第3卷 第1期
1983年 3月

生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA

Vol.3,No.1
Mar., 1983

序贯抽样技术——用于褐稻虱的防治和研究

高春先 顾秀慧 贝亚维 李根盛

(浙江省农科院植保所) (广东省佛山地区病虫测报站)

褐稻虱 *Nilaparavata lugens*(stål)在亚洲造成广泛的灾害。近十余年来，我国南方稻区普遍遭受褐稻虱连年为害，不少稻田后期出现块状穿顶(hopper burn)，甚至倒伏，严重影响粮食产量。

在水稻害虫综合防治中，当前仍主要依靠化学农药，划分防治对象田是合理使用农药，减少农药对生态环境的不良影响的重要手断之一。为了准确划清防治对象田，有效的抽样技术是必需的。序贯抽样技术是判别接收（不需防治）或拒收（需要防治）的有效的统计检验方法。

Stark(1952b)、Morris(1954)、Weter(1955)最初把序贯抽样技术应用在害虫防治和研究中。国外，许多害虫防治和研究中应用序贯抽样技术(Southwood, 1978)。我国一些科学工作者（王鉴明，1963；宋哲和，1974；丁岩钦和李典谟，1978）在生物学和害虫防治中介绍和应用了这一技术。

序贯抽样和序贯分析是一种统计检验，以一定的概率保证下，判别接收（不需防治）或拒收（需要防治）的子样调查结果。在实行序贯抽样计划之前必须了解该总体随机变量的概率分布；用在划分防治对象田时，必须事先确定某种害虫的“分布型”如二项分布、潘松(Poisson)分布、负二项分布等。

若以负二项分布为例，序贯抽样公式

$$d_o=\theta n+h_0 \tag{1}$$

$$d_1=\theta n+h_1 \tag{2}$$

式中d=累计虫数，n=已抽取子样数，θ=两条直线的斜率，h_0、h_1为两条直线的截距。

$$\theta=k\frac{\log(g_1/g_0)}{\log(p_1q_o/p_0q_{\cdot}} \tag{3}$$

式中k负二项分布k值（或公共k值）

$$h_o=\frac{\log[\beta/(1-\alpha)]}{\log(p_1q_0/p_0q_1)} \tag{4}$$

$$h_1=\frac{\log[(1-\beta)/\alpha]}{\log(p_1q_0/p_0q_{.}} \tag{5}$$

(4)(5)两式中α、β为两种判断错误的概率，α=0.05或0.1，β=0.05或0.1

Kuno(1969)和Iwao(1975)分别提出了两种序贯抽样技术（为叙述方便，把上述的序贯

抽样技术称为原序贯抽样技术)。两种新序贯抽样技术不必事先了解总体的概率分布（或称"分布型"），只要知道$\overset{*}{m}-m$呈线性关系(Iwao's Patchiness Regression)就可以了。

我们根据32组褐稻虱调查资料分析，一方面对Kuno(1969)和Iwao(1975)两种抽样技术介绍和应用，另一方面，为进一步节约样本数，提高判别能力，把上述两种方法合并使用，提出一种"复序贯抽样技术"。

一、材料和方法

1. 调查方法

1979年6—10月，分别在广东省佛山市张槎公社简村大队、环市公社永红七队早稻田后期和晚稻田进行褐稻虱若虫、成虫种群调查，共得20组资料。样本单位：丛，样本含量：200(丛)(其中一组159，一组160丛)。

1981年8—10月，在浙江省杭州市笕桥公社红向阳大队晚稻田对褐稻虱若虫、成虫种群进行调查，共得12组资料，样本含量：60丛，其余同佛山。

以上32组资料均以平行取样，每5丛抽取一子样，用目测法数取褐稻虱成虫、若虫数量。因田间若虫数量占绝对优势，本文均以若虫数量计算。

2. 两种序贯抽样技术

1）Iwao(1975)的序贯抽样技术 此种抽样技术原理上基本与原序贯抽样技术相同。但在应用于判别田间害虫密度时，比原序贯抽样方便。

Iwao的序贯抽样公式

$$T_O(n)=n(x_c+d) \qquad (6)$$

式中$T_O(n)$=累计虫数，n=已抽取子样数量，x_c=判别密度（防治指标），$d=ts_{\bar{x}}$（置信区间）。

根据(Iwao和Kuno1971)：方程(37)，平均拥挤度的估计值：

$$\overset{*}{X}=\bar{x}+\left(\frac{S^2}{\bar{x}}-1\right) \qquad (7)$$

式中$\overset{*}{X}$为平均拥挤度$\overset{*}{m}$(Lloyd 1967)的估计值，$\bar{x}$为样本平均值，S^2为样本方差。(Iwao,1968)$\overset{*}{m}-m$回归式

$$\overset{*}{m}=\alpha+\beta m \qquad (8)$$

式中α为回归式的截距，β为回归式斜率

方差-平均数关系的基本公式(Iwao和Kuno 1968)

$$S^2=(\alpha+1)m+(\beta-1)m^2 \qquad (9)$$

将（9）式代入（6）式，其中$m=x_c$，所得：

$$T'_0(n)=nx_c+t\sqrt{n[(\alpha+1)x_c+(\beta-1)x_c^2]} \qquad (10)$$

$$T''_0(n)=nx_c-t\sqrt{n[(\alpha+1)x_c+(\beta-1)x_c^2]} \qquad (11)$$

按定义$T_0(n)=d$［见(1)(2)式］=累计虫数，因此，(10)(11)即Iwao(1975)的序贯抽样公式。

2）Kuno(1969)提出一种与原序贯抽样差异较大的一种新序贯抽样技术，该抽样技术并非判别接收（不需防治）和拒收（需要防治）的假设，这个方法不必预先估计平均密度，而是把抽样调查中所得累计数标绘在预先准备好的序贯图上，如越过预定截止线（或称判别线），则停止调查，这就可得到预定精确度下的估计值。

Kuno(1969)的序贯抽样的预定截止线公式

$$T_n=\frac{\alpha+1}{D_0^2-\frac{\beta-1}{n}} \tag{12}$$

式中α、β为$\overset{*}{m}-m$回归式的截距和斜率，n=已抽取子样数量，T_n=累计虫数。

(12)式为双曲线，按实际应用范围$T_n\geqslant0$，那末，$D_0^2-\frac{\beta-1}{n}>0$，因此(12)式定义域为$n>(\beta-1)/D_0^2$。

3．复序贯抽样技术

Iwao的序贯抽样技术与原序贯抽样技术一样，当总体（或种群）密度很高或很低时，能以少量的样本数量即可判别接收（不需防治）或拒收（需要防治）的假设，但所调查总体（种群）密度接近判别密度（防治指标）时，所取的样本数仍很大。而Kuno的序贯抽样方法，当总体（种群）密度很低时，不易到达截止线，我们在褐稻虱种群资料分析时。将二种技术结合使用可避免判别时Iwao方法的弱点，这样，在一定精确度下，达到较少的所需样本数量的限度（即最高抽样数）以下。

二、结果和分析

1．平均拥挤度$\overset{*}{m}$

我们根据（7）式，计算平均拥挤度的估计值，32组资料的平均拥挤度计算结果见表1。

2．Iwao(1968)$\overset{*}{m}-m$回归

按表1平均密度和平均拥挤度，用最小二乘法拟合$\overset{*}{m}-m$回归式

$$\overset{*}{m}=1.00+1.37m \tag{13}$$

(13)式相关系数$r=0.96$，确定系数$r^2=0.92$。查“检验相关系数$\rho=0$的临界值(r_α)表”$p(|r|>r_\alpha)=\alpha$自由度=32−2=30时，$r_{0.001}=0.5541$。$r=0.96>r_{0.001}=0.5541$，因此$\overset{*}{m}-m$关系，相关性极显著（见图1）。

3．Iwao的序贯抽样技术

“在孕穗期、抽穗期每丛有虫（大发生当代）5只以上，或每亩有虫20万只以上”为防治指标(《中国农作物病虫害编委会编，1978)。我们设判别密度$x_c=5$，t值=2时根据(10)(11)式，Iwao的序贯抽样模型为：

$$T_0'(n)=5n+2\sqrt{19.25n} \tag{14}$$

$$T_0''(n)=5n-2\sqrt{19.25n} \tag{15}$$

表1 褐稻虱平均密度和平均拥挤度

资料	调查地点	样本含量	平均密度	平均拥挤度	资料	调查地点	样本含量	平均密度	平均拥挤度
1	佛山	200	0.70	0.92	17	佛山	200	1.54	2.43
2	佛山	200	0.41	0.47	18	佛山	160	0.59	2.31
3	佛山	200	3.44	8.22	19	佛山	159	1.27	2.47
4	佛山	200	0.52	1.01	20	佛山	200	4.32	10.12
5	佛山	200	2.52	5.89	21	杭州	60	0.50	3.33
6	佛山	200	1.43	2.57	22	杭州	60	8.05	9.03
7	佛山	200	0.58	0.53	23	杭州	60	1.43	1.34
8	佛山	200	0.20	0.26	24	杭州	60	1.62	3.91
9	佛山	200	3.48	11.27	25	杭州	60	3.22	5.27
10	佛山	200	0.09	0.12	26	杭州	60	4.07	7.15
11	佛山	200	0.28	1.69	27	杭州	60	15.10	27.35
12	佛山	200	0.80	1.81	28	杭州	60	11.40	18.48
13	佛山	200	0.68	1.28	29	杭州	60	20.75	25.38
14	佛山	200	0.98	1.37	30	杭州	60	6.77	8.50
15	佛山	200	0.36	0.39	31	杭州	60	6.77	8.45
16	佛山	200	1.97	3.80	32	杭州	60	14.25	19.74

表 2 褐稻虱两种新序贯抽样表

	Iwao (1975) 模型 ($t=2$) $T_0'(n)$—$T_0''(n)$	Kuno (1969) 模型 (T_n) $D_0=0.2$	$D_0=0.15$
4	37.55— 2.45		
5	44.62— 5.38		
6	51.49— 8.50		
7	58.21— 11.78		
8	64.82— 15.18		
9	71.32— 18.67		
10	77.75— 22.25	666.67	
12	90.40— 29.60	218.18	
14	102.83— 37.17	147.37	
16	115.10— 44.90	118.52	
18	127.23— 52.77	102.86	1028.57
20	139.24— 60.76	93.02	500.00
25	168.87— 81.12	79.36	259.74
30	198.06—101.94	72.29	196.72
35	226.91—123.08	67.96	167.66
40	255.50—144.50	65.04	150.94
45	383.86—166.13	62.94	140.08
50	312.50—187.95	61.35	132.45
55	340.07—209.92	60.11	126.80
60	367.97—232.03	59.11	122.45

根据（14)(15）式，我们制成褐稻虱Iwao的序贯抽样图　（图2）及Iwao的序贯抽样表（表2）。

在调查时，可依据图或表，当调查n丛时，如累计虫数已超过上限[$T_0'(n)$]，即可确定该稻田褐稻虱虫量已超过防治指标，可划为防治田，若累计虫数未达到下限[$T_0''(n)$]，即表明该稻田褐稻虱虫量未达到防治指标，可划为不需防治田。而累计虫数仍在上、下限之间（即继续抽样区)，需继续进行抽样调查，直到最大子样数。

由于褐稻虱在稻田不同生育阶段，防治指标也不同。在具体应用时，只要根据实际所需的防治指标（即判别密度$=x_c$)，代入（14)(15）式，即可制成图表供用。

4．Kuno的序贯抽样技术

根据（13）式，$\alpha=1.00$，$\beta=1.37$，代入（12）式，截止线为

$$T_n=\frac{1.00+1}{D_0^2-\frac{1.37-1}{n}} \tag{16}$$

我们以不同精确水准$D_0=0.2$ $D_0=0.15$，计算二条截止线，可根据需要，取其中之一应用（见图3）。使用时，序贯抽取n个样本，记取累计虫数T_n，在图上找出相应的点，如越过截止线时，则停止调查，就可得到预定精确水准下的估计值。平均密度$m=T(n)/n$。

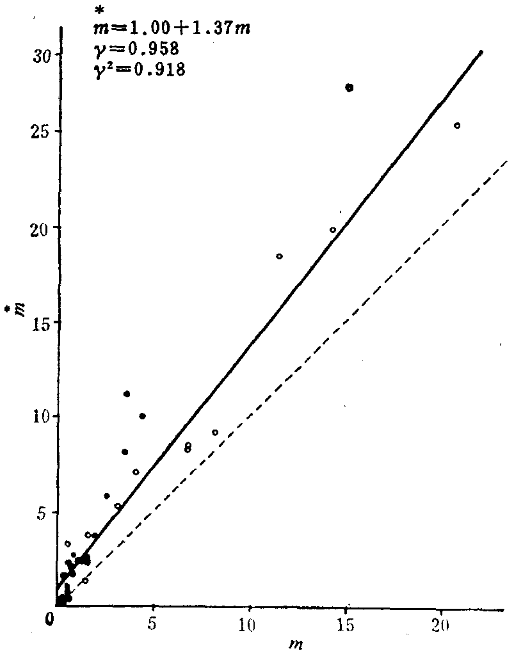

图1　褐稻虱$\overset{*}{m}-m$回归，其中●代表佛山资料，○代表杭州资料。

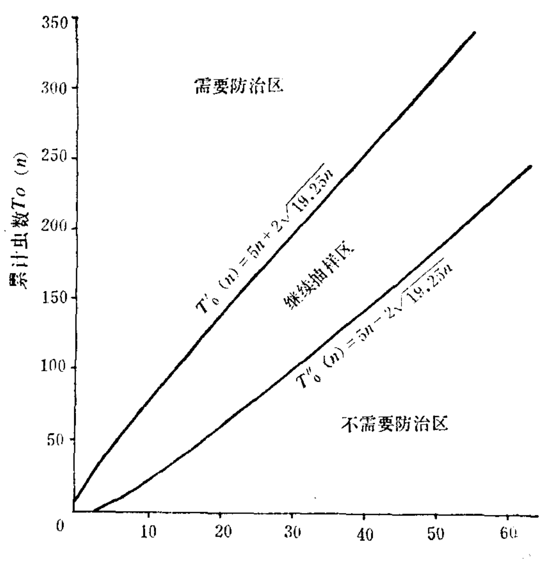

图2　褐稻虱Iwao的序贯抽样图。其中判别密度（防治指标)=5，$t=2$

5．复序贯抽样技术

图4是以Iwao的序贯抽样为基础，结合Kuno的序贯抽样的复序贯抽样图。使用时，若田间种群密度接近判别密度（防治指标$=x_c$)，单用Iwao的方法，所抽取子样数量将不断增

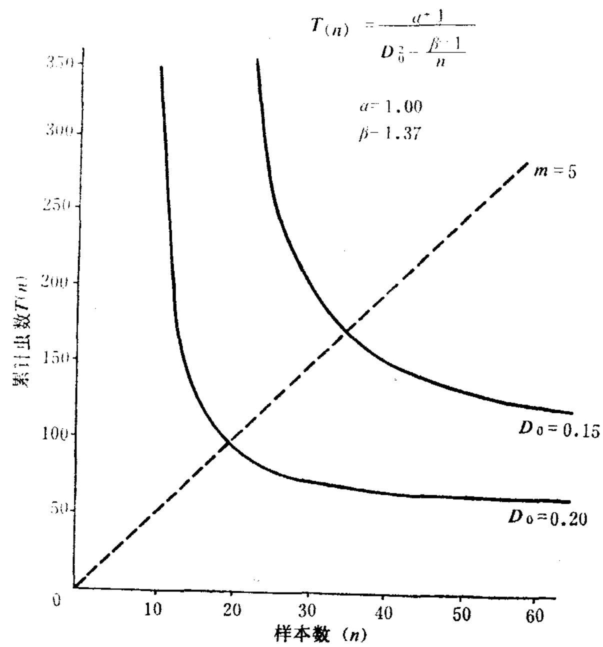

图3 褐稻虱Kuno的序贯抽样图。实线为当D_0=0.2和D_0=0.15时两种截止线，虚线与停止线交点为平均密度m=5时理论上预计调查终止点

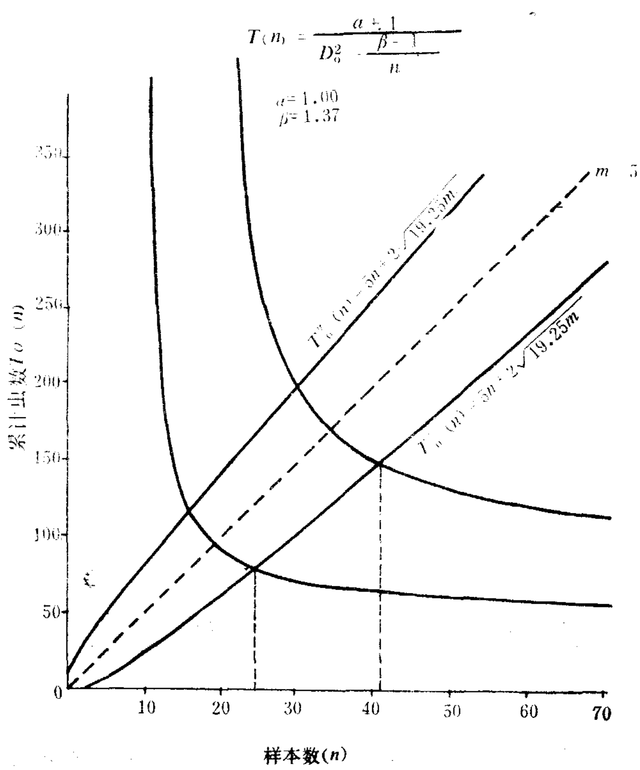

图4 褐稻虱复序贯抽样图（详见正文）

加而难于判别，这时只要超过了Kuno方法的截止线，那末可停止调查，当相交于判别密度（$m=5$,图 4 虚线)上方就表明>5（头/丛)，即需要防治；若相交于判别密度下方就表明<5（头/丛)，即不需防治。

截止线与Iwao的下限线（$T''_0(n)=5n-2\sqrt{19.25n}$的交点，落在的横座标值，即复序贯抽样所需最大子样数。本例中当$D=0.2$，最大子样数$n_1<25$(丛)当$D=0.15$时，最大子样数$n_2<42$(丛)，若单用Iwao的方法，本例中（$t=2$，$D=0.20$时）所需最大理论子样数为77（丛)，当$D=0.15$时，为137（丛)，为复序贯抽样的三倍。

三、讨　　论

在建立序贯抽样模型之前，必须确定总体（或种群）的数学分布或Iwao的$\overset{*}{m}$-m回归（Iwao's Patchineos Regression)。本研究中，佛山20组田间褐稻虱若虫种群资料，经X^2检验表明：大多符合负二项分布，当密度低时，符合潘松分布，其中有三组资料同时符合这二种分布。这由于负二项分布是复合潘松分布（M·费史，1978)。当$n\to\infty$时，潘松分布是负二项的渐近分布。因此，若应用原序贯抽样技术，可按负二项分布建立模型［公式(4)(5)]。

但是，符合负二项分布的昆虫种群，当多组资料应用于抽样设计和资料代换时，涉及到是否存在公共k值（Common k）的问题。每组资料的k值，不可避免地受环境异质性的影响（这里不包括抽样误差)，另外，昆虫种群的增长和死亡的密度变化往往并非随机的，因此资料组数越多，k的变异越大。在实际应用中受到限制。

两种新序贯抽样技术只要事先估计Iwao的$\overset{*}{m}$-m回归（$\overset{*}{m}=\alpha+\beta m$)，将估计值$\hat{\alpha}$、$\hat{\beta}$分别代入（10)（11）和（12）式就可以了。回归式的统计检验比较方便。Iwao和Kuno（1971）指出：来源于不同时间、地点（或位置)、虫龄的种群观察资料，常常符合$\overset{*}{m}$-m回归的。我们将1979年和1981年分别来源于佛山、杭州两地32组资料，拟合$\overset{*}{m}$-m回归，相关系数$r=0.958$（概率水准$P=0.001$)。说明Iwao的$\overset{*}{m}$-m回归在实际应用中适应性较广。

另外，应用于生态学上的数学分布的理论模型甚多，所提供的生态学信息少而含糊。仅就抽样技术应用来讲，当一组资料的实际观察频次分布可以符合二种或二种以上的分布，造成抽样设计上的困难。而应用Iwao的$\overset{*}{m}$-m回归，往往可避免上述问题。当一系列观察资料，随着种群密度变化而变化数学分布模型或不符合任何分布型时，也可很好适合$\overset{*}{m}$-m线性回归（Iwao和Kuno,1971)。

在进一步讨论两种新序贯抽样技术之前，讨论一下在不同种群密度所需样本含量。

$$n=\frac{t^2}{D^2}\left[\frac{\alpha+1}{m}+(\beta-1)\right] \tag{17}$$

根据（17）式，褐稻虱若虫种群不同密度下所需的样本含量为：

$$n=\frac{t^2}{D^2}\left[\frac{1.00+1}{m}+(1.37-1)\right] \tag{18}$$

当$t=2$，精确水准$D=0.1$、0.2、0.3时，结果见图5。根据17式，可计算出各精确度下，不同密度所需理论样本数量。

当使用Iwao的序贯抽样模型，田间种群密度接近判别密度（即防治指标）时，序贯抽取子样的数量将不断增加而难于判别，但可根据（18）式制成图、表。当抽取子样达到所需的样本含量时即可停止，若此时累计虫数靠近上限即不需要防治，靠近下限即需要防治。

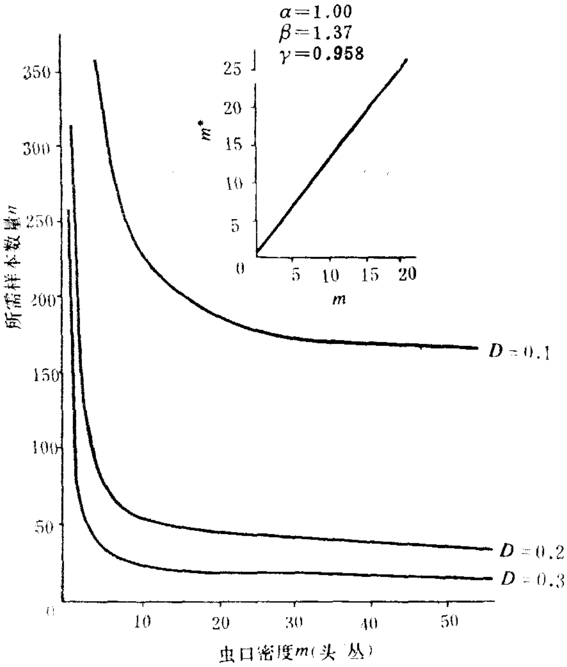

图5 褐稻虱不同精确水准D下，平均密度与所需子样数量（$\alpha=1.00$，$\beta=1.37$）。

Kuno的序贯抽样技术每次抽样必须随机独立进行，同时抽出一个（或几个）子样必须把累计虫数标绘在图上，如果密度过低很不易达到截止线。为了改正这个缺点，Kuno设计了两次抽样的简单方法，首先在第一次调查中，把适当子样个数n_1序贯抽出，记入图中，如这点不超过截止线，则将原点与该点连成直线，使其与截止线相交，找出此点时对应的n值，在第二次调查中，仅抽取$n-n_1$个子样就能约略达到目标精度。在单独使用Kuno模型时，可作参考。

复序贯抽样技术，即以Iwao的序贯抽样技术为基础，结合Kuno的序贯抽样技术，以更少的子样数量，达到所需的精确程度。当种群密度接近判别密度时，Iwao模型难于判别而所需子样数量不断增加，但这时从图4可见，Kuno模型的曲线与原点的距离最近（图中之虚线)。因此，当Iwao模型判别能力最弱时，Kuno模型判别能力较强，这时用Kuno模型就可以了。

两种序贯抽样模型的坐标值是相等的，因此可在同一平面上作图。Iwao模型用置信区间取t值，而Kuno的精确度取D值，所以可按实际误差要求，在同一平面上绘制不同精确度的复序贯抽样图。例如图4，Iwao模型取$t=2$，而Kuno模型取$D=0.15$和$D=0.20$，绘制在同一平面上，应用时可按实际需要选择D值。若图4加上Iwao模型$t=1$的上、下限曲线，那末，同时按需要可选择不同t值。

复序贯抽样的所需最大子样数量是Iwao模型下限与Kuno模型的交点的横坐标值，而Iwao的最大子样数量，用（17）式可计算。本例中复序贯抽样所需的最大子样数量仅Iwao序贯抽样的1/3。

参　考　文　献

丁岩钦　1980　昆虫种群数学生态学原理和应用。63—69。科学出版社。

丁岩钦　1964　抽样理论在估计田间昆虫数量和为害方面的应用。昆虫知识8(6)276—280。

丁岩钦、李典谟、陈玉平　1978　东亚飞蝗分布型研究及应用。昆虫学报21(3)234—259。

王鉴明　1963　生物统计学（第二次缮写本）。343—358。轻工业部甘蔗糖业研究所。

皮洛E．C．　1969　数学生态学引论。科学出版社1978。

M．费史　1962　概率论及数理统计。上海科技出版社。

宋哲和　1974　应用序贯分析检定玉米螟的防治质量。昆虫知识9(3)：131—134。

徐汝梅等　1980　温室白粉虱成虫空间分布型的研究。昆虫学报23(3)265—275。

深谷昌次、桐谷圭治　1973　综合防治（忻介六、梁来荣译）。上海科学技术出版社1980。

Burts, E. C. and Brunner 1981 Dispersion statistics and sequential sampling plem for adult pear psylla. *J. Econ. Entomol.* **74**: 291—294.

Bliss, C. I. and A.R.G. Qwen, 1958 Negative binomial distsibution with a commonk. *K. Bimetriker* **45**: 37—58.

Iwao, S and Kuno, E. 1971. An approach to the analysis of aggregation pattern in biological population's In patil, G. P., Pielou E. C. & Water, W. E. (Eds) Statistical Ecology I: Spatial pattern & Statistical diotrilutions penn state University Press. Philadelphia.

Kuno, E 1968 A new method of sequential sampling to obtain the population estimates with a bixed level of preeision. *Res. Popul. Ecol.* 11: 127—136.

Llogd, M. 1967 Mean Crowding. *J. Anim. Ecol.* **36**: 1—30.

Southwood, T.R.E. 1978 Ecological Methods with pariticular reference to the study of inseet populations John wiley & Sons New York.

Waters, W. E. 1955 Sequ ential sampling in forest insect surveys. *For. Sci.* **1**: 68—79.

THE USE OF SEQUENTIAL SAMPLING IN THE STUDY AND CONTROL OF RICE BROWN PLANTHOPPER

GAO CHUNXIAN GU XIUHUI BEI YAWEI
(Institute of Plant Protection, Zhejiang Academy of Agricutural Science)
LI GENSHENG
(Fushan Prefecture Forecast Station, Guangdong)

(1) Iwao (1968) proposed a regression method (i. e. Iwao's patchiness Regression). It assumes that mean crowding ($\overset{*}{m}$) is linearly related to mean density (m) as follows

$$\overset{*}{m} \doteq \alpha + \beta m$$

The $\overset{*}{m}$ m relationship was examined by the population data of the nymph Nilaparvata lugens in 1979 and 1981. The regression equation is $\overset{*}{m} = 1.00 + 1.37\ m$

(2) The values of α and β from that regression equation and 5 per hill serve as the critical density was substituted to the equation of Iwao's sequential sampling. The upper limit of the sequential sampling stop lines is

$$T'(n) = 5n + t\sqrt{19.25n}$$

and lower limit is

$$T''(n) = 5n - t\sqrt{19.25n}$$

where t values is 2

(3) Kuno (1969) proposed a sequential sampling method. The only requirement is that hte $\overset{*}{m} - m$ relationship be Known. The stop line was on the basis of the population data of nymph Nilaparvata lugens as follow

$$T_n = \frac{1.00+1}{D_0^2 - \frac{1.37-1}{n}}$$

where D_0 is fixed level of precision (when $D_0 = 0.2$, $D_0 = 0.15$ see Fig. 3)

(4) Fig 4 is based upon Iwao's sequential sampling models in association with Kuno's sequential sampling. It is termed cosequential sampling. If the critical density is 5 the cosequential sampling requries that the maximum number of samples taken is 25 (hill). When $D_0 = 0.2$, but the maximum number of samples is 77 (hill) by Iwao's method.