

345-356

第16卷第4期
1996年8月

生态学报
ACTA ECOLOGICA SINICA

Vol. 16, No. 4
Aug., 1996

麦长管蚜的序贯二项式分类抽样设计 与管理决策优化: 样本单位 虫口数阈的重要性

冯明光

(浙江农业大学生物科技系, 杭州, 310029)

S435.122.2

A 摘要 依据1988~1991年间对麦长管蚜(*Sitobion avenae*)种群的抽样数据和新的抽样理论而设计了用样本单位(分蘖株)虫口数阈 T (每株不超过 T 头蚜虫, $T \geq 0$)进行样本分类的序贯二项式分类抽样方案, 用于蚜害的管理决策。负载不超过 T 头蚜虫的植株比例(P_T)与种群密度(m , 头/株)的关系通过拟合经验式 $[-\ln(P_T)] = a + b \ln(m)$ 和负二项分布的概率模型而建立。一系列 T 值(0~25)和3个干扰阈限即经济危害水平(2.5和10头/株)用于抽样方案的设计和比较, 以优化麦作不同生育期控制蚜害的决定。抽样设计的可靠程度和经济性状分别由运行特征(OC)函数和平均样本数(ASN)函数判别。结果显示, 各干扰阈限的抽样设计随 T 值的增大而愈趋合理。传统的0-1抽样($T=0$)被证明错误决策的风险很大, 所需样本数最多, 应当摒弃。考虑到 T 过大会增加处理单位样本的时间, 作者建议使用略高于干扰阈限的 T 值进行麦蚜的分类抽样和田间管理决策。

关键词: 麦长管蚜, 抽样设计, 样本单位虫口数阈, 管理决策。

OPTIONAL PLANS OF BINOMIAL SEQUENTIAL CLASSIFICATION SAMPLING FOR MANAGEMENT DECISION MAKING OF THE ENGLISH GRAIN APHID (HOMOPTERA: APHIDIDAE): VALUE OF TALLY THRESHOLDS OF APHIDS IN SAMPLE UNITS

Feng Mingguang

(Department of Biological Sciences and Technology, Zhejiang Agricultural University, Hangzhou, China, 310006)

Abstract Binomial sequential classification sampling plans were developed for use in classifying populations of the English grain aphid, *Sitobion avenae*, below or above an intervention threshold density (m_{IT}) for management decision making. Based on field data from sampling the aphid populations on wheat during the 1988~1991 summers, the proportion of tillers with no more than T (tally threshold) aphids (P_T) was related to mean aphid density (m) with an

• 国家自然科学基金(39370479)和浙江省自然科学基金及回国留学人员择优资助项目。初稿承蒙浙江农业大学刘树生教授和中国水稻研究所张志涛副研究员审阅, 谨表谢忱。

收稿日期: 1994 07 02, 修改稿收到日期: 1994 11 19。

empirical model in the form of $\ln[-\ln(P_T)] = a + b \ln(m)$ or the negative binomial distribution (NBD) model. Three mean intervention threshold (m_{IT}) values (2, 6, and 10 aphids per tiller) with T values ranging from 0 to 25 were used to meet the needs for control of the aphid pest varying in density at the flowering, milky and mid-dough stages, respectively. The sampling plans were evaluated using operating characteristic (OC) and average sample number (ASN) functions computed using the empirical P_T - m model or the NBD model. The robustness of the sampling plans improved with increasing T values. When empty tiller ($T=0$) was used to classify sample units, the resulting sampling plans were not robust for all m_{IT} values considered. This indicated a high risk for use of conventional binomial sampling plans. Based on the OC and ASN functions, the sampling plans recommended for use were those developed with T values slightly higher than the intervention thresholds at the corresponding crop stages. Sampling stop lines for each m_{IT} and T were provided along with a discussion of their application to aphid sampling and management decision making.

Key words: English grain aphid, *Sitobion avenae*, binomial sampling, tally threshold, management decision making.

麦长管蚜(*Sitobion avenae*)是世界性麦类作物害虫^[1], 其为害主要表现在吸食麦穗^[2~4]和因蜜露覆盖旗叶^[5]而使粒重下降。该虫在我国大江南北均有分布, 仅以中等偏重发生的1989年为例, 全国小麦蚜害面积达 $1.13 \times 10^8 \text{ hm}^2$, 产量损失(包括药剂防治成本)达29亿kg, 分别占全国麦作病虫害发生总面积的20.72%和产量损失的26.87%。因此, 控制蚜害是我国小麦生产所面临的重要任务之一。

目前, 我国麦作蚜害的控制在很大程度上仍然依赖于化学杀虫剂, 而合理的化学防治尤其是防治时间的确定又依赖于简便可靠的田间蚜虫种群的监测技术。对于麦长管蚜等体型小、繁殖快、密度大的害虫种群, 用直接计数的方法估计田间种群密度, 既费时费力又不准确。因此, 二项式抽样, 即只对样本进行有虫无虫的分类而不直接数虫的方法, 受到人们的重视^[6~8]。然而, 传统的二项式即0-1抽样, 不仅在抽样误差的理论推算方面存在错误, 而且有虫与无虫样方的简单分类, 新近已被证明误差太大, 不足以作为决策的依据^[9~14]。若根据某一个预设的虫口阈限对样方作是否超过该阈限的二项分类而进行抽样, 只要该虫口阈限选择合理, 可大幅度提高二项抽样的可靠性^[12~13, 15~16]。考查样方所依据的这个阈限称为单位样本虫口数阈(tally threshold), 以 T 代表。显然, $T \geq 0$, 传统的二项式抽样只考虑了 $T=0$ 的特例。

合理的防治决策还需要建立在合理的经济阈值之上, 而后者又随害虫为害的时期不同而异, 因为不同生育期的作物对害虫的耐害水平和补偿能力是不同的。据美国报道^[17], 麦长管蚜和无网长管蚜(*Metopolophium dirhodum*)混合种群对小麦的经济为害水平, 在扬花期为2~4头/穗, 乳熟期为6~10头/穗, 乳熟至蜡熟中期为 ≥ 10 头/穗。考虑到两种麦蚜的生物学习性相近和长管蚜在穗期的吸食为害通常略甚于无网长管蚜且均无明显的生物型分化, 笔者视上述经济阈值的下限为长管蚜的经济阈值, 并用于本文的管理决策设计。

本文拟根据新的种群抽样理论和第一手田间研究数据, 应用不同的 T 值和作物不同生

育期的经济受害水平,对麦长管蚜种群的序贯二项式分类抽样的监测技术原理及其管理决策优化的研究结果,给予系统的报道和讨论。

1 数据来源

本文数据来源于笔者于 1988~1991 年间在美国西北部 4 个州(爱达荷、蒙他拿、俄勒岗和华盛顿)的 47 次从始分蘖至蜡熟期的春小麦蚜虫种群抽样。每次抽样根据田间种群密度抽取 100~980 个分蘖株(tiller, 后简称株),就地计数单株全部蚜虫数量。抽样数量的确定根据 15% 抽样误差($e=0.15$)预先抽取 100 株,计算出平均密度(m)和样本方差(s^2),若已获得的 e 不超过 0.15,则停止抽样,否则按抽样公式($n=s^2/[m^2e^2]$)计算出当日所需样本数量^[18]。每次样本统计量包括平均蚜虫密度、样本方差和不超过 $T(=0,1,2,\dots,10,15,20,25)$ 头蚜虫的植株比例(P_T)。具体抽样方法详见笔者的新近报道^[12~14]。

2 模型与数据分析

Nyrop & Binns^[17,16]近年修正了用于将一个未知害虫种群参数 θ (其抽样估计值为 m)判别归类到相应于两个以上种群密度假设之一中去而做出科学管理决策的理论与方法。若用二项式抽样数据对种群进行分类,首先需确定一个代表害虫经济为害水平的种群密度,称之为干扰阈限(m_{IT}),然后将其转换成不超过该阈限($\leq T$ 头害虫)的样本单位(本文中概指分蘖株)的比例(P_T)。达成这种转换有两条途径,一是利用 P_T - m 经验关系模型^[9,11~14,8],二是利用概率分布模型,如通常拟合害虫种群最好的负二项分布^[9,10,20]。由此设计的二项式序贯分类抽样方案可以用两个标准给予评价,即运行特征(Operating characteristic, 缩写为 OC)函数和平均样本数(Average sample number, 缩写为 ASN)函数。OC 定义为在任意简单假设($H_1; m=m_1$)下接受零假设($H_0; m=m_0$)的概率,ASN 则定义为在任意真实密度下做出分类判别所需的样本观察值的平均数量。因此,一个抽样设计是否合理和精确可由 OC 判定,而抽样成本则由 ASN 判定。

2.1 P_T - m 经验关系式

将变量 $\ln[-\ln(P_T)]$ 对另一变量 $\ln(m)$ 进行线性回归分析,即

$$\ln[-\ln(P_T)] = a + b\ln(m) \quad (1)$$

可获得 P_T 与 m 间的经验关系式,其因变量的方差包括两部分,即样本观察值所包含的二项变异(Binomial variation)和由 m 估计 P_T 本身产生的变异^[9,11~14,16]。这个方差按照 Snedecor & Cochran^[21]的方法可由下式给出:

$$S_{\ln[-\ln(P_T)]}^2 = mse/N + [\ln(m) - \text{avgl}nm]^2 s_b^2 + mse \quad (2)$$

式中, mse 是拟合式(1)所产生的均方误(Mean square error), N 是观察值总数, $\text{avgl}nm$ 是回归分析中自变量 $\ln(m)$ 的平均值, s_b^2 是斜率 b 的方差。

2.2 概率模型

P_T 和 m 间的关系式亦可通过负二项分布的概率模型而建立^[9,10,20]。对任何具有平均值 m 和扩散参数 k 的负二项分布,在一个样本单位中出现 i 个个体的概率为

$$P_i(m, k) = \{\Gamma(k+i)[k/(m+k)]^k [m/(m+k)]^i\} / [\Gamma(k)\Gamma(i+1)] \quad (3)$$

其中 $\Gamma()$ 为 Gamma 函数。因此,一个样本单位不超过虫口数域($\leq T$)的概率可由下式计算而得:

$$P_T(m, k) = \sum_{i=0}^T P_i(m, k) \quad (4)$$

2.4 序贯二项式分类抽样设计

首先用以式(1)建立的 P_T - m 经验关系。对任意种群平均值 m , 由式(1)可计算出相应的 P_T (称为名义值), 它仅包含二项变异。由式(2)可知, 该 P_T 值还应包含 P_T - m 经验关系式本身所产生的变异, 因而实际 P_T 值可能大于 (称为偏大值, 以 P_0 表示) 或小于 (称为偏小值, 以 P_1 表示) 式(1)所估计的 P_T 值。故对于任意干扰阈限密度 m_{IT} , 可能存在一个比式(1)估计值更大的 P_{IT} , 这个偏大的 P_{IT} 反过来又对应着一个比原 m_{IT} 值更小的 m_{IT-} , 且后者可表示为原 m_{IT} 的函数, 即

$$m_{IT-} = m_{IT} / \exp(h/b) \quad (5)$$

式中, b 为式(1)的斜率, h 是 P_0 与 P_{IT} 之差的绝对值, 由 $z\{S_{\ln[-\ln(P_T)]}^2\}^{1/2}$ 所确定 (z 为标准正态偏差, $S_{\ln[-\ln(P_T)]}^2$ 由式(2)给出)。同样地, 如果对应于原 m_{IT} 的 P_{IT} 小于式(1)所给出的 P_{IT} , 则它对应着一个比原 m_{IT} 更大的密度值 m_{IT+} , 亦可表示为原 m_{IT} 的函数:

$$m_{IT+} = m_{IT} \exp(h/b) \quad (6)$$

由式(1)、(5)和(6)分别确定 P_{IT} 、 P_0 和 P_1 , 在零假设 $H_0: P_{IT} < P_0$ 和替代假设 $H_1: P_{IT} > P_0$ 下围绕 P_{IT} 进行 Wald^[22] 的序贯概率比测验 (Sequential probability ratio test), 即可计算出一组包括名义值 (nominal)、高限值 (high) 和低限值 (Low) 的 OC、ASN 函数值。对一个确定的干扰阈限 m_{IT} , 若 P_{IT} 自回归线正向偏移, 则 OC、ASN 曲线向左偏移, 否则就向右偏移。最后将上述 OC、ASN 函数值予以加权, 分别计算出它们的期望值 (Expected)。

其次, 利用式(3)和(4)建立的 P_T - m 关系。对于负二项分布, 只扩散参数 k 需要考虑。根据 Taylor *et al.* ^[23], k 通常是平均密度 m 的函数, 即使二者间无显著的关系, 也不可能因样本的不同而异。 k 值的这种不确定性导致以负二项分布为基础的 P_T - m 关系亦不可避免地存在变异^[19, 10, 20, 16]。一个干扰阈限 m_{IT} 对应着一个名义 k 值, 可按 $m_{IT}^2 / (s^2 - m_{IT})$ 予以估计, 其中 $s^2 = cm^d$, c 和 d 分别是泰勒幂函数的截距和斜率参数^[24]。用上述泰勒参数 85% 的置信限则求出相应的偏大 k 值和偏小 k 值。名义 k 、偏大 k 和偏小 k 分别用于计算 P_{IT} 、 P_0 和 P_1 , 然后进行序贯概率比测验, 产生相应的 OC 和 ASN 曲线。最后根据考虑了泰勒参数变异的期望 k 值模拟产生期望的 OC 和 ASN 曲线。

所有 OC 和 ASN 函数值的计算均用 Nyrop & Binns^[16] 设计的程序在计算机上完成。麦长管蚜的干扰阈限密度采用 Johnson & Bishop^[17] 所报道的经济为害水平的低限, 即抽穗扬花期 2 头/株, 乳熟期 6 头/株, 乳熟至蜡熟中期 10 头/株。最后, 序贯二项式分类抽样的决策由两条直线 (抽样停止线) 给出^[20, 16], 其截距和斜率分别为

$$\ln[(1 - P_0)/(1 - P_1)] / \ln[P_1(1 - P_0)/(P_1(1 - P_0))]$$

和

$$+ \ln[(1 - \alpha)/\beta] / \ln[P_1(1 - P_0)/(P_1(1 - P_0))],$$

α 和 β 是序贯概率比测验中所用的参数^[20, 15, 16], 在本研究中均置为 0.05。

3 结果与讨论

对麦长管蚜的 47 次田间种群抽样, 从低到高的种群水平 (0.01 ~ 31.85 头/株), 涵盖较大的种群密度变化。平均抽样误差为 0.196 (含标准误差 0.013), 基本达到理论分析对田间抽样数据质量的要求。

表 1 列出通过式(1)回归分析而建立的 P_T - m 经验关系的基本参数。在所考虑的 T 值 (0 ~ 25) 范围内数据拟合均很好, 确定系数 (r^2) 除 $T=25$ 时较小 (仍达 0.89) 外其余均在

0.94 以上, 最高达 0.99。值得注意的是, 决定 P_T-m 经验关系的斜率 α 和截距 b 分别随 T 值递增而减小和增大。

表 1 麦长管蚜种群 $\ln[-\ln(P_T)]$ 对 $\ln(m)$ 线性回归经验关系的参数估计

(T =单位样本虫口数阈, N =观察值数)

Table 1 Parameters estimated from the linear regression of $\ln[-\ln(P_T)]$ on $\ln(m)$ for *Sitobion avenae* populations (T =tally threshold, N =number of data points)

T	N	α	S_α	b	S_b	mse	$avg \ln m$	r^2
0	47	-1.389	0.319	0.824	0.021	0.102	-0.160	0.972
1	46	-1.867	0.327	0.903	0.022	0.107	-0.078	0.975
2	45	-2.237	0.232	0.945	0.016	0.054	0.019	0.987
3	43	-2.479	0.250	0.970	0.020	0.062	0.216	0.984
4	42	-2.706	0.244	1.016	0.021	0.060	0.331	0.984
5	42	-2.961	0.304	1.067	0.026	0.093	0.331	0.977
6	41	-3.121	0.350	1.083	0.030	0.123	0.373	0.971
7	40	-3.306	0.408	1.096	0.035	0.166	0.411	0.962
8	39	-3.497	0.442	1.121	0.040	0.195	0.493	0.956
9	39	-3.617	0.505	1.115	0.045	0.255	0.493	0.942
10	37	-3.807	0.451	1.158	0.045	0.203	0.674	0.950
15	31	-4.375	0.479	1.228	0.059	0.230	1.086	0.936
20	30	-4.898	0.430	1.306	0.058	0.185	1.190	0.948
25	26	-5.308	0.590	1.305	0.093	0.348	1.456	0.891

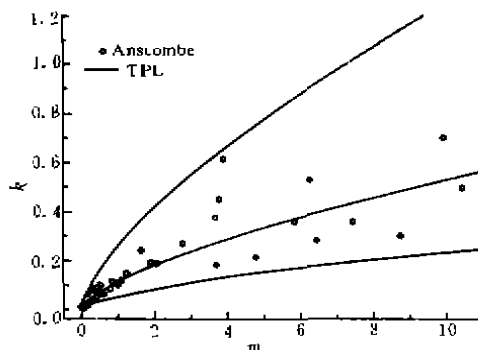


图 1 用 Anscombe(1950)方法估计麦长管蚜的负二项分布 k 值

中实线示泰勒幂函数(TPL)参数估计的 k 值,

上下实线代表其 85% 的置信限

Fig. 1 Estimates of the negative binomial distribution k for *S. avenae* following Anscombe(1950)

The middle solid line represents the values of k predicted using Taylor's power law(TPL) parameters that relate the variance to the mean. The upper and lower solid lines denote the k 's calculated using 85% confidence intervals of TPL parameters

泰勒幂函数分析(即 $\ln(s^2)$ 对 $\ln(m)$ 的直线回归)产生的参数估计值为: 截距 $c=2.2784$ ($SE=0.4795$), 斜率 $d=1.3076$ ($SE=0.0313$), 确定系数 $r^2=0.9749$ ($P<0.0001$), 均方误 $mse=0.22995$ 。用于幂函数分析的自变量 $\ln(m)$ 的平均值等于 2.07。图 1 给出由 Anscombe(1950)公式($n_0/n=[1+m/k]^4$)估计的 k 值和由泰勒参数计算而得的不同蚜虫密度下的 k 值及其 85% 置信限。注意到两种方法估计的 k 值均有随蚜虫密度上升而增大的趋势, 且由泰勒参数计算的 k 值的 85% 置信限基本覆盖了实际观察 k 值的变异范围。

根据所获得的 P_T-m 经验关系(表 1)和由泰勒参数估计的 k 值及其 85% 置信限(图 1), 设计出不同 T 值下的序贯二项式分类抽样方案。首先, 对 3 个干扰阈限密度($m_{IT}=2, 6, 10$ 头/株)分别用经验式参数和 k 值计算出 P_{IT} 、 P_0 和 P_1 ; 其次, 用各 T 值和干扰阈限的 P_{IT} 、 P_0 、 P_1 和 α 及 β 参数进行序贯概率比测验, 产生抽样停止线的斜率和截距(表 2)。3 个干扰阈限

的选择, 针对麦长管蚜主要上穗危害的生物学习性, 分别适于抽穗扬花、乳熟期和蜡熟中期以前田间不同种群密度的管理决策。

抽样方案的选择取决于 OC 和 ASN 函数曲线特征。图 2~4 给出 3 个干扰阈限密度下分别由经验关系式参数和 k 值建立的不同 T 值下各抽样方案的 OC 和 ASN 曲线。对图中所示的每一种情形, T 值即样本单位蚜虫数阈的变化, 决定抽样方案的合理性和精确性。

各 T 和 m_{IT} 值下 OC 与 ASN 的名义函数值是在假设种群抽样分布与所获经验模型或负二项模型完全一致的条件下予以计算的。该假设的内含是经验回归直线和负二项分布 k 值的唯一性, 不存在任何变异。这是不可能的, 因为用任何一个模型进行模拟计算都会产生变异^[9,10,16]。因此, 按以上假设所确定的名义 OC 和 ASN 函数曲线实际上仅代表序贯二项分类抽样的一种特殊情形, 因而是不完全的^[16,6]。

表 2 用于麦长管蚜序贯二项式分类抽样设计的参数($\alpha, \beta=0.05$)

Table 2 Parameters used to develop binomial sequential classification sampling plans for *Sitobion avenae*

T	根据经验模型					根据负二项分布的 k				
	P_{IT}	P_0	P_1	截距	斜率	P_{IT}	P_0	P_1	截距	斜率
$m_{IT}=2$ 头/株(名义 $k=0.181$, 低限 $k=0.084$, 高限 $k=0.411$)										
0	0.357	0.307	0.407	± 6.724	0.356	0.362	0.312	0.412	± 6.679	0.361
1	0.251	0.201	0.301	± 5.479	0.249	0.257	0.207	0.307	± 5.561	0.254
2	0.186	0.136	0.236	± 4.364	0.182	0.199	0.149	0.219	± 4.619	0.196
3	0.151	0.101	0.201	± 3.661	0.147	0.161	0.111	0.211	± 3.872	0.157
4	0.126	0.076	0.176	± 3.095	0.121	0.134	0.084	0.184	± 3.261	0.128
6	0.089	0.039	0.139	± 2.138	0.080	0.095	0.045	0.145	± 2.307	0.087
$m_{IT}=6$ 头/株(名义 $k=0.377$, 低限 $k=0.168$, 高限 $k=0.878$)										
0	0.664	0.614	0.714	± 6.534	0.665	0.655	0.615	0.715	± 6.519	0.667
3	0.379	0.329	0.429	± 5.901	0.378	0.395	0.345	0.445	± 7.009	0.395
6	0.264	0.214	0.314	± 5.672	0.262	0.277	0.227	0.327	± 5.853	0.276
10	0.162	0.112	0.212	± 3.889	0.158	0.186	0.136	0.236	± 4.358	0.182
15	0.108	0.058	0.158	± 2.629	0.100	0.118	0.068	0.168	± 2.897	0.112
20	0.075	0.025	0.125	± 1.698	0.063	0.078	0.028	0.128	± 1.892	0.064
$m_{IT}=10$ 头/株(名义 $k=0.602$, 低限 $k=0.262$, 高限 $k=1.429$)										
0	0.810	0.760	0.860	± 4.444	0.813	0.822	0.772	0.872	± 4.208	0.826
5	0.454	0.404	0.504	± 7.272	0.453	0.484	0.434	0.534	± 7.330	0.485
10	0.274	0.224	0.324	± 5.805	0.272	0.319	0.269	0.369	± 6.357	0.318
15	0.192	0.142	0.242	± 4.478	0.188	0.218	0.168	0.268	± 4.948	0.215
20	0.140	0.090	0.190	± 3.409	0.135	0.152	0.102	0.202	± 3.668	0.147
25	0.095	0.045	0.145	± 2.299	0.086	0.107	0.057	0.157	± 2.514	0.094

其余 OC 和 ASN 函数曲线(即高线、低线、期望线)描述抽样种群不符合名义分布(即上述假设)时的抽样行为。对每个干扰阈限 m_{IT} , 由大小 k 值确定的高低 OC 和 ASN 曲线比经验模型确定的高低曲线更为离散, 这种趋向在 T 较小时尤为明显。共同之处在于, 高低 OC 和 ASN 曲线间的离散程度随 T 值增大而减小, 二者间的距离越小, 抽样方案越合理。期望 OC、ASN 函数曲线是其余 OC、ASN 曲线的加权合成。有趣的是期望 ASN 函数值几乎总是在干扰阈限及其附近低于实际函数值。

高低 OC 曲线之间的宽度随 T 值的增大而减小, 说明图 4 所示抽样方案在较大 T 值下

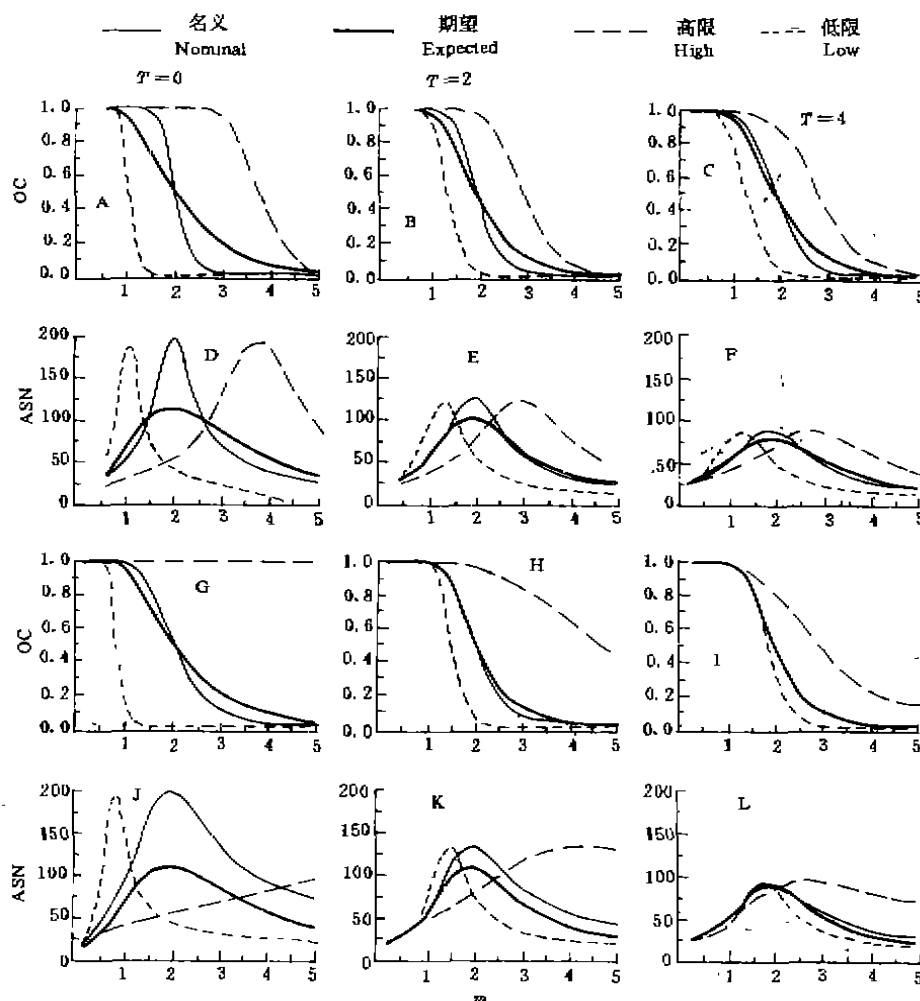


图2 当干扰阈限 $m_{IT}=2$ 时麦长管蚜不同 T 值下序贯二项式分类抽样方案的 OC 和 ASN 函数值与种群密度 (m 头/株) 间的关系
(A~F) 根据 P_T-m 经验关系设计; (G~L) 根据负二项分布模型设计
(名义 $k=0.181$, 低限 $k=0.084$, 高限 $k=0.411$)

Fig. 2 OC and ASN functions for the binomial sequential classification sampling plans of *S. avenae* at $m_{IT}=2$ with different T 's based on the empirical P_T-m relationship (A~F) and the negative binomial distribution (G~L; nominal $k=0.181$, low $k=0.084$, and high $k=0.411$) at varying density (m aphids per tiller)

更为合理。对所考虑的每一个干扰阈限密度, $T=0$ 时的抽样设计最差, 这恰好是传统的二项分类抽样设计, 由此可见其风险和局限性。OC 函数的期望与名义曲线之间的差异亦随 T 的增大而减小。因此, 恰当选择 T 值即单位样本中蚜虫数阈对样本进行分类, 可以大幅

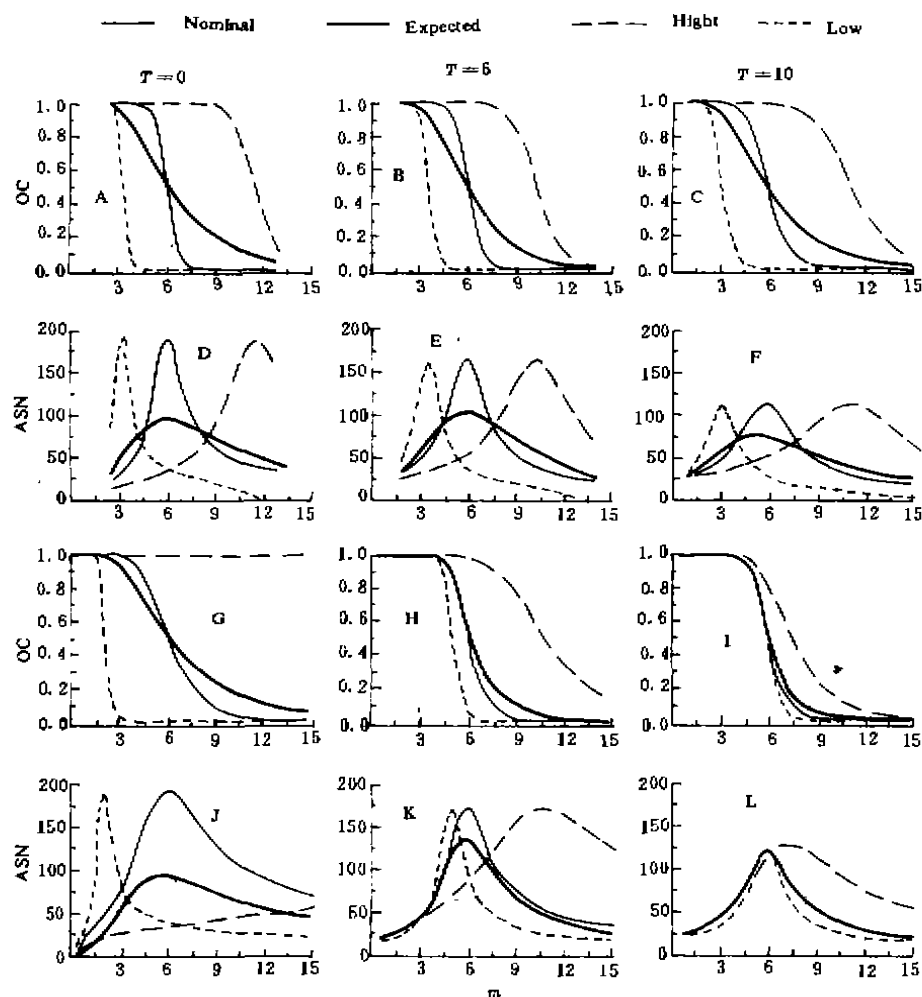


图3 当干扰阈限 $m_{IT}=6$ 时麦长管蚜不同 T 值下序贯二项式分类抽样方案的 OC 和 ASN 函数值与种群密度 (m 头/株) 间的关系
(A~F) 根据 P_T-m 经验关系设计; (G~L) 根据负二项分布模型设计
(名义 $k=0.377$, 低限 $k=0.168$, 高限 $k=0.878$)

Fig. 3 OC and ASN functions for the binomial sequential classification sampling plans of *Sitona avenae* at $m_{IT}=6$ with different T 's based on the empirical P_T-m relationship (A~F) and the negative binomial distribution (G~L; nominal $k=0.377$, low $k=0.168$, and high $k=0.878$) at varying density (m aphids per tiller)

度提高二项分类抽样设计的准确性, 从而增加管理决策的可靠性。

反映田间种群抽样成本的 ASN 曲线也随 T 值而变化 (图 4)。对每个 m_{IT} , 较低的 ASN 曲线对应着较大的 T 值。这说明如果对麦长管蚜选取一个合理大小的单位样本数用于田

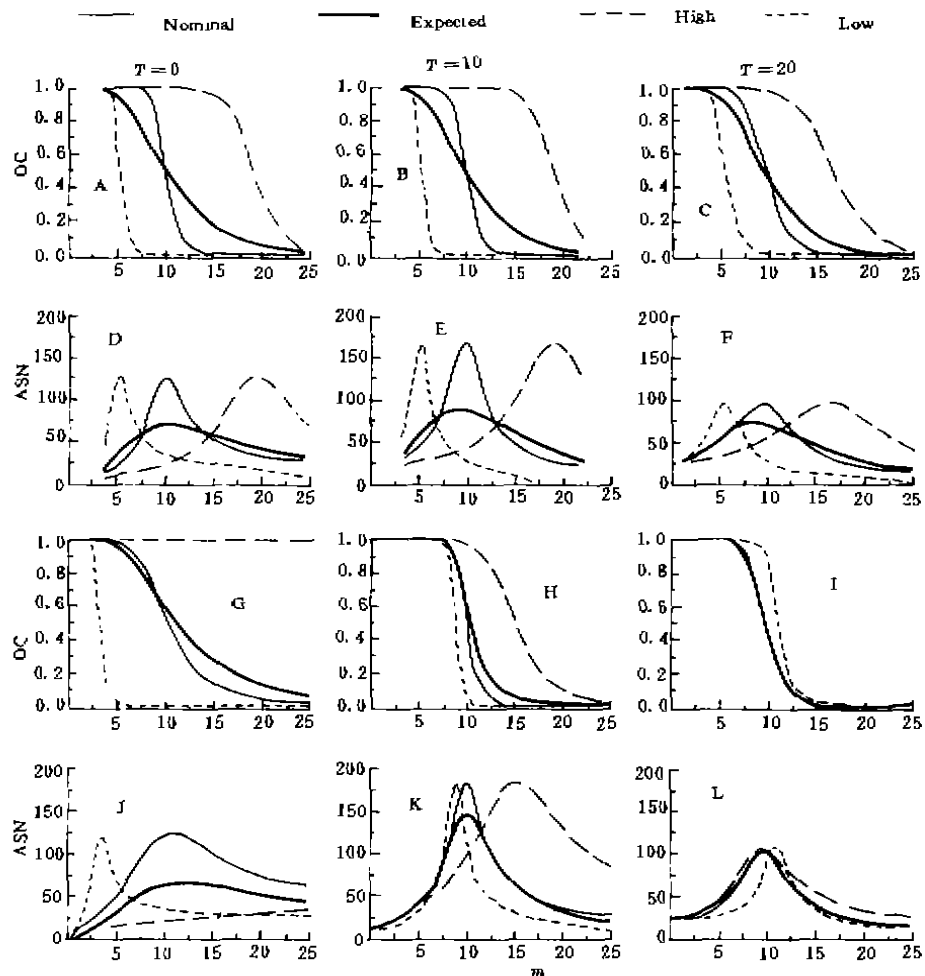


图4 当干扰阈限 $m_{IT}=10$ 时麦长管蚜不同 T 值下序贯二项式分类抽样方案的 OC 和 ASN 函数值与种群密度 (m 头/株) 间的关系
(A~F) 根据 P_T-m 经验关系设计; (G~L) 根据负二项分布模型设计
(名义 $k=0.602$, 低限 $k=0.262$, 高限 $k=1.429$)

Fig. 4 OC and ASN functions for the binomial sequential classification sampling plans of *S. avenae* at $m_{IT}=2$ with different T 's based on the empirical P_T-m relationship (A~F) and the negative binomial distribution (G~L; nominal $k=0.602$, low $k=0.262$, and high $k=1.429$) at varying density (m aphids per tiller)

间分类抽样, 则作出管理决策所需的样本量可大幅减小。当然, T 的增大必然增加检查每个样本的成本, 因为判断一个分蘖株是否载有 T 头蚜虫要花时间。所以, T 的选取必须合理。较小 T 值的抽样设计必然冒较大的错误决策风险 (因为其高低 OC 曲线之间的离散程

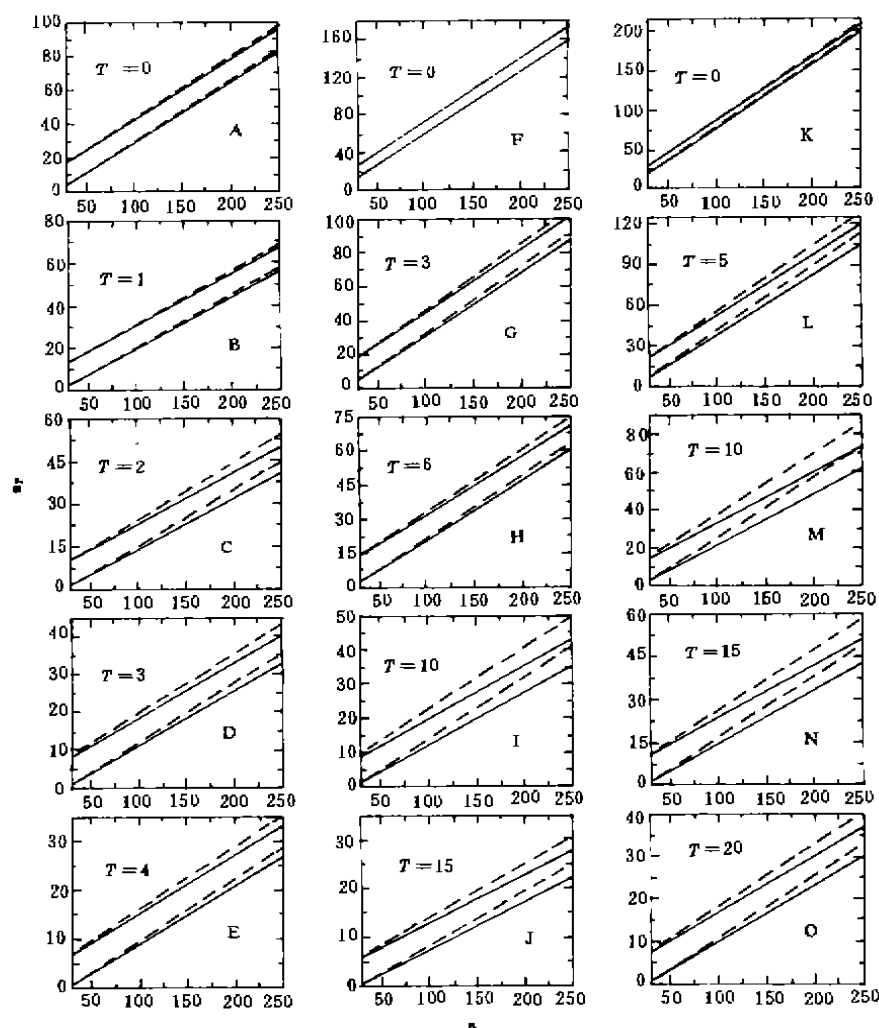


图 5 根据 P_T-m 经验关系(实线)和负二项分布模型(虚线)设计的麦长管蚜不同 T 值序贯二项式分类抽样的停止线、干扰阈限 $m_{IT}=2$ (A~E)、5(F~J)和 10(K~O)

n = 累计抽样株数; n_T = 不超过 T 头蚜虫的累计株数.

Fig. 5 Sampling stop lines for binomial sequential classification sampling plans of *S. oryzae* at the intervention thresholds of one(A~E), five(G~J), and 10(K~O) aphids per tiller at varying tally thresholds(T) based on the empirical P_T-m relationship(solid lines) and the k of the negative binomial distribution(dashed lines)

n = total number of tillers sampled; n_T = total number of tillers with $\leq T$ aphids per tiller

度较大)。传统的二项分类抽样(即 0-1 抽样)所冒风险和所需样本容量最大,应当摒弃。另一方面,过大 T 值的抽样设计虽然能减少总的样本量,却又将增加单位样本的成本。 T 的选取应当兼顾作物不同生育期的经济受害水平、管理决策对抽样精度的要求以及田间的可操作性。作者根据个人的田间经验,建议对麦长管蚜的二项分类抽样使用略高于各干扰阈

限的 T 值,即低密度下 3 头蚜虫(抽穗扬花期),中间密度下 10 头左右(乳熟中期前),高密度下 15~20 头(蜡熟中期前)。

图 5 给出用表 2 所列参数产生的序贯二项分类抽样的停止线。注意到由经验模型设计的抽样停止线(图中实线)总是高于根据负二项分布概率模型设计的抽样停止线(图中虚线),且这种差异对各干扰阈限有随 T 值而增大的趋势。抽样停止线的意义及用法如下所述。首先,当抽样开始时,用户须选定一个干扰阈限 m_{IT} 和对单位样本进行分类的虫口数阈 T 。如果在至少抽取的 50 株中不超过 T 头蚜虫(含 T 头的总株数在抽样停止线的上限之上或下限以下,则抽样停止,可作出田间蚜虫种群密度达到或未达到干扰阈限即施予或不施予化学防治的决策。如果不超过 T 头蚜虫的总株数介于抽样停止线的上下限之间,则抽样继续进行,直到能作出决策为止。在这种情况下,抽样检查的总株数不应少于 100,检查的株数越多,达到的决策可信度越高。如果检查的总株数已足够多还是不能作出决策(很少发生),抽样亦可终止,此种情况下无法得出明确的结论,较为理智的做法是过几天重新抽样。田间植株的选取应当根据害虫种群的空间分布,如对角线法,每隔一定距离抽取一定的株数。

最后应当指出,选用合理 T 值而设计的序贯二项分类抽样方案,虽然包括了传统的 0-1 抽样^[6,7],却又有所不同,其主要差异在于样本分类的标准不同。本文充分揭示了传统 0-1 抽样设计对麦长管蚜的不合理性。但是,从用户角度讲,或许因为对传统方法比较熟悉而不太适应或太情愿使用新的方法。这有待于各级植物保护尤其是作物病虫害测报及农业技术推广部门给予足够的重视与宣传。此外,本文所介绍的抽样设计理论与方法,原则上适用于其它研究对象的抽样设计和管理决策。

参 考 文 献

- 1 Blackman R L & Eastop V F. *Aphids on the world's crops: An identification guide*. New York: John Wiley & Sons, 1984, 466
- 2 Rabbinge R, Drees E M, Van Der Graaf M, et al. Damage effects of cereal aphids in wheat. *Neth. J. Plant Pathol.*, 1981, **87**: 217~232
- 3 Rossing W A H. Simulation of damage in winter wheat caused by the grain aphid *Sitobion avenae*. 3. Calculation of damage at various yield levels. *Neth. J. Plant Pathol.*, 1991, **97**: 87~103
- 4 Rossing W A H. Simulation of damage in winter wheat caused by the grain aphid *Sitobion avenae*. 2. Construction and evaluation of a simulation model. *Neth. J. Plant Pathol.*, 1991, **97**: 25~54
- 5 Rossing W A H. Simulation of damage in winter wheat caused by the grain aphid *Sitobion avenae*. 1. Quantification of the effects of honeydew on gas exchange of leaves and aphid populations of different size on crop growth. *Neth. J. Plant Pathol.*, 1990, **96**: 343~364
- 6 Eklom B S. Incidence counts for estimating densities of *Rhopalosiphum padi* (Homoptera: Aphididae). *J. Econ. Entomol.*, 1987, **80**: 933~935
- 7 Ellett N C, Kieckhefer R W & Walgenbach D D. Binomial sequential sampling methods for cereal aphids in small grains. *J. Econ. Entomol.*, 1990, **83**: 1381~1387
- 8 Nyrop J P, Agendo A M, Kovach J et al. Binomial sequential classification sampling plans for European red mite (Acari: Tetranychidae) with special reference to performance criteria. *J. Econ. Entomol.*, 1989, **82**: 482~490
- 9 Binns M R & Eastman N J. Robustness in empirically based binomial decision rules for integrated pest management. *J. Econ. Entomol.*, 1990, **83**: 420~427

- 10 Binns M R & Bostanian N J. Robust binomial decision rules for integrated pest management based on the negative binomial distribution. *Bull. Entomol. Soc. Am.*, 1990, **36**: 50~54
- 11 Feng M G & Nowierski R M. Spatial distribution and sampling plans for four species of cereal aphids (Homoptera: Aphididae) infesting spring wheat in southwestern Idaho. *J. Econ. Entomol.*, 1992, **85**: 830~837
- 12 Feng M G, Nowierski R M, Zeng Z. *et al.* Estimation of population density for the Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae) from the proportion of grain tillers with different tally thresholds of aphids. *J. Econ. Entomol.*, 1993, **86**: 427~435
- 13 Feng M G, Nowierski R M & Zeng Z. Binomial sampling plans for the English grain aphid, *Sitobion avenae* (Homoptera: Aphididae) based on an empirical relationship between mean density and proportion of tillers with different tally thresholds of aphids. *Bull. Entomol. Res.*, 1993, **83**: 187~196
- 14 Feng M G, Nowierski R M & Zeng Z. Population of *Sitobion avenae* and *Aphis ervi* on spring wheat in the northwestern United States; Spatial distribution and sequential sampling plans based on numerical and binomial counts. *Entomol. exp. appl.*, 1993, **67**: 109~117
- 15 Nyrop J P & Binns M R. Quantitative methods for designing and analyzing sampling programs for use in pest management. In D. Pimentel (ed). *CRC handbook of pest management in agriculture*. 2nd ed., vol. **I**. Florida: CRC Press, Inc. 1991, 67~132
- 16 Nyrop J P & Binns M R. Algorithms for computing operating characteristic and average sample number functions for sequential sampling plans based on binomial count models and revised plans for European red mite (Acari: Tetranychidae) on apple. *J. Econ. Entomol.*, 1992, **85**: 1253~1273
- 17 Johnston R L & Bishop G W. Economic injury levels and economic thresholds for cereal aphids (Homoptera: Aphididae) on spring-planted wheat. *J. Econ. Entomol.*, 1987, **80**: 478~482
- 18 Southwood T R E. *Ecological methods with particular reference to the study of insect populations*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons. 1978. 524
- 19 Binns M R & Bostanian N J. Binomial and censored sampling in estimation and decision making for the negative binomial distribution. *Biometrics*, 1988, **44**: 473~483
- 20 Feng M G, Nowierski R M & Zeng Z. Binomial sequential classification sampling plans for Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae) management; Robustness varying with tally thresholds of aphids in sample units. *J. Econ. Entomol.*, 1994, **87**: 1237~1250
- 21 Snedecor G W & Cochran W G. *Statistical methods*. 7th ed. Ames: Iowa State University Press, 1980
- 22 Wald A. *Sequential analysis*. New York: Wiley. 1947
- 23 Taylor L R. Aggregation, variance and the mean. *Nature*, 1961, **189**: 732~735
- 24 Taylor L R, Woiwod I P & Perry J N. The density-dependence of spatial behavior and the variety of randomness. *J. Anim. Ecol.*, 1978, **47**: 383~406