。对病害流行的主导因子、消长动态及其危害损失等的定量观测,都是通过抽样调查来对总体进行估计的,而空间分布信息则是抽样设计的基础,它不仅有助于确定或改进抽样设计方案,而且可对研究资料提出适当的统计处理方法,对病害防治具有重要指导意义。作者通过测定频次分布并采用一系列的聚集度指标,分析了西瓜枯萎病病株的空间分布格局并对其应用进行了探讨。

## 1 材料与方法

### 1.1 病株田间调查

2003年5月28日在福建省永泰县西瓜种植田块,西瓜品种为世星8号抗病霸王,生育期为结瓜期,选择6块田,每块田面积约为2000 m<sup>2</sup>,对每块田进行棋盘式取样,横向5个点,纵向10个点以上,以单株瓜苗为样方,样本总数大于50,分别记录枯萎病发病株级别,分级标准见表1,统计病情指数。

表1 西瓜枯萎病情等级

Table 1 Infection grades of watermelon wilt (*Fusarium oxysporum* Schl.)

| 发病级别<br>Grade | 分级标准<br>Standards  |
|---------------|--|
| 0             | 健康植株,未见任何病状 Healthy plant without infection symptom was observed   |
| 1             | 轻发生,可见植株基部有枯萎病菌侵染,1/4维管束变黑,植株生长正常 <i>F. oxysporum</i> infected in the bottom stem of the plant slightly, 1/4 of vascular tissues became brown; The plant grew normally     |
| 2             | 中发生,植株基部枯萎病菌侵染较严重,2/4维管束变黑,部分叶片枯萎 <i>F. oxysporum</i> infected in the bottom stem of the plant mildly, 2/4 of vascular tissues became brown, some leaves were wilted       |
| 3             | 重发生,植株基部枯萎病菌侵染严重,3/4维管束变黑,大部分叶片枯萎 <i>F. oxysporum</i> infected in the bottom stem of the plant seriously, 3/4 of vascular tissues became brown, most of leaves were wilted |
| 4             | 全株死亡,4/4维管束变黑,植株全部枯萎死亡 The whole plant got to die. 4/4 of vascular tissues became brown; The entire plant was wilted thoroughly  |

### 1.2 频次分布适合性测定

当样本数  $N$  充分大时 ( $N \geq 50$ ), 则不论总体为何种分布, 统计量总是近似地服从特定自由度的正态分布。将田间调查取得的实测值制成频次分布表, 对实测频次分布与理论频次分布进行  $X^2$  检验, 以确定空间分布型, 理论频次和实测频次间的适合度差异不显著者, 可判断为实测样本属于该种分布类型<sup>[8]</sup>。  $X^2$  检验方法为:

$$X^2 = \sum_{x=0}^n [(F_x - E_x)^2 / E_x] \quad (1)$$

式中,  $F_x$  为实测频次,  $E_x$  为理论频次,  $n=4$ , 为样方病株级别。

(1) 二项分布 二项分布为随机均匀分布的一种, 种群中个体间相互独立, 因而在空间分布上是均匀的。其概率公式为:

$$P_r = \binom{n}{r} p^r q^{n-r} \quad (2)$$

式中,  $r=0, 1, 2, 3, \dots, n$ ,  $p$  为样本中个体出现的概率,  $q$  为不出现的概率。均值  $X=np$ , 方差  $S^2=npq$ 。

(2) 泊松分布(Poisson 分布) 该分布用于描述种群的随机分布, 它不同于均匀分布。该分布的特征是种群中的任何个体占据空间任何一点的概率是相等的, 并且一个个体的存在决不影响其它个体的分布。由于泊松分布分布的均值和方差相等, 故概率公式仅一个参数  $m$  (总体平均数), 有:

### 万方数据

$$P_r = e^{-m} \frac{m^r}{r!} \quad (3)$$

式中,  $m$  为总体均数。

(3) 负二项分布 服从负二项分布的生物种群在空间结构上呈聚集分布,特点是呈疏密相间的极不均匀状或嵌纹状。负二项分布的概率公式为:

$$P_r = (-1)^r \binom{r-k}{r} p^r q^{-k-r} = \frac{(k+r-1)!}{r!(k-1)!} p^r q^{-k-r} \quad (4)$$

式中,  $p, q, k$  均为参数。

(4) 核心分布(Neyman 分布) 呈核心分布的生物种群空间分布疏密不一,形成一个核心,核心周围呈放射状扩散。其理论分布为:

$$P_0 = e^{-m_1} e^{m_1 F(0)}, P_{r+1} = \frac{m_1}{r+1} \sum_{k=0}^r F_k P_{r-k} \quad (5)$$

(5) 泊松-二项分布 该分布型是随着  $n$  的不同而得到各种  $n$  型的泊松二项分布。当  $n \rightarrow \infty$  时,它趋于核心分布;在  $0 < n < 1$  范围内,当  $n \rightarrow 0$  时,则趋于负二项分布。因此这种分布正处于核心分布和负二项分布之间。该分布的理论公式为:

$$F_r = \frac{1}{x} \sum_{i=0}^{r-1} \binom{r-1}{i} (n-1)^{(r-i-1)} p^{(r-i-1)} q^{(n-r+i)} F_i \quad (6)$$

式中,  $(n-1)^{[0]}=1, (n-1)^{[1]}=n-1, (n-1)^{[2]}=(n-1)(n-2), (n-1)^{[3]}=(n-1)(n-2)(n-3), \dots, (n-1)^{[R]}=(n-1)(n-2)\dots(n-R)$ , 故含  $r$  个个体的样本出现的概率为  $P_r = F_r / r!$ 。

(6) 复合泊松分布 设在空间有许多随机分布小区,在各小区上还有随机的点分布,调查空间小区上分割开的点数,可得到下面两个泊松分布的组合:

$$P_k = \sum_{r=1}^k \frac{m^r e^{-m}}{r^2} \cdot \frac{(r\lambda)^{k-r} e^{-r\lambda}}{(k-r)!} \quad (7)$$

式中,  $r$  个集群中有  $a_1, a_2, \dots, a_r$  个体,并且  $a_1 + a_2 + \dots + a_r = k$ 。

### 1.3 聚集度指标<sup>[9]</sup>

生物种群田间分布型常因种类和发育阶段的差异而不同,亦随种群密度的大小而有所变化,同时还受地形、土壤和气候等环境因素的影响。了解不同生物种群空间分布型的差异,不仅可以认识它的生活习性和对环境的适应性,还可以根据不同分布型进行调查取样及有关生物学试验的设计。同时,还可用于判断种群的空间分布型,对种群群体行为、种群扩散型等提供有用的信息。

(1) 平均拥挤度  $m^*$ <sup>[10]</sup> 平均拥挤度表示生物个体在一个样方中的平均邻居数,它反映了样方内生物个体的拥挤程度。

$$m^* = \frac{\sum_{j=1}^{\theta} x_j(x_{j-1})}{\sum_{j=1}^{\theta} x_j} = m + \frac{S^2}{m} - 1 \quad (8)$$

式中,  $x_j$  为第  $j$  个样方的个体数,  $\theta$  为样方总数,  $m$  为平均密度,  $S^2$  为样本方差。

(2)  $I$  指标

$$I = \frac{S^2}{m} - 1 \quad (9)$$

当  $I < 0$  时为均匀分布,当  $I = 0$  时为随机分布,当  $I > 0$  时为聚集分布。

(3)  $m^*/m$  指标 Lloyd 提出了  $m^*/m$  指标<sup>[9]</sup>,即平均拥挤度与其平均值之比,即:

$$m^*/m = 1 + S^2 - \frac{1}{m} \quad (10)$$

当  $m^*/m < 1$  时为均匀分布;当  $m^*/m = 1$  时为随机分布;当  $m^*/m > 1$  时为聚集分布。

(4)  $CA$  指标

$$CA = \frac{S^2/m - 1}{m} \quad (11)$$

Kuno 最早提出并认为,当  $CA < 0$  时为均匀分布,当  $CA = 0$  时为随机分布,当  $CA > 0$  时为聚集分布。

(5) 扩散系数  $C$

$$C = S^2/m \quad (12)$$

### 万方数据

该指标用于检验种群是否偏离随机型。当  $C < 1$  时为均匀分布,当  $C = 1$  时为随机分布,  $C > 1$  时为聚集分布。

(6) 负二项分布中的  $K$  指标

$$K = \frac{m^2}{s^2 - m} \quad (13)$$

在负二项分布中,当  $K < 0$  时为均匀分布,当  $K \rightarrow +\infty$  时为随机分布,当  $K > 0$  时为聚集分布。

## 1.4 回归模型分析法

(1)  $m^*-m$  回归分析法 Iwao 建立了如下  $m^*-m$  回归式:

$$m^* = \alpha + \beta m \quad (14)$$

用于研究  $m^*$  与平均值之间的相关关系。式中为分布的基本成分按大小分布的平均拥挤度;当  $\alpha = 0$  时,分布的基本成分为单个个体;当  $\alpha > 0$  时,个体间相互吸引,分布的基本成分为个体群;当  $\alpha < 0$  时,个体之间相互排斥。为基本成分的空间分布图式;当  $\beta < 1$  时,为均匀分布;当  $\beta = 1$  时,为随机分布;当  $\beta > 1$  时,为聚集分布。

(2) Taylor 幂法则<sup>[12]</sup> Taylor 在大量生物种群资料的统计分析中,发现样本平均数与方差的对数值之间存在着以下很有意义的回归关系:

$$\lg S^2 = \lg a + \lg m, \text{ 即: } S^2 = am^b \quad (15)$$

当  $b \rightarrow 0$  时为均匀分布, $b = 1$  时为随机分布, $b > 1$  时为聚集分布。

1.5 最适理论抽样模型<sup>[13]</sup>

Iwao 回归模型:

$$n = \frac{t_a^2}{D^2} \left( \frac{\alpha + 1}{m} + \beta - 1 \right) \quad (16)$$

式中, $n$  为最适抽取样方数; $m$  为平均数; $t_a$  为分布临界值; $\alpha, \beta$  为  $m^*-m$  回归参数; $D$  为允许相对误差; $D = S_x/m$ 。

1.6 序贯抽样分析法模型<sup>[14,15]</sup>

序贯抽样是根据调查的实况,利用已经取得的样本中的信息和要求在一定的置信限范围内,决定取样的样本数的方法。根据取样理论,取样总体的变异越大,取样的次数就应相应增加,样本才能有代表性;反之,若取样总体的变异小,则取样次数可以适当减少,亦能获得同等精度。而序贯抽样是从严谨的抽样理论作出的决定,既能保证精度,又具代表性。序贯分析模型:

$$T_{0(N)} = Nm_0 \pm t \{ N [ (\alpha + 1)m_0 + (\beta - 1)m_0 ] \}^{1/2} \quad (17)$$

式中, $\alpha, \beta$  为  $m^*-m$  模型参数; $m_0$  为防治指标; $t$  分布临界值; $N$  抽样数。

1.7 数据代换<sup>[15]</sup>

许多统计方法都是以总体为常态分布条件设计而得的,要求方差不随均值而变化。但当种群为聚集分布时,在抽样中均值与方差的独立性减少,不属于正态分布,因此,必须在空间分布型的基础上进行资料代换,然后再用统计的方法进行分析,才能得出正确结论。

Taylor 幂法则的模型为:

$$X' = X^{1-b/2} \quad (18)$$

式中, $b$  为 Taylor 幂函数参数。

Iwao 回归模型为:

$$X' = \sin^{-1} [ (1 - \beta) \cdot X / (\alpha + 1) ]^{-1/2} \quad (19)$$

式中, $\alpha, \beta$  为  $m^*-m$  回归参数。

## 2 结果与分析

## 2.1 不同田块西瓜枯萎病病情指数

试验结果见表 2。不同田块西瓜枯萎病发病情况差异显著。发病的级别均值范围为 0.9592~1.4800,发病最重的田块为 4 号田,病情指数 44.16%,发病最轻的田块为 6 号田,病情指数 24.50%,其余田块病情指数为 37.69%~37.00%。利用最小二乘法,建立病情指数( $X$ )与发病级别均值( $Y$ )之间回归方程, $Y = -0.0379 + 0.0410X$ ,相关系数  $R = 0.9997$ ,相关关系极显著,用于估计不同病情指数下的发病级别均值。

## 2.2 频次分布适合性检验

试验结果见表 3。西瓜枯萎病株在田间的分布,随着田块的不同差异显著。被测田块都不符合二项分布[均匀分布,公式(2)];田块 1、2 同时符合泊松分布[公式(3)]、核心分布[公式(4)]、负二项分布[公式(5)]、泊松-二项分布[公式(6)]、复合泊松分布[公式(7)]、田块 3 符合核心分布[公式(4)]、负二项分布[公式(5)]、泊松-二项分布[公式(6)]、复合泊松分布[公式(7)],田块 4 仅符合复合泊松分布[公式(7)],田块 5 则符合核心分布[公式(4)]、泊松-二项分布[公式(6)]、复合泊松分布[公

式(7)],所测定的空间分布型,体现出西瓜枯萎病病株在田间的分布格局的多态性,主要趋向聚集分布。

表 2 西瓜枯萎病调查田块病株空间分布频次

Table 2 Spatial distribution frequency of infected plants in watermelon field

| 样本田块<br>Field No. | 调查株数(N)<br>Plant number | 各级株数(N)<br>Plant number in each grade |    |    |    |    | 级别均值<br>Mean of grade | 病情指数<br>Disease index |
|-------------------|-------------------------|---------------------------------------|----|----|----|----|-----------------------|-----------------------|
|                   |                         | 0                                     | 1  | 2  | 3  | 4  |                       |                       |
| 1                 | 50                      | 15                                    | 13 | 9  | 9  | 4  | 1.4800                | 37.00                 |
| 2                 | 60                      | 18                                    | 18 | 12 | 8  | 4  | 1.3667                | 34.16                 |
| 3                 | 56                      | 20                                    | 15 | 12 | 4  | 5  | 1.2679                | 31.69                 |
| 4                 | 60                      | 16                                    | 14 | 8  | 12 | 10 | 1.7667                | 44.16                 |
| 5                 | 58                      | 21                                    | 13 | 11 | 5  | 8  | 1.4138                | 35.34                 |
| 6                 | 50                      | 22                                    | 15 | 8  | 2  | 3  | 0.9592                | 24.50                 |

表 3 西瓜枯萎病调查田块病株空间型适合性检验

Table 3 Goodness of fitting test for the spatial distribution patterns of the infected plants in watermelon fields

| 样本田块<br>Filed No. | 调查株数<br>Plant number | 均值<br>Mean | 方差<br>Variance | 二项分布<br>B | 泊松分布<br>P | 核心分布<br>N | 负二项分布<br>NB | 泊松-二项分布<br>PB | 复合泊松分布<br>CP |
|-------------------|----------------------|------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------------|--------------|
| 1                 | 50                   | 1.4800     | 1.7241         | 0.0001**  | 0.1035NS  | 0.0812NS  | 0.0826NS    | 0.0882NS      | 0.1343NS     |
| 2                 | 60                   | 1.3667     | 1.5243         | 0.0001**  | 0.3827NS  | 0.3332NS  | 0.3232NS    | 0.3440NS      | 0.4859NS     |
| 3                 | 56                   | 1.2679     | 1.6179         | 0.0001**  | 0.0457*   | 0.1831NS  | 0.1674NS    | 0.2057NS      | 0.3787NS     |
| 4                 | 60                   | 1.7667     | 2.1480         | 0.0010**  | 0.0037**  | 0.0090**  | 0.0076**    | 0.0106*       | 0.0718NS     |
| 5                 | 58                   | 1.4138     | 2.0012         | 0.0010**  | 0.0009**  | 0.0640NS  | 0.0457*     | 0.0955NS      | 0.5043NS     |
| 6                 | 50                   | 0.9592     | 1.3316         | 0.0010**  | 0.0240*   | 0.2539NS  | 0.2812NS    | 0.2527NS      | 0.1622NS     |

\* NS 表示差异不显著,适合,  $P > 0.05$ ; \* 表示不适合,  $P < 0.05$ ; \*\* 表示极不适合,  $P < 0.01$ ; B, 二项分布; P, 泊松分布; N, 核心分布; NB, 负二项分布; PB, 泊松-二项分布; CP, 复合泊松分布 NS means non-significant  $P > 0.05$ ; \*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ ; B, binomial distribution; P, Poisson distribution; N, Neyman distribution; NB, Negative binomial distribution; PB, Poisson-binomial distribution; CP, Compound Poisson distribution

### 2.3 聚集度指数

试验结果见表 4。被测田块的西瓜枯萎病株平均拥挤度  $m^*$  为 1.533~1.983,表明不同田块西瓜枯萎病株平均拥挤程度变化不大。各田块西瓜枯萎病株的 I 指标大于 0,  $M^*/M$  指标大于 1,  $Ca$  指标大于 0, 扩散系数  $C$  大于 1,  $K$  指标大于 0, 表明西瓜枯萎病株在田间均为聚集分布,不同田块分布的聚集程度有所差异。

表 4 西瓜枯萎病调查田块病株空间分布的聚集度指数

Table 4 Aggregation index of spatial distribution of the infected plants in watermelon fields

| 样本田块<br>Field No. | 拥挤度 $M^*$<br>Crowding $M^*$ | I 指标<br>I index | $M^*/M$ 指标<br>$M^*/M$ index | $Ca$ 指标<br>$Ca$ index | 扩散系数 $C$<br>Diffusion coefficient | $K$ 指标<br>$K$ index |
|-------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------------|---------------------|
| 1                 | 1.6450                      | 0.1650          | 1.1110                      | 0.1110                | 1.1650                            | 8.9730              |
| 2                 | 1.4820                      | 0.1150          | 1.0840                      | 0.0840                | 1.1150                            | 11.8520             |
| 3                 | 1.5440                      | 0.2760          | 1.2180                      | 0.2180                | 1.2760                            | 4.5930              |
| 4                 | 1.9830                      | 0.2160          | 1.1220                      | 0.1220                | 1.2160                            | 8.1860              |
| 5                 | 1.8290                      | 0.4150          | 1.2940                      | 0.2940                | 1.4150                            | 3.4030              |
| 6                 | 1.3470                      | 0.3880          | 1.4050                      | 0.4050                | 1.3880                            | 2.4710              |

### 2.4 回归分析法

(1)  $m^*-m$  回归分析 用最小二乘法算出  $m^* = \alpha + \beta m$  方程参数  $\alpha$  和  $\beta$ , 得到回归方程  $m^* = 0.5575 + 0.7856m$ , 相关系数为  $r = 0.8902$ , 相关关系显著。 $\alpha = 0.5575$ , 大于 0, 表明病株空间分布的基本成分是个体群, 病株个体间相互吸引, 病株在大田中存在明显的发病中心, 形成这个格局的原因, 既是中心病株扩散的结果, 也是环境条件抑制的结果;  $\beta = 0.7856$ , 小于 1, 表明个体群在田间呈均匀分布格局, 即分布的基本成分个体群之间趋于均匀分布, 与核心分布相吻合。

(2) Taylor 幂法则 分析结果表明, Taylor 幂法则方程为  $\lg(S^2) = 0.1298 + 0.7702 \lg(m)$ , 相关系数  $r = 0.8817$ , 相关关系显著; 聚集度指标  $b = 0.7702$ , 小于 1, 表明由西瓜枯萎病病株个体的空间格局随着病株密度的提高越趋均匀分布。

### 2.5 最适抽样数据

用 Iwao 最适理论抽样模型(16)式, 取概率保证值  $t_a = 1.96$ , 允许误差  $D = 0.2$ ,  $\alpha = 0.5575$ ,  $\beta = 0.7856$ , 计算出不同病情指



数情况下所需的最适抽样数(图 1)。当病情指数为 5% 时,所需抽样数为 874 株;病情指数为 25% 时,所需抽样数为 130 株;病情指数为 50% 时,所需抽样数为 53 株;随着病情指数的增加,所需抽样数递减。

## 2.6 序贯抽样模型

序贯抽样是根据田间调查实况,在一定的置信范围内利用取得的样本信息确定合适的抽样量或是否达到防治的指标。现以本地西瓜枯萎病发病情况暂定其防治指标  $m_0$ , 为病情指数 25%, 即发病级别均值为 0.9871; 已知  $t=0.2, \alpha=0.5575, \beta=$

0.7856, 代入序贯抽样公式 17, 则  $T_{0(N)}=0.9871N \pm 1.2347 \sqrt{N}$ , 根据上述方程求得西瓜枯萎病序贯抽样检索表(表 5)。由表 5 可看出, 与调查丛数  $N$  株时, 若累计病情指数超过上界可定为防治对象田, 若累计病情指数未达到下界时, 可定为不防治田, 若累计病情指数在上下界之间, 则应继续调查, 直到最大样本数  $m_0=0.9871$  时, 也即病情指数 25%, 所需抽样数 130 株止, 如图 1 所示。

## 2.7 数据代换

基于 Taylor 幂法则的感病株数的代换模型为:  $X'=X^{1-0.7702/2}=X^{0.6149}$ , 式中,  $X'$  为代换后的数据,  $X$  为原始数据。基于 Iwao 回归模型的感病株数的代换模型为:  $X'=\sin^{-1}[(1-\beta) \cdot X/(\alpha+1)]^{1/2}$ , 即  $X'=\sin^{-1}[(1-0.7856) \cdot X/(0.5575+1)]^{1/2}=\sin^{-1}(0.2144X/1.5575)^{1/2}=\sin^{-1}(0.1376X)^{1/2}$ , 式中,  $X'$  为代换后的数据,  $X$  为原始数据。

## 3 讨论

通过频次分布和聚集度指数的测定结果表明, 西瓜枯萎病病株田间分布趋向于聚集分布。 $m^*-m$  回归方法分析表明病株空间分布的基本成分是个体群, 病株个体间相互吸引, 病株在大田中存在明显的发病中心, 形成这个格局的原因, 既是中心病株扩散的结果, 也是环境条件限制的结果; 个体群在田间呈均匀分布格局, 即分布的基本成分个体群之间趋于均匀分布, 个体群内的个体与核心分布相吻合。Taylor 幂法则分析表明, 西瓜枯萎病病株个体的空间格局随着病株密度的提高越趋均匀分布。 $m^*-m$  回归方法着重于病株形成发病中心(个体群)分布的空间表述, 发病中心内部的病株个体在密度低时呈聚集分布, 密度高时呈均匀分布, 而发病中心作为个体群则呈均匀分布; 而 Taylor 幂法则着重于病株个体分布的空间行为, 当密度低时表现为聚集分布, 当密度高时趋向均匀分布。因而, 两个分析方法在不同的密度下表述的空间特性不同, 当达到一定高的密度时, 分析结果趋向同质。

病害的抽样难度很大, 样方的大小对统计分析结果影响显著, 为了进行抽样技术的研究, 作者以单株瓜苗为样方, 用

Iwao 最适理论抽样模型  $n=t_a^2/D^2[(\alpha+1)/X+\beta-1]$ , 计算出不同病情指数情况下所需的最适抽样数, 结果表明, 随着病情指数的增加, 所需抽样数递减。建立序贯抽样模型为  $T_{0(N)}=0.9871N \pm 1.2347 \sqrt{N}$ , 调查株数  $N$  株时, 若累计病情指数超过上界可定为防治对象田, 若累计病情指数未达到下界时, 可定为不防治田, 若累计病情指数在上下界之间, 则应继续调查, 直到最大样本数  $m_0=0.9871$  时, 即病情指数 25%, 所需抽样数 130 株止。

病株的空间分布信息是由病菌本身的遗传特性和生态环境条件所决定, 既是资料代换、抽样设计的基础, 又可用于指导生物防治。病害流行的空间动态不仅包括病株的田间分布模式, 更重要的是传播距离、传播速度的分析, 这方面还有待进一步研究, 以加深对病害流行规律的认识。

## References:

### 万方数据

[1] Cao C Q, Li X L, Zeng S M. Spacial distribution of stripe rust under the sowing of wheat variety mixtures. *Journal Hebei Agricultural*

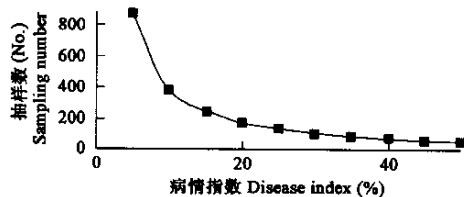


图 1 不同病情指数情况下所需的最适抽样数

Fig. 1 The optimum sampling number for each disease index

表 5 西瓜枯萎病序贯抽样检索表

Table 5 Index list for sequential sampling of infected plants in watermelon field

| 调查株数(N)<br>Plant number | 防治指标 $m_0=0.9871$<br>Control index $m_0=0.9871$ |                   |            |            |
|-------------------------|---|-------------------|------------|------------|
|                         | 0.9871N   | 1.2347 $\sqrt{N}$ | $T_p$ (上界) | $T_q$ (下界) |
| 20                      | 19.742  | 5.521             | 25.263     | 14.221     |
| 40                      | 39.484  | 7.808             | 47.292     | 31.676     |
| 60                      | 59.226  | 9.563             | 68.789     | 49.663     |
| 80                      | 78.968  | 11.043            | 90.011     | 67.925     |
| 100                     | 98.71   | 12.347            | 111.057    | 86.363     |
| 120                     | 118.452   | 13.525            | 131.977    | 104.927    |
| 140                     | 138.194   | 14.609            | 152.803    | 123.585    |
| 160                     | 157.936   | 15.617            | 173.553    | 142.319    |
| 180                     | 177.678   | 16.565            | 194.243    | 161.113    |
| 200                     | 197.42  | 17.461            | 214.881    | 179.959    |
| 220                     | 217.162   | 18.313            | 235.475    | 198.849    |
| 240                     | 236.904   | 19.127            | 256.812    | 217.777    |
| 260                     | 256.646   | 19.908            | 276.554    | 236.738    |
| 280                     | 276.388   | 20.660            | 297.048    | 255.728    |
| 300                     | 296.13  | 21.385            | 317.515    | 274.745    |

*University*, 1995, **18** (2): 30~33.

- [ 2 ] Hu W M, Liu M, Qi X K, *et al.* Space distribution setup and sampling technique of root rot of mountain poplar. *Journal of Agricultural Science Yanbian University*, 2001, **23** (1): 1~7.
- [ 3 ] Liu X G, Xiang C L, Dong A R, *et al.* Study on the spatial distribution pattern of ice nucleation bacteria canker of poplar and its application. *Journal Northeast Forestry University*, 1999, **27**(3): 36~39.
- [ 4 ] Yang Z H, Liu K C, Zhou S L. The spacial distribution and sampling technique for the kernel smut of rice. *Acta Phytopathological Sinica*, 1994, **24** (2): 185~192.
- [ 5 ] Zhang D Y, Wang Z Z, Fan H Z. Spatial distribution and spread dynamics of papaya ringspot disease. *Journal South China Agricultural University*, 1995, **16** (4): 27~31.
- [ 6 ] Zhang W M, Wang Z Z. Study on the spatial distribution pattern of tomato mosaic disease and its aphid vectors. *Journal south China Agricultural University*, 2002, **23** (4): 23~26.
- [ 7 ] Zhao L Y, Liu Z Y, Gao X W, *et al.* Spatial patterns of yellow rust of turf grass and yts sampling technique. *Grassland of China*, 2001, **23**(6): 39~41.
- [ 8 ] Tang Q Y, Feng M G. *DPS data processing system for practical statistics*. Beijing: Science Press, 2002. 205~208.
- [ 9 ] Ding Y Q. *Insect mathetic ecology*. Beijing: Science Press, 1994. 29~58.
- [ 10 ] Lloyd M. Mean crowding. *J. Anim. Ecol.*, 1967, **36**, 1~30.
- [ 11 ] Iwao S. A new regression method for analysis the aggregation pattern of animal population. *Res. Pop. Ecol.*, 1968, **10**, 1~20.
- [ 12 ] Taylor L R. Aggregation variance and mean. *Nature*, 1961, **189**, 732~735.
- [ 13 ] Iwao S. An approach to the analysis of aggregation patern in biological populations. *Statist. Ecol.*, 1971, **1**, 461~513.
- [ 14 ] Iwao S. Relation of frequency index to population density and distribution patern. *Physiol. Ecol. Jap.*, 1976, **17**, 457~464.
- [ 15 ] Liu C M, Lian Z M. The Spatial distribution pattern and sampling method of egg mass of *Chondracris rosea* in cotton fields. *Acta Agri. Boreali-occidentalis Sinica*, 2003, **12**(1): 136~138.

#### 参考文献:

- [ 1 ] 曹春强, 李晓丽, 曾士迈. 品种混合种植条件下小麦条锈病的空间分布. *河北农业大学学报*, 1995, **18**(2): 30~33.
- [ 2 ] 胡伟民, 刘敏, 开样昆, 等. 山杨根腐病空间分布格局及抽样技术的研究. *延边大学农学学报*, 2001, **23**(1): 1~7.
- [ 3 ] 刘晓光, 项存傑, 董爱荣, 等. 杨树冰核细菌溃疡病株空间分布格局及其应用. *东北林业大学学报*, 1999, **27**(3): 36~39.
- [ 4 ] 杨志华, 刘康成, 周淑兰, 等. 水稻粒黑粉病空间分布及抽样技术研究. *植物病理学报*, 1994, **24**(2): 185~192.
- [ 5 ] 张德雍, 王振中, 范怀忠. 番木瓜环斑病的空间分布及流行动态模糊聚类分析. *华南农业大学学报*, 1995, **16**(4): 27~31.
- [ 6 ] 张卫民, 王振中. 番茄花叶病病株及传毒介体空间分布型研究. *华南农业大学学报*, 2002, **23**(4): 23~26.
- [ 7 ] 赵兰勇, 刘扳宇, 高样伟, 等. 草坪草条锈病空间格局及抽样技术. *中国草地*, 2001, **23**(6): 39~41.
- [ 8 ] 唐启义, 冯明光. *实用统计分析及其 DPS 数据处理系统*. 北京: 科学出版社, 2002. 205~208.
- [ 9 ] 丁岩钦. *昆虫数学生态学*. 北京: 科学出版社, 1994. 29~58.
- [ 15 ] 刘缠民, 廉振民. 棉田棉蝗卵块空间分布型及抽样技术研究. *西北农业学报*, 2003, **12**(1): 136~138.