

棉田内棉铃虫卵分布型参数特征及其应用*

丁岩钦 陈玉平

(中国科学院动物研究所)

摘 要

棉铃虫(*Heliothis armigera* Hb.)卵在棉株上的空间分布型,袁锋等(1980)曾用频数分布资料,以负二项分布、Neyman分布、Poisson分布等理论分布公式进行了适合性检验。其结果认为棉铃虫卵的分布型多属负二项分布。本文目的系进一步揭示分布型参数特征及与其生物学特性关系,以探讨它们在生产实践中的应用意义。

一、试验资料的获得

主要系通过历年棉株蕾期阶段逐株调查,分别记载的系统调查资料,有些资料系通过1981—1983年6月中旬至7月上旬,由上到下逐叶、逐果枝,按果枝顺序分别记载卵在棉株上的垂直分布及受害蕾花的垂直分布,再根据棉株不同部位叶片上卵的分布密度分别挂牌标卵,经24小时、48小时后检查卵的消亡率,为使分析更全面起见,本文中亦应用了袁锋等同志的原始调查资料分析。

二、结果与分析

1. 棉铃虫卵在田间的分布型

为了用较多的田间资料进一步检验与分析棉铃虫卵分布型,首先我们用Iwao(1968)提出的平均拥挤度(m^*)与平均数($\bar{x}$)的回归关系式,即

$$m^* = a + \beta \bar{x} \quad (1)$$

进行了检验,结果为

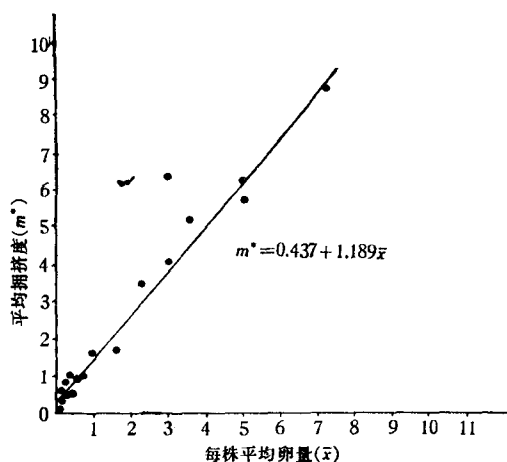
$$m^* = 0.437 + 1.189 \bar{x}$$

其中

$$m^* = \bar{x} + \frac{s^2}{\bar{x}} - 1 \quad (2)$$

m^* 与 $\bar{x}$ 呈显著相关,相关系数(r) = 0.96

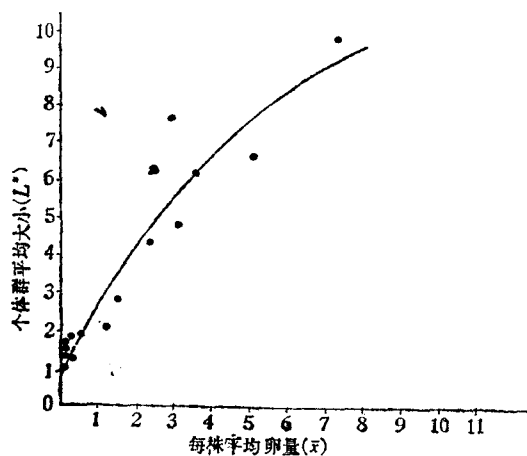
* 袁锋同志提供原始资料,谨致谢忱。

图 1 平均拥挤度(m^*)与卵密度($\bar{x}$)的关系

以个体群中的成员与个体群之间均呈聚集分布, 其聚集度的大小与负二项分布的指数 k 值的大小有关。这样, 表示棉铃虫卵的个体群平均大小指数(L^*)公式为

$$L^* = m^* + 1 = 1 + \bar{x} + \bar{x}/k \quad (3)$$

根据上式将棉铃虫卵的田间调查资料进行了分析, 发现当每株平均卵量在 1 粒以下时, L^* 值均在 1—2 之间。当每株平均卵量在 1—2 粒范围之内时, L^* 值在 2—3 之间, 但当每株平均卵量在 3 粒左右时, 则 L^* 值变动幅度迅速增大, 从 4.7—7.7, 这说明当每株平均卵量在 3 粒以上时, 个体群平均大小的波动范围系不稳定的, 见图 2。

图 2 个体群平均大小与每株平均卵量($\bar{x}$)的关系

根据 $\alpha = 0.437$, $\beta = 1.189$ 关系, 说明棉铃虫卵在田间的分布呈负二项分布。

2. 棉铃虫卵在田间个体群平均大小的测定

根据表示棉铃虫卵分布型的特征参数(α , β), $\alpha = 0.437$, 说明卵在空间系呈个体群结构存在, $\beta = 1.189$, 说明卵的分布型呈聚集分布。而两者结合起来, 说明不论个体群之内的各成员关系或个体群之间均不呈随机分布。

由于卵系呈个体群结构, 我们可以设想, 一个个体群中的每个成员均与其它成员分享着同样的空间, 并且认为所有个体均系分布在整个个体群中, 而不是均匀地分布在抽样单位的总数之中。因为棉铃虫卵系呈负二项分布, 所

3. 影响棉铃虫卵聚集分布的因素分析

任何物种种群在空间的聚集原因, 既可能受某些环境因素的影响, 亦可能是由于物种本身行为特性的聚集习性所致, 我们应用了Bla-ckith(1961)的种群聚集均数(λ)检验了棉铃虫卵在田间的聚集原因。

聚集均数(λ)的公式为

$$\lambda = \frac{\bar{x}}{2k} \gamma \quad (4)$$

其中 k 系负二项分布的指数 k 值。 γ 是具有自由度等于 $2k$ 的 χ^2 分布的函数, 计算聚集均数应用 0.5 的概率值, 即 $\gamma = \chi^2$ 分布表中自由度等于 $2k$ 与 0.5 概率值的对应处的 χ^2 值。

其原理是当 λ 在 2 以下时, 该虫态聚集的原因可能由于某些环境因素作用所致, 而不是由于昆虫本身的聚集习性的原因, 当 λ 等于或大于 2 时, 其聚集原因既可能系由于昆虫本身的聚集行为所引起, 或由于昆虫本身的聚集行为与环境的异质性两因素所引起。

我们根据棉铃虫卵的调查资料, 应用计算公共 k 值的简便公式

$$k_e = \frac{\sum(\bar{x}^2 - (s^2/n))}{\sum(s^2 - \bar{x})} \quad (5)$$

其中 s^2 等于方差。算出 $k_e = 2.958$ 。然后应用(4)式,结合棉铃虫卵的不同密度,进行了计算。结果见图3。

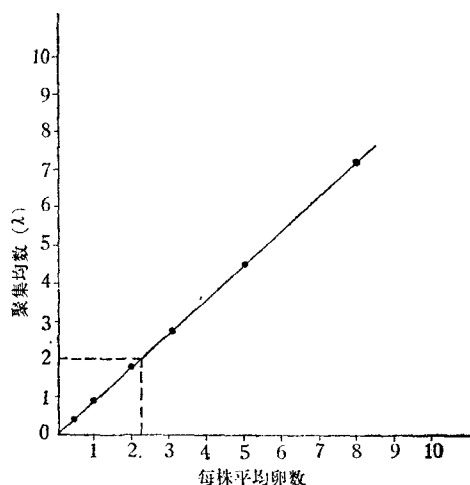


图3 聚集均数与卵密度的关系

从图中可以看出,棉铃虫卵的聚集均数(λ)系随卵密度的增高而增大,当每株卵密度在2.4粒以下, λ 值均在2以下,这说明棉铃虫卵在棉株上的聚集系与当时棉株生长状况有关。当每株卵密度超过2.5粒时,(即 λ 值均超过2时),则棉铃虫卵在棉田内的聚集,除与当时棉株的生长发育状况有关外,亦与棉铃虫成虫的聚集行为有关。即产卵期间由于棉铃虫成虫密度的增加,增加了彼此接近的机会,从而使聚集均(λ)数增大。

4. 卵在棉株上的垂直分布与卵消亡率关系

棉铃虫卵在棉株上的垂直分布有明显的层次性,我们通过1982—1983年两年的系统调查资料的统计结果发现在北方棉区二代棉铃虫产卵期间,棉株一般有6—8个果枝,而卵量主要分布在棉株的顶心及与其相邻的第1—3个果枝上。占整个卵量的90%左右。由上向下的第4—8果枝上的卵量仅有10%。

第二代棉铃虫卵在棉株各层次间的消亡率,经挂牌观察结果,由顶心到第2果枝,经24小时后,卵消亡率平均为21.2%,经48小时后,卵消亡率为56%。第3—5果枝的卵,经24小时后消亡率为24%,48小时后为55.2%。而最下部的第6—8果枝上的卵,经24小时后消亡率为38.2%,48小时后为75.5%。这样即可看出,下部果枝上的卵消亡率远较上、中部为大。而中部与上部果枝上的卵消亡率差异不大。

5. 不同平均拥挤度下棉铃虫卵的消亡率比较

为了明确棉株同一部位中的卵,由于密度的作用是否对卵的消亡率产生影响。我们进一步进行了在棉株同一部位中,以不同平均拥挤度(m^*)为测度,比较卵的消亡率。从图4中知,卵的消亡率与卵的平均拥挤度有明显关系。如从顶心到第2果枝,当平均拥挤度为16.1时,经24小时后,卵消亡率达53%,而平均拥挤度在1以下时,卵消亡率为25%。

同样,在第6—8果枝中,当平均拥挤度在1以下时,经24小时后,卵平均消亡率为33.3%,而平均拥挤度达12时,卵消亡率达61.6%。这可能与天敌的不随机寻找行为效应有关。

6. 卵平均密度与 k 值的关系

根据棉铃虫卵平均密度($\bar{x}$)与方差(s^2)的关系,从图5可知,它不属于Poisson分布的 $s^2 = \bar{x}$ 直线关系,而用负二项分布的

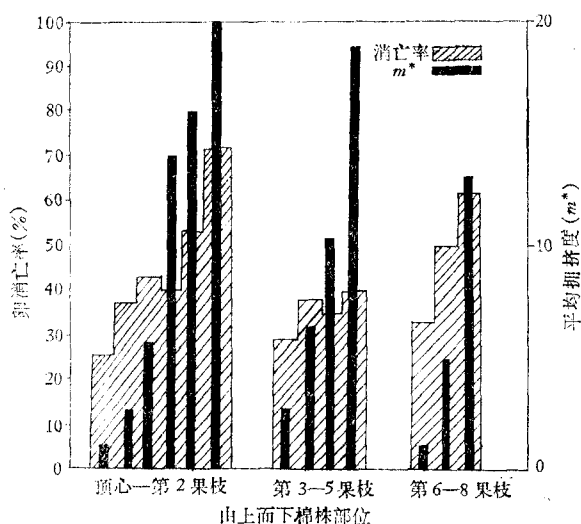


图4 棉铃虫卵的死亡率与不同棉株部位、不同平均拥挤度的关系

$$s^2 = \bar{x} + \frac{\bar{x}^2}{k}$$

曲线公式进行配合时, 得到较好的拟合。

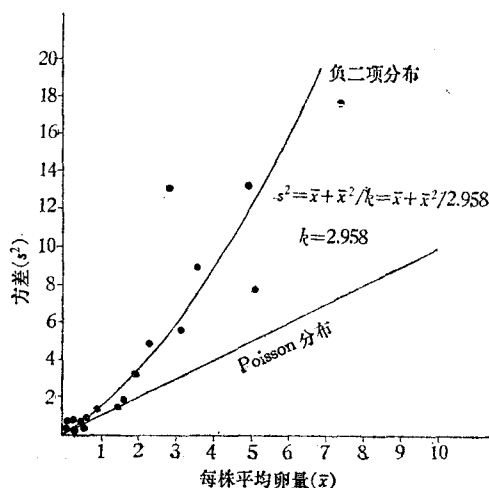


图5 棉铃虫卵的方差与平均数关系

为了进一步了解 k 值与卵平均密度的关系, 在座标纸上用 k 与 $\bar{x}$ 的对应值进行制图, 然后用Iwao(1975)提出的公式

$$k = \frac{\bar{x}}{a + (\beta - 1)\bar{x}} \quad (5')$$

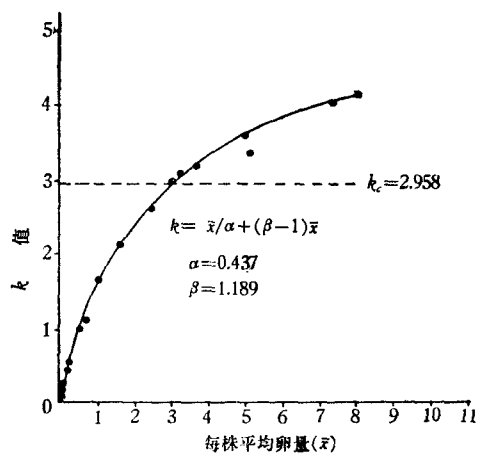
进行配合, 其中 a, β 值为 $m^* = a + \beta \bar{x}$ 式中的 a 与 β 参数值。 $a = 0.437, \beta = 1.189$, 拟合结果亦很一致。这样, 我们即可根据 $\bar{x}$ 值来估计 k 值。

同样, 亦可根据 k 值来估计 $\bar{x}$ 值, 其公式为

$$\bar{x} = \frac{a k}{1 + (1 - \beta)k} \quad (6)$$

7. 棉铃虫卵在棉株上的未着卵株率 (即零频率)与每株平均卵密度($\bar{x}$)的关系分析

根据上述分析的信息可知, 棉铃虫卵在棉田内呈个体群形式存在, 并且认为所有卵均系分布在个体群内, 而不是均匀地分布在抽样单位的总数之中。又由于棉铃虫卵系呈负二项分布, 因此, 棉田内未着卵株率必然存在, 而且受着 k 值的影响。即 $p_0 = q^{-k}$, 这样, 负二项分布的指数 k 值既与棉铃虫卵的聚集度有关, 亦与卵的未着卵株率以及卵的密度有密切关系。根据这些关系, 我们用未着卵株率与每100株平均卵量的资料制图, 进行了分析。发现两者间有一定的规律关系, 然后用

图 6 k 值与每株平均卵量之间的关系

$$\bar{x} = k(p_0^{-1/k} - 1) \quad (7)$$

进行了配合。其中 p_0 为未着卵株率，负二项分布公共 k 值 (k_c) = 2.958。

从图 7 中可以看出，当未着卵株率在 15% 以下，每百株卵密度超过 200 粒以上，即田间实际调查卵量与理论曲线之间上下波动幅度较大外，其余吻合性均很一致。

通过检查未着卵株率估计田间卵的密度，这在实际应用上有一定的意义，它不仅节约了人力，亦节约了大量的时间。

应用检查未着卵株率来估计棉铃虫卵的密度，从图 7 知，除 15% 以下的零频率 (p_0) 外，其

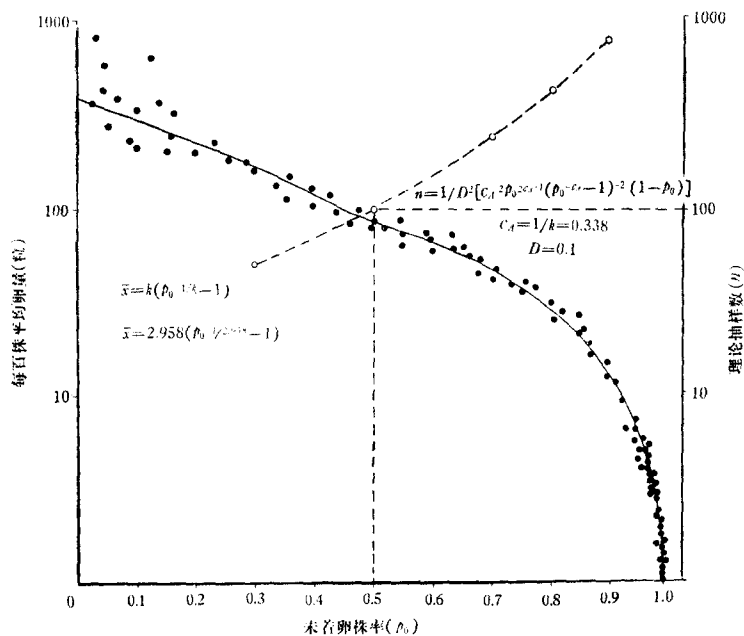


图 7 未着卵株率与每 100 株卵量关系及其理论抽样数

它与理论曲线吻合性良好。但我们总会担心其可靠程度如何？应抽样多少才能达到此目的。亦即应考虑有一定的误差保证。为了达到这一目的，我们用 Kuno (1977) 提出的理论抽样数公式

$$n = \frac{1}{D^2} \left[C_A^2 p_0^{-2} (p_0^{-1/k} - 1)^{-2} (1 - p_0) \right] \quad (8)$$

$$C_A = \frac{1}{k} = \frac{1}{2.958} = 0.338$$

$$D = \sqrt{s^2(\bar{x}) / \bar{x}} = 0.1 \quad (\text{相对精确度})$$

$$\text{其中 } s^2(\bar{x}) = \frac{1}{n} p^{-2} C_A^{-1} (1-p)$$

n = 理论抽样数

p_0 = 未着卵株率

计算结果, 见图 7。

从图中可以看出, 当相对精确度固定时, 理论抽样数系随未着卵株率(p_0)的增加而增大。当未着卵株率在 0.5, 每百株卵量接近 100 粒时, 需抽样 100 株, 当未着卵株率为 0.3 时, 需抽样 50 株。而未着卵株率为 0.7 时, 理论抽样数为 220 株。

我们知道, 未着卵株率越高, 则卵量越少。对我们实际应用来讲意义亦越低。因此, 可以不予考虑。而田间百株卵量 100 粒以上, 则常是大家最关心的事。这样, 根据 n 值计算, 理论抽样数 100 株即可达到目的。但需说明的是本法应用于 15% 以下, 每百株超过 200 粒卵, 即田间大量卵量出现时, 误差较大, 应予以注意。

同样, 在抽样数固定条件下, 我们亦可以估计出抽样结果的精确度(D), 其公式为

$$D = \sqrt{\frac{1}{n} C_A^2 p_0^{-2} C_A^{-1} (p_0^{-2} C_A - 1)^{-2} (1 - p_0)} \quad (9)$$

8. 根据未着卵株判断棉田是否需要防治二代棉铃虫的序贯抽样分析

根据棉田内棉株上是否有卵, 应用序贯抽样技术来判断棉铃虫对该类田的为害程度以及是否达到防治指标, 是节约人力与时间的另一方法, 序贯抽样的特点系在考虑了犯两种错误的概率基础上, 尽量减少抽样数。即保证防治质量的基础上, 尽量节约人力与时间, 这种方法 Sterling(1975, 1976) 曾对美国棉花害虫做了不少工作。

由于近年来国内对棉铃虫种群动态及其为害与产量关系的进一步研究, 过去每百株累计卵量 15 粒的防治指标, 现已大幅度提高。而且依据未着卵株率来估计卵的平均数时, 当未着卵株率在 15% 以下时, 误差较大, 因此, 为了防治指标的正确执行, 应用检查未着卵株的序贯抽样应作为一项主要的相辅措施, 应用于棉铃虫管理决策。

适用于零频率的序贯抽样系以依据总体呈正二项分布。

设 α 为当 H_0 为真时而错误地判断为 H_1 的概率

β 为当 H_1 为真时而错误地判断为 H_0 的概率

$$\alpha = \beta = 0.1$$

则发生程度或防治指标的接收与拒绝的公式为

$$\begin{cases} d_0 = sn + h_0 \\ d_1 = sn + h_1 \end{cases}$$

其中, s 为直线的斜率, h_0, h_1 为直线的截距。

当总体呈正二项分布时

$$s = \frac{\log[(1-p_0)/(1-p_1)]}{\log(p_1/p_0) - \log[(1-p_1)(1-p_0)]} = \frac{\log(q_0/q_1)}{\log[(p_1 q_0)/(p_0 q_1)]}$$

$$q_i = 1 - p_i \quad i = 0, 1$$

$$h_0 = \frac{\log[\beta/(1-\alpha)]}{\log[(p_1q_0)/(p_0q_1)]} = \frac{\log[\beta/(1-\alpha)]}{\log(p_1/p_0) - \log[(1-p_1)/(1-p_0)]}$$

$$h_1 = \frac{\log[(1-\beta)/\alpha]}{\log[(p_1q_0)/(p_0q_1)]} = \frac{\log[(1-\beta)/\alpha]}{\log(p_1/p_0) - \log[(1-p_1)/(1-p_0)]}$$

今设未着卵株率在20%以下为发生较重:

未着卵株率在30%以上为发生中等;

未着卵株率在40%以下为发生中等;

未着卵株率在50%以上为发生较轻。

则发生较重与中等程度的接收与拒绝公式

$$\begin{cases} d_0 = sn + h_0 \\ d_1 = sn + h_1 \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} s &= \frac{\log[(1-p_0)/(1-p_1)]}{\log[(p_1/p_0)]/\log[(1-p_1)/(1-p_0)]} \\ &= \frac{\log[(1-0.20)/(1-0.30)]}{\log[(0.30/0.20)] - \log[(1-0.30)/(1-0.20)]} = 0.2431 \end{aligned}$$

$$h_0 = -4.076 \quad h_1 = 4.076$$

$$\begin{cases} d_0 = 0.2431n - 4.076 \\ d_1 = 0.2431n + 4.076 \end{cases}$$

根据(10)式, 即可绘制出累计零样株数与抽样数关系的两条平行线, 当抽样的结果落入两平行线之间时, 表示不能确定, 需要继续抽样。若 $d_n \leq d_0$ 表示发生较重, $d_n \geq d_1$ 时表示发生中等。最高抽样数为150。

而发生中等与发生较轻的接收与拒绝公式为

$$\begin{cases} d_2 = 0.4454n - 5.3667 \\ d_3 = 0.4454n + 5.3667 \end{cases}$$

$$\text{其中 } s = 0.4454 \quad h_2 = -5.3667 \quad h_3 = 5.3667$$

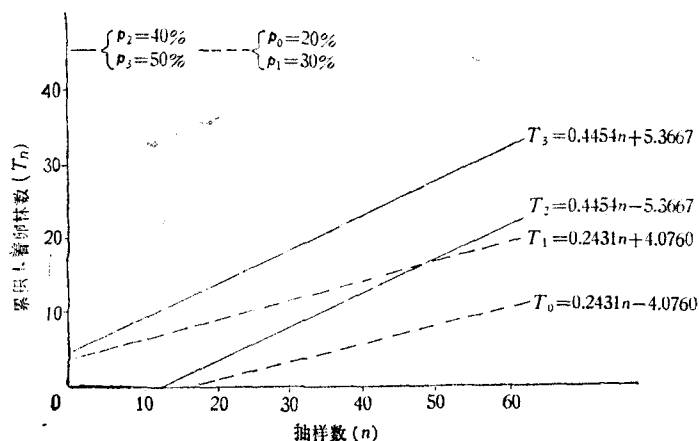


图 8 棉铃虫卵的序贯抽样

而序贯抽样表见图 8、表 1。

表 1 序贯抽样田间调查表

检查株数	累 计 未 着 卵 株 数			
	T_0	T_1	T_2	T_3
10	/	7	/	10
11	/	7	/	10
12	/	7	/	11
13	/	7	/	11
14	/	7	/	12
15	/	8	1	12
16	/	8	2	12
17	/	8	2	13
18	/	8	3	13
19	/	9	3	14
20	/	9	4	14
21	1	9	4	15
22	1	9	4	15
23	2	10	5	16
24	2	10	5	16
25	2	10	6	17
26	2	10	6	17
27	2	11	7	17
28	3	11	7	18
29	3	11	8	18
30	3	11	8	19
31	3	12	8	19
32	4	12	9	20
33	4	12	9	20
34	4	12	10	21
35	4	13	10	21
36	5	13	11	21
37	5	13	11	22
38	5	13	12	22
39	5	14	12	23
40	6	14	12	23
41	6	14	13	24
42	6	14	13	24
43	6	15	14	25
44	7	15	14	25
45	7	15	15	25
46	7	15	15	26
47	7	16	16	26
48	8	16	16	27
49	8	16	16	27
50	8	16	17	28

三、小结与讨论

1. 根据平均拥挤度(m^*)与平均密度($\bar{x}$)关系的回归分析, 棉铃虫卵在棉田内的分布型呈负二项分布, 亦即卵系以个体群形式存在于田间。文中利用了分布型中的参数 m^* 、 k 、 α 、 β 值, 进一步估计了个体群的平均大小, 分析了棉铃虫卵在田间聚集的原因, 探讨了 k 值与卵平均密度以及卵零频率的关系。

根据棉铃虫卵的聚集原因分析, 其聚集原因, 主要系与当时棉株生长类型的环境因素有关, 但当棉铃虫成虫种群数量增加, 每株平均卵密度超过 2.5 粒, 其聚集原因则既受环境因素的影响, 亦受成虫之间相互聚集习性的影响。由于两种因素共同作用的结果, 使卵量在田间的分布出现迅速上升的趋势。如以卵个体群平均大小(L^*)与平均密度($\bar{x}$)关系中可以看出, 当卵平均密度超过 2.8 粒时, L^* 值较前升高近 2 倍, 变动幅度迅速增大。再以未着卵株率与百株平均密度关系可知, 当卵量超过 200 粒, 卵量波动即出现偏离正常的规律, 这都说明当增加了棉铃虫成虫本身的聚集作用因素后, 不论对平均卵量或对卵的个体群大小均产生了显著影响。同时, 亦说明华北棉区第 2 代棉铃虫在棉田内出现每百株 200 粒或以上卵量时是值得注意的一个生物学指标。

2. 卵在棉株上的消亡率既与垂直分布的上下层次不同有关。亦与卵所在叶片上的平均拥挤度有关。将此两者结合起来分析, 即说明卵既受非密度制约的作用, 亦受密度制约的作用。而其中以何项作用最大? 尚需进一步研究。

3. 根据卵在棉田内空间分布的特征与卵零频率株的关系, 以及利用零频率的正二项分布特征, 文中分别提出了利用检查未着卵株率来估计卵密度法与检查未着卵株的序贯抽样法。

我们知道, 序贯抽样的优点是只能用概率保证来判断田间的害虫发生程度或是否达到防治指标需要防治? 其缺点是不能估计田间的种群密度。而应用未着卵株率(即零频率)来估计的卵密度, 则是误差水平没有概率保证, 我们在本文中不仅对零频率估计平均密度的关系, 附以用概率保证的理论抽样数, 以保证抽样估计的质量, 而且提出了上述两种方法结合使用。这样, 既能迅速地估计出卵的密度, 又能正确地判断是否需要防治? 或防治的质量。尤其利用只检查未着卵株而不必统计每株的卵数, 并能在尽量少的抽样数下作出决策, 这就节约了大量的时间与人力。

参 考 文 献

- 丁岩钦 1980 昆虫种群数学生态学原理与应用。科学出版社, 84—124。
 袁锋等 1980 棉铃虫田间分布型及在实践中的应用。(一)(二)。植物保护学报 7(1):1—25。
 Iwao S. 1968 A new regression method for analyzing the aggregation pattern of animal populations. *Res. Pop. Ecol.* 10:1—20.
 Iwao S. 1972 Application of m^* - m method to the analysis of spatial patterns by changing the quadrat size. *Res. Pop. Ecol.* 14:97—128.
 Iwao S. 1975 A new method of sequential sampling to classify population relative to a critical density. *Res. Pop. Ecol.* 16:281—288.
 Kuno E. 1977 Distribution pattern of the rice brown plant hopper and field sampling techniques. In "The Rice Brown Planthopper", p.135—146.
 Sterling W.L. 1975 Sequential sampling of cotton insect populations. Beltwide Cot. Prod. Res. Conf. Proc.

- 1975 Nat. Cotton Council, New Orleans, La.
 Sterling, W.L. 1976 Sequential decision plants for the management of cotton arthropods in South-east Queensland, Aust. J. Ecol., 1:10.

THE CHARACTERISTICS AND APPLICATION OF THE DISTRIBUTION PARAMETERS OF COTTON BOLLWORM EGGS IN COTTON FIELDS

Ding Yeqin Chen Yuping

(Institute of Zoology, Academia Sinica)

On the basis of the m^*-m relationship, the spatial pattern of cotton bollworm eggs fits the negative binomial distribution. The reasons for aggregation, eggs mortality on cotton plant, and mean colony size, etc., are analyzed with the parameters of aggregation k and mean crowding m^* . The result shows that the aggregation of eggs seems to be due to some environmental effects as the mean density per plant is less than about 2.4, and beyond this, the aggregation may be due both to active aggregation by the adults and to some heterogeneity of the environment. A notable result appears in Fig 2, 8. There is a rapid increase in both as the eggs density per plant is more than 2.5. It could be related to effect of aggregation factors.

Since the dispersion of eggs follows the negative binomial the relationship between the proportion of plants uncarring eggs (P_0) and the number of eggs per 100 plants ($\bar{x}$) may be expressed by the following equation:

$$\bar{x} = k(P_0^{-\frac{1}{k}} - 1)$$

i.e., the mean density per 100 plants can be estimated from the proportion of zero's frequency (P_0). The form of relationship is shown in Fig 8. This method provides an alternative to sequential sampling as a basis for pest control decisions. It is particularly useful if the critical density levels are related to the value of P_0 more than 0.2 and below this, the uncertainty involved in predictions may be too great. The necessary sample size (n) for a fixed precision level (D) is also shown in Fig 8. It can be seen that the necessary sample size increases gradually with increasing P_0 .

The sequential sampling based on a binomial distribution which corresponds to an estimation based on the frequency of zero's is made. The chart for the sequential test is shown in Fig 9.