

东亚飞蝗蝗蛹抽样的研究

丁岩钦 李典谟 陈玉平

(中国科学院动物研究所)

提 要

自五十年代以来,应用于东亚飞蝗蝗区估计蝗蛹种群密度的抽样方法,是样方为10平方尺的简单随机抽样。本文是以抽样数、抽样消耗、相对精确度为标准,对三种抽样模型、三个抽样单位进行了比较。根据这些结果,我们提出了在当前蝗蛹密度较低的情况下,应采用样方为100平方尺的最适配额分层抽样。这种抽样方法在精确度方面可以高出现用的抽样方法2倍以上。而抽样时间消耗可相对节约一半以上。

根据东亚飞蝗分布型的研究,作者等初步明确了蝗蛹系属于负二项分布^[1]。作者等在上述工作的基础上,对东亚飞蝗蝗蛹的抽样进行了研究,目的在于对当前应用于东亚飞蝗的抽样方法能有所改进。

应用于本文的资料主要系1964—65年的系统调查和结合以后其他年份的调查资料。文中引用的种群适于负二项分布抽样公式见^[2]。

一、抽样设计的设想与内容

当着手进行东亚飞蝗抽样的研究时,力求使这项工作,不仅从抽样技术的要求考虑,而且能与东亚飞蝗蝗蛹的生态特性、抽样的消耗函数等结合起来。特别是将种群的空间分布结构的信息纳入抽样中去。这就使抽样设计更为合理,更便于应用。

抽样调查包括:(1)夏蝗与秋蝗分层与不分层的虫口密度调查;(2)不同抽样单位的虫口调查与时间消耗调查;(3)不同环境内蝗蛹抽样调查。

抽样分析包括:(1)不同抽样模型的比较;(2)不同样方的比较;(3)抽样模型结合不同样方的比较。

二、蝗蛹种群密度的估值抽样

蝗蛹种群密度的估值抽样,系应用抽样理论对蝗蛹田间密度进行抽样估计。而抽样估值的质量力求精确度高,消耗函数小。如何使这两个相互矛盾的对立因素统一于要求标准,这就是本研究的目的。

应用于东亚飞蝗蝗蛹的抽样方法,过去十几年系采用“10平方尺小样方的不分层随

本项研究系在马世骏教授指导下进行,并承审阅文稿,北京大学数学系卢崇飞同志、陈家鼎同志、孙山泽同志及65级概率论专门化刘卓熊等同学参加了田间取样调查,特此致谢。

机抽样”。本项工作以当前采用的抽样法为对照,应用了最适配额的分层抽样与按比例配额分层抽样分别进行了比较。

分层抽样系将一个大的环境(N),根据害虫习性把它分成若干小环境($N_1, N_2, \dots$),这些小环境称为层。然后将各层抽样的结果进行综合统计。从而估出该块大环境中的虫口密度。这种抽样方法,称为分层抽样。

$$\text{即 } N = N_1 + N_2 + \dots + N_L$$

(一) 三种抽样模型的比较

根据东亚飞蝗蝗蛹种群空间分布型的研究,蝗蛹种群总体属负二项分布。因此在进行三种抽样模型的比较时,即须采用适合于负二项分布的抽样公式。

兹以洪泽湖蝗区 15260 亩的环境中抽样为例,在麦田与渠埂的环境内,调查蝗蛹虫口密度,取样 1526 个,样方 10 平方尺,总虫数 528 头,平均数($\bar{x}$) = 0.225,

方差(S^2) = 0.878, 负二项分布的 k 值 = 0.225。

若将上述环境进行分层统计,则麦田内抽样数为 1406, 平均虫口($\bar{x}_1$) = 0.271, 方差(S_1^2) = 0.638, k_1 = 0.2001; 而渠埂的抽样数为 120, 平均数($\bar{x}_2$) = 1.225, S_2^2 = 2.441, k_2 = 1.234。

1. 三种抽样模型的理论抽样数比较。

简单随机抽样的理论抽样数(n_r): 当种群属于负二项分布时,其无放回抽样的理论抽样数公式为:

$$n_r = \frac{N(\bar{x}k + \bar{x}^2)}{kNd + \bar{x}k + \bar{x}^2} \quad (1) \text{ (代入不分层资料)}$$

$$= \frac{91,560,000(0.346 \times 0.225 + (0.346)^2)}{0.225 \times 91,560,000 \times 0.0004 + 0.346 \times 0.225 + 0.346^2} = 2195$$

$$\text{其中 } d = \left(\frac{\delta}{t}\right)^2 = \left(\frac{0.04}{2}\right)^2 = 0.0004$$

δ —允许误差 t —95%置信水平下的 t 值

总面积数(N) = 6000 × 15260 = 91,560,000 平方尺

按比例配额分层抽样的理论抽样数(n_p): 当种群属于负二项分布时,其无放回抽样的理论抽样数公式为:

$$n_p = \frac{\sum W_h \left(\frac{x_h k_h + \bar{x}_h^2}{k_h} \right)}{d + \frac{1}{N} \sum W_h \left(\frac{\bar{x}_h k_h + \bar{x}_h^2}{k_h} \right)} \quad (2) \text{ (代入分层资料)}$$

$$= \frac{91,560,000 \times \left[0.0787 \left(\frac{1.225 \times 1.234 + 1.225^2}{1.234} \right) + 0.9213 \left(\frac{0.271 \times 0.2 + 0.271^2}{0.2} \right) \right]}{91,560,000 \times 0.0004 + 0.0787 \left(\frac{1.225 \times 1.234 + 1.225^2}{1.234} \right) + 0.9213 \left(\frac{0.271 \times 0.2 + 0.271^2}{0.2} \right)}$$

$$= 1950$$

$$\text{其中 } W_h = \frac{N_h}{N}$$

$$n_1 = W_1 n = 0.9213 \times 1950 = 1797 \quad (\text{麦田})$$

$$n_2 = W_2 n = 0.0787 \times 1950 = 153 \quad (\text{渠埂})$$

最适配额分层抽样的理论抽样数(n_0): 当种群属于负二项分布时, 其无放回抽样的理论抽样数公式为:

$$n_0 = \frac{N \left(\sum W_h \sqrt{\frac{\bar{X}_h k_h + \bar{X}_h^2}{k_h}} \right)^2}{Nd + \sum W_h \frac{\bar{X}_h k_h + \bar{X}_h^2}{k_h}} \quad (3)$$

$$= \frac{91,560,000 \left(0.0787 \sqrt{\frac{1.225 \times 1.234 + (1.225)^2}{1.234}} + 0.9213 \sqrt{\frac{0.271 \times 0.2 + (0.271)^2}{0.2}} \right)^2}{91,560,000 \times 0.0004 + \left(0.0787 \frac{1.225 \times 1.234 + (1.225)^2}{1.234} + 0.9213 \frac{0.271 \times 0.2 + (0.271)^2}{0.2} \right)} = 1845$$

各层的理论抽样数(n_h)公式:

$$n_h = n \frac{W_h \left(\frac{\bar{X}_h k_h + \bar{X}_h^2}{k_h} \right)^{\frac{1}{2}}}{\sum W_h \left(\frac{\bar{X}_h k_h + \bar{X}_h^2}{k_h} \right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$n_1 = 1845 \frac{0.0787 \left(\frac{1.225 \times 1.234 + (1.225)^2}{1.234} \right)^{\frac{1}{2}}}{0.0787 \left(\frac{1.225 \times 1.234 + (1.225)^2}{1.234} \right)^{\frac{1}{2}} + 0.9213 \left(\frac{0.271 \times 0.2 + (0.271)^2}{0.2} \right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$= 264$$

$$n_2 = 1581$$

根据以上三种抽样模型的理论抽样数的比较, 可以看出, 在同一精确度下, 不分层抽样所需的理论抽样数最多, 达2195个。按比例配额分层抽样次之, 而最适配额分层抽样的理论抽样数最少, 仅1845个。较随机抽样少350个样方。

再以按比例配额分层抽样与最适配额分层抽样在各层中理论抽样数的配额比较, 由于按比例分层抽样系根据各层面积的大小来分配, 因此麦田中为1797个样方, 渠埂为153个样方。而最适配额分层抽样系与各层面积大小无关, 而系与种群分布的聚集度大小有关。由于麦田内聚集度小, 所以 n_1 仅需1581个, 而渠埂聚集度大, 则 n_2 需增至264个样方, 方能达到要求的精确度。

2. 三种抽样模型相对精确度的比较。

不分层随机抽样与分层抽样的比较 若以上述资料为例:

不分层随机抽样的方差(S_r^2)为0.878,

按比例分层抽样的方差(S_p^2)为0.779,

最适配额分层抽样方差(S_o^2)为0.724。

则随机抽样与按比例分层抽样的相对精确度(RP)公式为

$$RP = \frac{S_r^2}{S_p^2} = \frac{0.878}{0.779} = 1.1238$$

随机抽样与最适配额分层抽样的相对精确度(RP)公式为

$$RP = \frac{S_r^2}{S_o^2} = \frac{0.878}{0.724} = 1.2188$$

即分层抽样在抽样数相等的条件下,其相对精确度分别可高出随机抽样1.1—1.2倍。而分层抽样中,最适配额分层抽样又较按比例分层抽样为优。综合以上比较结果见表1。

根据上述蝗蝻调查资料应用理论抽样数、相对精确度二个指标对三种抽样模型比较的结果。对东亚飞蝗蝗蝻的抽样模型以最适配额分层抽样为宜。这样,应用同样的人力,其精确度较其它二种抽样分别可提高8%与18%。

表1 不同抽样模型的抽样数
与相对精确度比较

抽 样 模 型	同一精确度下的理论抽样数	抽样数相等的条件下相对精确度比较
不分层随机抽样	2195	1.0000
按比例配额分层抽样	1950	1.1238
最适配额分层抽样	1845	1.2188

(二) 最适样方的比较

根据上述分析将抽样模型确定后,进一步要考虑最适抽样单位采用多大的样方为最好。根据东亚飞蝗分布型的研究得知,不同的样方大小对分布型有一定的影响。而从抽样本身考虑,不同样方大小,对于人力的合理应用与所获结果的精确度亦有一定的影响,因此,在当前较低的虫口密度条件下,最适样方的确定,亦是需要解决的问题。

应用于东亚飞蝗蝗蝻抽样的样方,从60年代开始以来,均采用10平方尺的样方。为了进行比较,作者等从10平方尺到100平方尺,每隔10平方尺作为一个样方进行了比较与检验。为节约篇幅起见,现仅以10平方尺、50平方尺、100平方尺三种样方进行比较。

1. 同一精确度下,不同样方的相对抽样数比较:

由于蝗蝻分布型属于负二项分布,而检验不同样方的相对抽样数公式为:

$$\frac{n_u}{n_i} = \frac{R_u^2 k_i (\bar{x}_u k_u + \bar{x}_u^2)}{R_i^2 k_u (\bar{x}_i k_i + \bar{x}_i^2)} \quad (4)$$

n_u, n_i 分别为两种样方的抽样数

R_u, R_i 分别为两种样方的相对大小的比值

k_u, k_i 分别为两种样方的负二项分布k值

$\bar{x}_u, \bar{x}_i$ 分别为两种样方的平均虫口数

如以10尺²与50尺²样方进行比较, 由表2知: $n_u = n_{50}$, $n_i = n_{10}$, $R_{50} = 1$, $R_{10} = 5$, $k_{50} = 0.0518$, $k_{10} = 0.0285$, $\bar{x}_{50} = 0.236$, $\bar{x}_{10} = 0.065$ 代入(4)式,

$$\frac{n_{50}}{n_{10}} = \left(\frac{1}{5} \right)^2 \left[\frac{0.0285 (0.0518 \times 0.236 + (0.236)^2)}{(0.065 \times 0.0285 + (0.065)^2) 0.0518} \right] = 0.246$$

即为表3中的左项内容。

在比较相对抽样数时, 因50平方尺样方与100平方尺样方均分别大于10平方尺样方5及10倍, 因此, 将表3中左项分别乘以5及10, 即为同一抽样单位数的面积比较。

$$\frac{n_{50}}{n_{10}} = 0.246 \times 5 = 1.230 = G_{50}$$

设 G_u 为第 u 种样方抽样数与10平方尺样方抽样数的比例数, 则

$$n_{50} = 1.230 \times n_{10} = G_{50} n_{10} \quad (5)$$

即为表3中的右项内容。

表3的结果, 是以10平方尺样方为基础, 分别与50平方尺、100平方尺样方所需的抽样数进行比较。可以看出: (1)在同一精确度下, 不同抽样单位其抽样数并不呈比例增加或减少。(2)样方愈大所需的抽样总面积愈多。

2. 同一精确度下, 不同样方在时间消耗方面的比较:

在蝗蝻的抽样中, 比较不同样方的时间消耗因素时, 一般有二类: (1)检查一个样方中的虫口时所需的时间; (2)在样与样间移动时所需的时间。根据不同环境进行了三种样方和各样方间移动所需的时间记录, 见表4。

从表4中可以看出检查一个10平方尺的样方平均需时为13.1秒, 50平方尺样方为36.7秒, 100平方尺的样方为62.5秒。即所需时间随样方增大而增加, 但显著地不成比例地上升。而移动时的时间在50尺距离内平均为11.2秒。若样方与样方之间移动时所需的时间为一常数(a), 则各抽样单位所需时间, 可用下式表示:

$$t_u = (a + b_u) m_u$$

表2 不同样方内虫口密度及 k 值表

抽 样 单 位 (尺 ²)	环 境	平均虫口	抽样面积 (尺 ²)	方 差	k 值
10	荒地	0.065	7490	0.213	0.0285
10	荒地	0.075	7350	0.080	1.1250
10	荒地	0.095	9300	0.120	0.3610
10	荒地	0.053	4890	0.062	0.3121
10	荒地	0.201	6480	0.264	0.6413
10	麦田	0.066	9080	0.048	∞
10	麦田	0.030	4540	0.079	0.0185
10	麦田	0.018	11280	0.016	∞
10	河堤	0.389	2720	1.130	2.0421
10	农田	0.167	7900	0.146	∞
50	荒地	0.236	1498	1.311	0.0518
50	荒地	0.334	1470	0.774	0.2535
50	荒地	0.425	1860	0.970	0.3314
50	荒地	0.184	978	0.288	0.3255
50	荒地	1.089	1296	1.694	0.1960
50	麦田	0.264	1816	0.273	7.7440
50	麦田	0.270	911	0.708	0.1664
50	麦田	0.083	2256	0.085	2.2963
50	河堤	2.049	544	10.591	0.4915
50	农田	0.627	1580	0.943	1.2520
100	荒地	0.409	749	2.940	0.0661
100	荒地	0.628	735	1.866	0.3185
100	荒地	0.815	930	2.502	0.3937
100	荒地	0.364	489	0.685	0.4127
100	荒地	2.090	648	4.740	1.6483
100	麦田	0.481	108	0.583	2.2682
100	麦田	0.550	454	1.470	0.3288
100	麦田	0.150	1128	0.170	1.1250
100	河堤	4.310	272	30.430	0.7111
100	农田	1.221	790	2.677	1.0239

(6)

a ——样方间移动所需的时间

b_u ——检查第 u 种样方所需的时间

m_u ——样方的相对大小

若将10平方尺样方折成100平方尺样方,所需的时间根据(6)式为

$$a = 11.2, \quad b_{10} = 13.1, \quad m_{10} = 10 \quad \text{即}$$

$$(11.2 + 13.1) \times 10 = 243 \text{秒}$$

50平方尺样方折成100平方尺所需的时间为

$$(11.2 + 36.7) \times 2 = 95.5 \text{秒}$$

100平方尺样方所需的时间为

$$(11.2 + 62.5) \times 1 = 73.7 \text{秒}$$

表 3 同一精确度下,不同样方所需相对抽样数的比较

环 境	相对抽样数(n_1)			折合成10尺 ² 的抽样数		
	10尺 ²	50尺 ²	100尺 ²	10尺 ²	50尺 ²	100尺 ²
荒 地	$n_{10}(1.00)$	$0.246n_{10}$	$0.138n_{10}$	$n_{10}(1.00)$	$1.230n_{10}$	$1.38n_{10}$
荒 地	$n_{10}(1.00)$	$0.387n_{10}$	$0.233n_{10}$	$n_{10}(1.00)$	$1.935n_{10}$	$2.33n_{10}$
荒 地	$n_{10}(1.00)$	$0.323n_{10}$	$0.208n_{10}$	$n_{10}(1.00)$	$1.615n_{10}$	$2.08n_{10}$
荒 地	$n_{10}(1.00)$	$0.274n_{10}$	$0.163n_{10}$	$n_{10}(1.00)$	$1.370n_{10}$	$1.63n_{10}$
荒 地	$n_{10}(1.00)$	$0.256n_{10}$	$0.179n_{10}$	$n_{10}(1.00)$	$1.280n_{10}$	$1.79n_{10}$
麦 田	$n_{10}(1.00)$	$0.225n_{10}$	$0.120n_{10}$	$n_{10}(1.00)$	$1.125n_{10}$	$1.20n_{10}$
麦 田	$n_{10}(1.00)$	$0.358n_{10}$	$0.186n_{10}$	$n_{10}(1.00)$	$1.790n_{10}$	$1.86n_{10}$
麦 田	$n_{10}(1.00)$	$0.212n_{10}$	$0.106n_{10}$	$n_{10}(1.00)$	$1.060n_{10}$	$1.06n_{10}$
河 堤	$n_{10}(1.00)$	$0.374n_{10}$	$0.269n_{10}$	$n_{10}(1.00)$	$1.870n_{10}$	$2.69n_{10}$
农 田	$n_{10}(1.00)$	$0.258n_{10}$	$0.183n_{10}$	$n_{10}(1.00)$	$1.290n_{10}$	$1.83n_{10}$
$\bar{X}$	$n_{10}(1.00)$	$0.291n_{10}$	$0.178n_{10}$	$n_{10}(1.00)$	$1.455n_{10}$	$1.78n_{10}$

(1) 时间固定,不同样方的抽样面积(A_u)的公式

$$A_u = T/t_u \quad (7)$$

如以10平方尺为例 $A_{10} = 3600 \text{秒} / 243 \text{秒} = 14.8 \text{个} (10 \text{尺}^2 \text{面积})$

即 10平方尺的样方 1小时可抽样14.8个(10尺²面积)

50平方尺的样方 1小时可抽样37.5个(10尺²面积)

100平方尺的样方 1小时可抽样48.8个(10尺²面积)

(2) 精确度固定,不同样方相对时间消耗(C_u)的比较

若以10平方尺样方与50平方尺、100平方尺样方进行比较

$$\text{由于 } C_u = n_u / A_u \quad (8)$$

从(5)式知 $n_u = G_u n_{10}$

$$\text{则 } C_u = G_u n_{10} / A_u \quad (9)$$

表 4 不同环境下, 各样方检查时间比较

环 境	样 数	每样方平均时间		
		10尺 ²	50尺 ²	100尺 ²
麦 田	60	17.4(秒)	43.8(秒)	69.5(秒)
麦 田	60	10.6(秒)	34.0(秒)	62.6(秒)
麦 田	60	14.8(秒)	52.8(秒)	87.9(秒)
麦 田	60	10.7(秒)	54.5(秒)	100.4(秒)
麦 田	60	18.2(秒)	53.9(秒)	83.8(秒)
麦 田	60	10.3(秒)	35.9(秒)	57.4(秒)
麦 田	60	18.1(秒)	49.7(秒)	74.2(秒)
麦 田	60	18.3(秒)	56.8(秒)	83.4(秒)
麦 田	60	21.5(秒)	47.1(秒)	66.8(秒)
平 均		15.5(秒)	47.6(秒)	78.0(秒)
荒 地	15	15.6(秒)	42.6(秒)	81.2(秒)
荒 地	15	17.0(秒)	25.0(秒)	75.0(秒)
荒 地	15	10.4(秒)	40.6(秒)	62.0(秒)
荒 地	15	11.8(秒)	18.8(秒)	32.4(秒)
荒 地	15	8.8(秒)	18.0(秒)	34.4(秒)
荒 地	15	7.2(秒)	25.8(秒)	33.0(秒)
荒 地	15	11.0(秒)	27.0(秒)	60.8(秒)
荒 地	15	9.2(秒)	22.0(秒)	45.8(秒)
荒 地	15	11.2(秒)	29.4(秒)	41.8(秒)
荒 地	15	12.2(秒)	29.2(秒)	55.6(秒)
荒 地	15	12.6(秒)	37.2(秒)	55.8(秒)
荒 地	15	10.0(秒)	28.2(秒)	49.2(秒)
平 均		11.4(秒)	28.6(秒)	52.2(秒)
总 平 均		13.1(秒)	36.7(秒)	62.5(秒)

表 5 同一精确度下, 不同样方所需相对时间消耗比较

环 境	样 方 (平方尺)		
	10	50	100
荒 地	$C_{10} (1.00)$	$0.485 C_{10}$	$0.418 C_{10}$
荒 地	$C_{10} (1.00)$	$0.763 C_{10}$	$0.707 C_{10}$
荒 地	$C_{10} (1.00)$	$0.637 C_{10}$	$0.631 C_{10}$
荒 地	$C_{10} (1.00)$	$0.541 C_{10}$	$0.494 C_{10}$
荒 地	$C_{10} (1.00)$	$0.505 C_{10}$	$0.543 C_{10}$
麦 田	$C_{10} (1.00)$	$0.444 C_{10}$	$0.364 C_{10}$
麦 田	$C_{10} (1.00)$	$0.706 C_{10}$	$0.564 C_{10}$
麦 田	$C_{10} (1.00)$	$0.418 C_{10}$	$0.321 C_{10}$
河 堤	$C_{10} (1.00)$	$0.738 C_{10}$	$0.816 C_{10}$
农 田	$C_{10} (1.00)$	$0.509 C_{10}$	$0.555 C_{10}$
$\bar{x}$	$C_{10} (1.00)$	$0.575 C_{10}$	$0.541 C_{10}$

而 $C_{10} = n_{10}/A_{10}$

即 $n_{10} = C_{10} A_{10}$

代上式于(9)式内

$$C_u = G_u A_{10} C_{10} / A_u \quad (10)$$

这样, 50平方尺样方的相对时间消耗 (C_{50}) 的各参数值分别为 $G_{50} = 1.230$, $A_{10} = 14.8$, $A_{50} = 37.5$, 代入(10)式

$$C_{50} = 1.230 \left(\frac{14.8}{37.5} \right) C_{10} = 0.485 C_{10}$$

而 $C_{100} = 1.380 \left(\frac{14.8}{48.8} \right) C_{10} = 0.418 C_{10}$

此即说明, C_{50} 的时间消耗等于 C_{10} 的 0.485 倍

C_{100} 的时间消耗等于 C_{10} 的 0.418 倍

结果见表 5。从表 5 知, 10平方尺样方所需的时间, 在同一精确度下, 远较其它两样方为多, 而 100平方尺样方所需时间最少。

3. 消耗函数固定, 不同样方相对精确度比较:

$$\text{相对精确度 (RP)} = \frac{1}{C_u} C_{10} \quad (11)$$

设 10平方尺样方的 C_{10} 为 1.00, 则相对精确度即为其它样方消耗函数的倒数。

从表 5 的资料知, 50平方尺样方的 $C_{50} = 0.485 C_{10}$

$$\text{则 } RP = \left(\frac{1}{0.485 C_{10}} \right) C_{10} = 2.062$$

表 6 三种样方的相对精确度比较

环 境	样 方 (平方尺)		
	10	50	100
荒地	1.00	2.062	2.392
荒地	1.00	1.311	1.414
荒地	1.00	1.569	1.584
荒地	1.00	1.848	2.024
荒地	1.00	1.980	1.841
麦田	1.00	2.252	2.747
麦田	1.00	1.416	1.773
麦田	1.00	2.392	3.115
河堤	1.00	1.355	1.225
农田	1.00	1.964	1.801
平 均	1.00	1.739	1.848

这说明当消耗函数固定, 50平方尺的样方其相对精确度可高出10平方尺样方 2.062 倍。

结果见表 6。

综合上述应用四个指标对不同样方进行比较的结果, 见表 7。

由表7可见50平方尺与100平方尺样方在抽样精确度固定的条件下, 抽样面积较10平方尺为多。但由于在抽样时间消耗方面远较10平方尺为少, 从而相对精确度可提高 1.7—1.8倍以上。尤以100平方尺样方为最佳。

(三) 三种抽样模型结合三种样方综合进行比较

以上对抽样模型或样方的比较, 均系分

表 7 不 同 样 方 的 比 较

项 目	样 方		
	10平方尺	50平方尺	100平方尺
精确度固定, 相对抽样面积比较	1.000	0.291	0.178
时间固定, 相对抽样面积比较	1.000	2.534	3.297
精确度固定, 相对时间消耗比较	1.000	0.575	0.541
消耗函数固定, 相对精确度比较	1.000	1.739	1.848

开进行。为了将抽样方案与样方大小方案结合起来(即某一抽样模型结合不同样方与另一抽样模型结合不同样方)综合比较, 我们应用了适用于负二项分布的综合比较模型。

1. 精确度固定, 各抽样模型中应用不同样方其相对理论抽样数(n_u)的比较。

简单随机抽样模型中, 不同样方的相对理论抽样数公式

$$n_u = \left[\frac{\bar{X}_i(k_i + \bar{X}_i)N}{Nd k_i + (\bar{X}_i k_i + \bar{X}_i^2)} \right] \left[\frac{R_u^2 k_i (\bar{X}_u k_u + \bar{X}_u^2)}{R_i^2 k_u (\bar{X}_i k_i + \bar{X}_i^2)} \right] \quad (12)$$

其中 50尺² $k_{50} = 0.811$ $\bar{x}_{50} = 2.0$

100尺² $k_{100} = 1.220$ $\bar{x}_{100} = 3.8$

如以10平方尺样方作为基础, 与其它样方比较, 在简单随机抽样模型中

$$n_{50} = 2195 \left[\frac{1 \times 0.225(2.0 \times 0.811 + (2.0)^2)}{5 \times 0.811(0.346 \times 0.225 + (0.346)^2)} \right] = 638.7$$

$$n_{100} = 390.7$$

按比例配额分层抽样中, 不同样方的相对理论抽样数公式

$$n_u = \left[\frac{\sum W_h \left(\frac{\bar{X}_{hi} k_{hi} + \bar{X}_{hi}^2}{k_{hi}} \right)}{d + \frac{1}{N} \sum W_h \frac{\bar{X}_{hi} k_{hi} + \bar{X}_{hi}^2}{k_{hi}}} \right] \left[\frac{R_u^2 \sum W_h \frac{\bar{X}_{hu} k_{hu} + \bar{X}_{hu}^2}{k_{hu}}}{R_i^2 \sum W_h \frac{\bar{X}_{hi} k_{hi} + \bar{X}_{hi}^2}{k_{hi}}} \right] \quad (13)$$

$$\text{其中 } \sum W_h \left(\frac{\bar{X}_{h50} k_{h50} + \bar{X}_{h50}^2}{k_{h50}} \right) = 5.668$$

$$\sum W_h \left(\frac{\bar{X}_{h100} k_{h100} + \bar{X}_{h100}^2}{k_{h100}} \right) = 13.866$$

$$\sum W_h \left(\frac{\bar{X}_{h10} k_{h10} + \bar{X}_{h10}^2}{k_{h10}} \right) = 0.779$$

$$\text{代入上式 } n_{50} = 1950 \times \frac{5.668 \times 1}{25 \times 0.779} = 567.5$$

$$n_{100} = 347.1$$

最适配额分层抽样中, 不同样方的相对理论抽样数公式

$$n_u = \left[\frac{\left(\sum W_h \sqrt{\frac{\bar{X}_{hi} k_{hi} + \bar{X}_{hi}^2}{k_{hi}}} \right)^2}{d + \frac{1}{N} \sum W_h \frac{\bar{X}_{hi} k_{hi} + \bar{X}_{hi}^2}{k_{hi}}} \right] \left[\frac{R_u^2 \left(\sum W_h \sqrt{\frac{\bar{X}_{hu} k_{hu} + \bar{X}_{hu}^2}{k_{hu}}} \right)^2}{R_i^2 \left(\sum W_h \sqrt{\frac{\bar{X}_{hi} k_{hi} + \bar{X}_{hi}^2}{k_{hi}}} \right)^2} \right] \quad (14)$$

$$\text{其中 } \left(\sum W_h \sqrt{\frac{\bar{X}_{h50} k_{h50} + \bar{X}_{h50}^2}{k_{h50}}} \right)^2 = 5.268$$

$$\left(\sum W_h \sqrt{\frac{\bar{X}_{h100} k_{h100} + \bar{X}_{h100}^2}{k_{h100}}} \right)^2 = 12.887$$

$$\left(\sum W_h \sqrt{\frac{\bar{X}_{h10} k_{h10} + \bar{X}_{h10}^2}{k_{h10}}} \right)^2 = 0.724$$

$$n_{50} = 1845 \frac{1 \times 5.268}{25 \times 0.724} = 537.0$$

$$n_{100} = 328.0$$

2. 精确度固定, 各抽样模型中应用不同样方其相对时间消耗的比较
简单随机抽样中, 不同样方的相对时间消耗(C_u)的公式

$$C_u = \left[\frac{N(\bar{X}_i k_i + \bar{X}_i^2)}{k_i N d + \bar{X}_i k_i + \bar{X}_i^2} \right] \left[\frac{R_u^2 k_i (\bar{X}_u k_u + \bar{X}_u^2) (a + b_u)}{R_i^2 k_u (\bar{X}_i k_i + \bar{X}_i^2)} \right] \quad (15)$$

按比例分层抽样中, 不同样方的相对时间消耗(C_u)的公式

$$C_u = \left[\frac{\sum W_h \left(\frac{\bar{X}_{hi} k_{hi} + \bar{X}_{hi}^2}{k_{hi}} \right)}{d + \frac{1}{N} \sum W_h \frac{\bar{X}_{hi} k_{hi} + \bar{X}_{hi}^2}{k_{hi}}} \right] \left[\frac{R_u^2 \left(\sum W_h \frac{\bar{X}_{hu} k_{hu} + \bar{X}_{hu}^2}{k_{hu}} \right) (a + b_u)}{R_i^2 \left(\sum W_h \frac{\bar{X}_{hi} k_{hi} + \bar{X}_{hi}^2}{k_{hi}} \right)} \right] \quad (16)$$

最适配额分层抽样中, 不同样方的相对时间消耗(C_u)的公式

$$C_u = \left\{ \frac{\left(\sum W_h \sqrt{\frac{\bar{X}_{hi}k_{hi} + \bar{X}_{bi}^2}{k_{hi}}} \right)^2}{d + \frac{1}{N} \left(\sum W_h \frac{\bar{X}_{bi}k_{hi} + \bar{X}_{bi}^2}{k_{hi}} \right)} \right\} \times \left\{ \frac{R_u^2 \left(\sum W_h \sqrt{\frac{\bar{X}_{hu}k_{hu} + \bar{X}_{bu}^2}{k_{hu}}} \right)^2 (a + b_u)}{R_i^2 \left(\sum W_h \sqrt{\frac{\bar{X}_{hi}k_{hi} + \bar{X}_{bi}^2}{k_{hi}}} \right)^2} \right\} \quad (17)$$

如以(6)式的($a + b_u$)计算结果

样方为 10 平方尺时, 时间消耗 = 24.3(秒) = 0.0067(小时)

样方为 50 平方尺时, 时间消耗 = 47.9(秒) = 0.0133(小时)

样方为 100 平方尺时, 时间消耗 = 73.7(秒) = 0.0205(小时)

分别代入(15), (16), (17)式,

如 $C_{50(r)} = 638.7 \times 0.0133 = 8.49$ (小时)

其计算结果, 见表 8。

表 8 各抽样模型应用不同样方其相对抽样数、时间消耗、精确度比较

抽 样 模 型	不同样方的相对理论抽样数 (n_u)	不同样方的相对时间消耗 (C_u) (小时)	时间条件固定, 各抽样模型应用不同样方, 相对精确度 (RP)	
简单随机抽样 (r)	$n_{10} = 2190.0$	$C_{10} = 14.71$	$C_{10(r)} = 1.00$	$C_{100(o)} = 2.23$
	$n_{50} = 638.7$	$C_{50} = 8.49$	$C_{10(r)} = 1.00$	$C_{100(p)} = 2.07$
	$n_{100} = 390.7$	$C_{100} = 8.01$	$C_{10(r)} = 1.00$	$C_{100(r)} = 1.84$
按比例分层抽样 (p)	$n_{10} = 1950.0$	$C_{10} = 13.07$	$C_{10(r)} = 1.00$	$C_{50(o)} = 2.10$
	$n_{50} = 567.5$	$C_{50} = 7.55$	$C_{10(r)} = 1.00$	$C_{50(p)} = 1.95$
	$n_{100} = 347.1$	$C_{100} = 7.12$	$C_{10(r)} = 1.00$	$C_{50(r)} = 1.84$
最适配额分层抽样 (o)	$n_{10} = 1845.0$	$C_{10} = 12.30$	$C_{100(r)} = 1.00$	$C_{100(o)} = 1.21$
	$n_{50} = 537.0$	$C_{50} = 7.14$	$C_{100(r)} = 1.00$	$C_{100(p)} = 1.12$
	$n_{100} = 328.0$	$C_{100} = 6.72$	$C_{100(p)} = 1.00$	$C_{100(o)} = 1.08$

3. 时间固定, 各抽样模型中应用不同样方其相对精确度(RP)的比较

$$RP = \frac{1}{\frac{C_i}{C_u}} \quad (18)$$

如采用 100 平方尺样方的最适配额分层抽样与采用 10 平方尺样方的简单随机抽样的相对精确度比较为:

$$RP = \frac{1}{\frac{C_i}{C_u}} = \frac{1}{\frac{C_{100(o)}}{C_{10(r)}}} = \frac{1}{\frac{6.6}{14.71}} = 2.229$$

即前者在抽样时间固定的条件下, 相对精确度可高出后者2.229倍。其它计算结果见表8。

根据表8的资料可以看出, 在理论抽样数方面: 应用100尺²样方的最适配额分层抽样与10尺²样方的简单随机抽样比较, 虽然由于样方的增大而增加了抽样面积, 但因采用最适配额分层抽样的结果, 与大样方的简单随机抽样比较, 同样相对减少抽样面积6270尺²。在时间消耗方面: 应用10尺²样方的简单随机抽样, 要完成15260亩面积的抽样时, 需时14.7小时, 而改用100尺²的样方时, 即减少为8.01小时, 若采用100尺²样方的最适配额分层抽样, 完成同样精确度的抽样时间仅为6.72小时, 这大大节约了人力与物力。就相对精确度而言, 应用100尺²样方的最适配额分层抽样其相对精确度可高出当前所用的10尺²不分层随机抽样2.23倍。而100尺²的按比例分层抽样其相对精确度亦高出10尺²不分层随机抽样2.066倍。

通过以上不同抽样模型、不同样方、以及不同抽样模型结合不同样方的综合分析比较, 可以看出: 应用100尺²大样方的最适配额分层抽样, 明显地减少了理论抽样数、节约了抽样时间、提高了相对精确度。若与当前所通用的10尺²小样方简单随机抽样进行比较, 新的抽样模型可节约抽样时间一半以上, 提高精确度2倍以上。并且这个抽样模型不仅符合东亚飞蝗的迁移扩散和对其栖境选择的生态特性, 而且根据不同样方对蝗虫分布型影响的研究, 采用100尺²大样方也正确地反映了当前低密度下, 蝗虫空间分布型的聚集特征。

参 考 文 献

1. 丁岩钦等 1978 东亚飞蝗分布型的研究及其应用
昆虫学报21(3)243—59
2. 丁岩钦 1978 昆虫种群抽样理论的研究
动物学集刊1980年1期

STUDIES ON THE SAMPLING METHOD OF NYMPHAL STAGE OF THE ORIENTAL MIGRATORY LOCUST (*LOCUSTA MIGRATORIA MANILENSIS*)

Ting Yenchin Li Dianmo Chen Yupin

(*Institute of Zoology, Academia Sinica*)

Since the end of the fifties, the sampling method for estimating the population density of nymphal stage in the locust outbreak areas is simple random sampling with sampling units of 3.3m^2 . As a result of combined measure of reconstruction and chemical control, through more than ten years, the population density of this pest has been markedly decreased. In such low density condition, from economic point of view what suitable sampling method ought to be taken for nymphal stage should be ascertained.

In this paper, several comparisons between three sampling methods (i. e. simple random sampling, stratified sampling for proportion, and stratified sampling for optimum allocation) and three types of sampling units (i.e. 3.3m^2 , 16.5m^2 , 33m^2), are made with respect to sample sizes, sample cost, and relative precision etc.

According to these results, a suitable sampling method is proposed, that is stratified sampling for optimum allocation with 33m^2 of sampling unit. The relative precision for this sampling is higher 2.2 times than that of the sampling method usually used and the relative time cost is 2 times less.