

北京东灵山地区植物群落多样性研究*

VI. 几种类型植物群落物种数目的估计

刘灿然 马克平[#] 于顺利 王巍

(中国科学院植物研究所 北京 10093)

S 942.15

摘要 采用经验贝叶斯方法、非参数方法(刀切法和自助法)和种-面积曲线外推方法对北京东灵山地区5种类型植物群落的物种数目进行了估计,考察了这些方法的估计行为,从中得出如下结论:(1)只要抽样强度不是很小,经验贝叶斯方法就能给出群落物种数目很好的估计,但与非参数方法相比,其估计的标准差较大;(2)在适当的抽样强度下,非参数方法也能给出群落物种数目很好的估计。如果抽样强度过低,则估计值也偏低;相反,如果抽样强度过高,则估计值也偏高。但在各种抽样强度下,非参数方法估计的标准差都比经验贝叶斯方法的小;(3)种-面积曲线2、3、4、5、6可以给出群落物种数目较好的估计,曲线1的估计值偏高,而曲线7、8、9、10的估计值则偏低;(4)经过几种方法的综合比较,可以对群落1、2、3、4、5的各层及整个群落的物种数目分别做出如下估计:乔木层16、19、21、12、16,灌木层13、15、21、14、21,草本层49、46、54、82、55,整个群落79、80、96、107、92。

多样性

关键词 植物群落, 物种数目, 估计, 经验贝叶斯方法, 刀切法, 自助法, 种-面积曲线, 外推法。

PLANT COMMUNITY DIVERSITY IN DONGLINGSHAN
MOUNTAIN, BEIJING, CHINAVI. ESTIMATION OF THE NUMBERS OF SPECIES
IN SEVERAL TYPES OF PLANT COMMUNITIES

Liu Canran Ma Keping Yu Shunli Wang Wei

(Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100093, China)

Abstract Empirical Bayes method (EBM), nonparametric methods (NPMs) (with include jack-knife and bootstrap methods) and extrapolation of species-area curves were used to estimate the number of species (NS) in each of the five types of plant communities in Dongling Mountain, Beijing, China, and their performances were also examined. The following are the results. (1) as sampling intensity (Sl) was not very low, good point estimates be obtained with EBM, but the estimated standard deviations were greater than those with NPMs; (2) NPMs would also give good point estimates under adequate Sl , as Sl

* 国家自然科学基金资助项目(39570125)和国家基础重大项目(85-PD-31-03)的部分内容。

通讯作者

收稿日期:1997-02-15,修改稿收到日期:1997-08-15。

was too low, the estimated NS be low. On the contrary, as SI was too high, the estimated NS would be high. Under all of the SI s, the estimated standard deviations with NPMs were less than those with EBM; (3) Species-area curves 2, 3, 4, 5, 6 gave good point estimates of NS . Curve 1 overestimated the NS s while curves 7, 8, 9, 10 underestimated the NS s for many cases; (4) Synthesizing the results obtained with the three kinds of methods, we can give the estimated NS s for the five communities and their three layers for each community: 16, 19, 21, 12, 16 for trees, 13, 15, 21, 14, 21 for shrubs, 49, 46, 54, 82, 55 for herbs, and 79, 80, 96, 107, 92 for communities.

Key words: plant community, number of species, estimate, empirical Bayes method, jack-knife method, bootstrap method, species-area curve, extrapolation.

多样性测度一般都是以群落中的物种数目为基础的,同时群落中的物种数目本身也是一种最简单的多样性测度,即物种丰富度指数^[1],与对其估计和检验有关的抽样问题已经引起了很大的注意^[2,3],并提出了很多方法^[4],Bunge 和 Fitzpatrick(1993)^[5]对其作过评述。其中的大多数方法都假定分类群(taxa)是作为“个体”抽取的,这对动物可能是合适的,因为它们都是离散的个体,而对植物则是不合适的,因为植物个体常常是高度聚集的,并且抽样是对面积单元而不是对个体进行的^[1,4,6]。有几种方法是基于样方而不是个体的,它们是:(1)对数正态分布的积分;(2)种-面积曲线的外推;(3)非参数方法(即刀切法和自助法)^[4];(4)Mingoti 和 Meeden 的经验贝叶斯方法^[7]。除第一种方法需要用到种的多度信息外,后3种方法都只需种的存在-不存在数据,因此,使用起来比较方便。本文的目的就是要通过对东灵山地区几种类型植物群落的物种数目的估计来考察这些方法的适用性,并对其估计行为作出评价。

1 研究方法

在北京东灵山小龙门林场选择5块样地,其中辽东栎成熟林(群落1)和幼林(群落2)各一块,面积分别为30m×50m和100m×20m,华北落叶松人工林(群落3)和油松人工林(群落4)各一块,面积分别为50m×50m和70m×15m,落叶阔叶混交林(群落5)一块,面积为40m×50m。调查时将其划分为5m×5m的网格,在每个5m×5m的小样方内分乔、灌、草计数并测量各种指标。

1.1 种-面积曲线外推的方法

种-面积曲线(SAC)可以通过巢式样方或序贯地增加等大小的样方而得到。这两种方法得到的结果很可能不同,序贯地增加样方得到的 SAC 将比巢式样方得到的 SAC 增加得快^[4]。本文采用序贯地增加等大小样方的方法。

本文选用了10条种-面积曲线,它们分别是:

$$S = b + aA \quad (1)$$

$$S = b + a \ln A \quad (2)$$

$$S = (b + a \ln A)^c \quad (3)$$

$$S = a \ln(A + 1) \quad (4)$$

$$S = a \ln(bA + 1) \quad (5)$$

$$S = aA^b \quad (6)$$

$$S = aA/(1 + bA) \quad (7)$$

$$S = c/(1 + ae^{-bA}) \quad (8)$$

$$S = c - ae^{-bA} \quad (9)$$

$$S = a(1 - e^{-bA}) \quad (10)$$

这10条曲线分属于两类,即非饱和曲线(1)~(6)和饱和曲线(7)~(10)。其中, A 为面积, S 为 A 中出

现的物种数目, a, b, c 都是模型中的参数。一旦估计出这些参数, 就可以将这些曲线外推至群落的面积而将对应的物种数目估计出来。也可直接将曲线(7)~(10)的渐近值作为群落物种数目的估计值, 它们分别为 $a/b, c, c$ 和 a 。

1.2 经验贝叶斯估计方法

假定将研究的区域(即群落)分成 N 个相等的面积单元, 即总的样本单元数(NTP)为 N , 每个单元的形状可以不同, 再假设在该群落中存在 S 个种, 分别为 $S_1, S_2, \dots, S_s$, 但它们(包括 S)都是未知数, 且 S 是有限的。对每一个种 S_i , 设 P_i 是种 S_i 在该群落中的一个特定的样方中出现的概率, 又假设 $P_1, P_2, \dots, P_s$ 是来自具有两个未知参数 $\alpha(>0)$ 和 $\beta(>0)$ 的 β 分布的独立同分布的随机变量。现从 N 个单元中抽取 n ($n \geq 1$) 个样方(即单元), n_x 个种恰在样本中的 X 个样方中出现, $n_x \in \{1, 2, \dots, S\}$, $x \in \{1, \dots, n\}$ 。则在这 n 个样方中出现的种数为:

$$s' = \sum_{x=1}^n n_x$$

再假设又从剩余的 $N-n$ 个单元中抽取了 m 个样方(即单元), 令 Z_m 为在大小为 m 的第2个样本中观察到、但不在第1个样本中观察到的种数, 则在两个样本中观察到的总种数为:

$$\theta_n(m) = s + Z_m$$

Mingoti 和 Meeden(1992)^[7]给出的 $\theta_n(m)$ 的估计量为:

$$E\theta_n(m) = s' + n_1(n + \beta - 1) \{1 - [\Gamma(n + \alpha + \beta)/\Gamma(n + \beta)][\Gamma(n + m + \beta)/\Gamma(n + m + \alpha + \beta)]\} (na) \quad (11)$$

令 $\alpha \rightarrow 0$, 则可得到该估计量的一个特例:

$$E_0\theta_n(m) = s' + [n_1(n + \beta - 1)/(na)] \sum_{j=n}^{n+m-1} 1/(j + \beta) \quad (12)$$

将(11)和(12)都形式上记为:

$$ES = c(\alpha, \beta)n_1 + \sum_{x=2}^n n_x \quad (13)$$

则 ES 的方差为:

$$V(ES) = ES[c^2\gamma_1(1 - \gamma_1) + \sum_{x=2}^n \gamma_x(1 - \gamma_x)] \quad (14)$$

其中,

$$\gamma_1 = [c - (n - 3)/(n - 1)] / \{2[c + 1/(n - 1)]\}, \text{ 当 } c > (n - 3)/(n - 1) \quad (15)$$

$$= 0, \text{ 当 } c < (n - 3)/(n - 1) \quad (16)$$

$$\gamma_x = (1 - \gamma_1)/(n - 1), \quad x = 2, 3, \dots, n \quad (17)$$

其中, (14)、(15)、(16)式中的 c 即为(13)式中的 $c(\alpha, \beta)$ 。其中的参数 α 和 β 可以通过使似然函数 $f(n_1, n_2, \dots, n_s | s')$ 极大化而从样本中估计出来。其中:

$$f(n_1, n_2, \dots, n_s | s') = [(s'!)/\prod_{x=1}^n (n_x!)] [\prod_{x=1}^n (q_x)^{n_x}] \quad (18)$$

$$q_x = C_x^* \Gamma(x + \alpha) \Gamma(n + \beta - x) / [\sum_{i=1}^n C_i^* \Gamma(i + \alpha) \Gamma(n + \beta - i)], \alpha \geq 0, \beta > 0 \quad (19)$$

1.3 非参数估计方法

本研究使用了两种非参数估计方法: 刀切法和自助法。Heltshe 和 Forester(1983)^[8]最先研究了用刀切法估计群落物种数目(NS)的问题, 并给出了 NS 的一阶刀切估计量, Smith 和 van Belle(1984)^[1]将这一结果推广到了 k 阶, 还给出了 NS 的自助估计量。

假设一个样本中包含 n 个样方, 观察到的物种数目为 s' , 则一阶刀切估计量为

$$J_n^1(S) = s' + [r_{10}, (n - 1)]/n \quad (20)$$

其中, r_{10} 为恰在一个样方中出现的种数。

一阶刀切估计的方差为

$$\text{Var}\{J_n^1(S)\} = [(n-1)/n] \sum_{j=1}^s [f_j^2 f_j - r_{1(1)}^2/n] \quad (21)$$

其中, f_j 为包含 j 个“单一”种的样方数, 其它意义同上。

二阶刀切估计量为

$$J_n^2(S) = s' + [r_{1(1)}(2n-3)]/n - [r_{1(2)}(n-2)^2]/[n(n-1)] \quad (22)$$

其中, $r_{1(2)}$ 为恰在两个样方中出现的种数, 其它意义同上。

自助估计量为

$$B(n)S = s' + \sum_{j=1}^s (1 - Y_{.j}/n)^n \quad (23)$$

其中, $Y_{.j}$ 为种 j 出现的样方数, 其它意义同上。

自助估计的方差为

$$\begin{aligned} \text{Var}\{B_{(n)}(S)\} &= \sum_{j=1}^s (1 - Y_{.j}/n)^n [1 - (1 - Y_{.j}/n)^n] \\ &+ \sum_{j \neq k} \sum [(Z_{jk}/n)^n - (1 - Y_{.j}/n)^n (1 - Y_{.k}/n)^n] \end{aligned} \quad (24)$$

其中, Z_{jk} 为种 j 和种 k 都不存在的样方数, 其它意义同上。

2 研究结果

2.1 贝叶斯方法的结果

由于 Mingoti 和 Meeden(1992)^[7]提出的经验贝叶斯估计方法需要总体面积单元的数量, 相当于需要知道抽样强度。由于本研究的样地设置是在保证样地同质且为矩形的情况下, 尽可能地大, 因此, 可以假定抽取的样地面积达到了整个群落面积的70%, 从而群落1、2、3、4、5的面积大致相当于86、114、143、60和114个5m×5m的样方, 在这个假定之下, 将用贝叶斯方法对5个群落及其各层的物种数目以及几个相关的参数(标准差、95%置信区间以及两个参数 α 和 β)进行估计, 结果列于表1。正如所期望的(见估计式(11)、(12)), 估计的物种数目都略大于样地中观察到的物种数目, 这一点是比较合理的。95%的置信区间都包含了样地中观察到的物种数目, 但由于估计的标准差相对较大, 致使95%置信区间也相对较长。尽管表面上估计的标准差随观察及估计的物种数目的增加而变大, 但其相对值却在变小, 因此, 从这一点上说该方法对丰富度较大的群落更有利。还有一点比较明显的就是绝大多数(19/20)情况下, 参数 α 和 β 都取最小的值(本文中为0和0.01), 只有样地1中的乔木层取了其它值, 这可能是其中各个种的空间分布明显不同于其它情况。

贝叶斯估计方法与抽样强度有直接的关系, 因此, 在假定群落3的总面积为143个5m×5m样方(即 $NTP=143$)的情况下, 从调查过的100个样方中再随机抽取5、10、15、...、95个样方, 每种情况都重复200~300次来考察样本大小对该方法估计行为的影响, 其结果列于表2。从表中可以看出, 用25个样方估计的物种数目的平均值已基本上与用100个样方时的估计值相当, 只不过用25个样方估计的标准差稍大了一些, 而估计的标准差正是随着样本大小和物种数目的增加而减小的。从表中还可以看出, 观察的标准差也随样本大小的增加而减小, 而且减小的幅度相当大, 这可能是各样本之间重复的样方数随样本大小的增加而增加的缘故。还有一个明显的特点就是两个参数 α 和 β 只有在样本大小为5和10时才取较大的值, 而其它情况下都取最小的值0和0.01。

如果取总面积为100个样方, 则上述过程就可以用来估计整个样地的物种数目, 这样就可以将样本大小对该方法估计行为的影响作一客观的评价(见表3)。从表中可以看出, 样本大小从35到95估计的物种数目相差不到1, 与整个样地观察的物种数目(90)基本相等, 25个样方时估计的物种数目已达到89, 已经非常接近该样地的物种数目, 只不过随着样本大小的增加, 估计的标准差在减小, 因此, 估计的精度在提高。当用10个样方时尽管物种数目的点估计值还偏低, 并且标准差也较大, 但估计的95%置信区间已经覆盖了整个样地的物种数目。总的来看, 用25个样方即25%的抽样强度, 即可达到比较好的估计效果。参数 α 和 β 的取值与表2的结果类似。

表1 用贝叶斯方法对5个群落及其各层的物种数目及相关参数的估计

Table 1 The estimated species numbers and related parameters for the 5 communities and 3 layers of each of the 5 communities with empirical Bayes method

层或群落 Layer or community	物种数 Number of species <i>NS</i>	标准差 Standard deviation <i>SD</i>	置信区间 Confidence interval		参 数 Parameter	
			<i>CIL</i>	<i>CIU</i>	α	β
群落 1 <i>NP</i> =60	Community 1 <i>NTP</i> =86					
TR	16.2368	4.0477	8.3033	24.1703	5.0980	8.8247
SB	12.7130	3.6878	5.4849	19.9411	0.0000	0.0100
HB	48.8520	7.2291	34.6830	63.0210	0.0000	0.0100
CM	79.0605	9.1965	61.0354	97.0857	0.0000	0.0100
群落2 <i>NP</i> =80	Community 2 <i>NTP</i> =114					
TR	19.5483	4.5843	10.5630	28.5335	0.0000	0.0100
SB	14.8202	3.9916	6.9967	22.6437	0.0000	0.0100
HB	46.1096	7.0239	32.3428	59.8764	0.0000	0.0100
CM	80.3288	9.2708	62.1580	98.4996	0.0000	0.0100
群落3 <i>NP</i> =100	Community 3 <i>NTP</i> =143					
TR	21.1336	4.7619	11.8003	30.4668	0.0000	0.0100
SB	20.7112	4.7140	11.4717	29.9507	0.0000	0.0100
HB	53.5589	7.5952	38.6724	68.4454	0.0000	0.0100
CM	95.3339	10.1138	75.5109	115.1569	0.0000	0.0100
群落4 <i>NP</i> =42	Community 4 <i>NTP</i> =60					
TR	11.7034	3.5286	4.7874	18.6194	0.0000	0.0100
SB	13.3517	3.7689	5.9647	20.7387	0.0000	0.0100
HB	81.6273	9.3188	63.3625	99.8922	0.0000	0.0100
CM	106.6824	10.6534	85.8017	127.5631	0.0000	0.0100
群落5 <i>NP</i> =80	Community 5 <i>NTP</i> =114					
TR	15.8202	4.1241	7.7370	23.9034	0.0000	0.0100
SB	21.1096	4.7525	11.7947	30.4245	0.0000	0.0100
HB	54.4612	7.6335	39.4995	69.4229	0.0000	0.0100
CM	91.3288	9.8852	71.9538	110.7038	0.0000	0.0100

注: *NP*——样本大小; *NTP*——面积单元(5 m×5 m)总数; TR——乔木层; SB——灌木层; HB——草本层; CM——群落; *CIL*——置信区下限; *CIU*——置信区间上限。

Note: *NP*——sample size; *NTP*——total number of area units (5m×5m); TR——tree layer; SB——shrub layer; HB——herb layer; CM——community; *CIL*——lower limit of confidence interval; *CIU*——upper limit of confidence interval.

从理论上说,参数 α 和 β 的取值直接影响到物种数目的点估计及其方差的估计。为了解这种影响的程度,分别取 $\alpha=0, 0.01, 0.1, 0.5, 1, 2, \dots, 9, 10, 15, 20$ 和 $\beta=0.01, 0.1, 0.5, 1, 2, \dots, 9, 10, 15, 20$, 样本大小分

表2 样本大小对用贝叶斯方法对群落3($NTP=143$)的物种数目及相关参数估计的影响
Table 2 The effect of sample size on the estimation of species number and related parameters for community 3 ($NTP=143$) with the empirical Bayes method

NP	NSO	NS	SD	SDO	CIL	CIU	α	$SDO(\alpha)$	β	$SDO(\beta)$
$MN=300$										
5	42	73.3779	14.0975	21.4731	45.7469	101.0090	0.6471	0.8569	1.4197	1.1026
10	52	86.5377	16.6147	13.8749	53.9728	119.1026	0.0608	0.1812	0.1798	0.4101
15	57	90.0046	16.0264	10.6682	58.5929	121.4163	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
20	62	93.0817	15.2620	9.8249	63.1681	122.9953	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
25	66	94.8003	14.5672	8.9253	66.2486	123.3520	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
30	68	94.9500	13.8932	8.0530	67.7195	122.1806	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
35	71	95.3563	13.3475	7.2256	69.1952	121.5174	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
40	73	96.1293	12.9088	6.8966	70.8281	121.4305	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
45	75	95.8857	12.4674	6.9596	71.4496	120.3218	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
50	77	96.6024	12.1459	5.8014	72.7965	120.4083	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
$MN=200$										
55	79	96.7029	11.8289	4.9423	73.5183	119.8876	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
60	81	96.9147	11.5553	5.1912	74.2663	119.5631	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
65	82	97.0158	11.3098	4.4891	74.8487	119.1830	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
70	84	96.6319	11.0651	3.8686	74.9443	118.3194	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
75	85	97.1733	10.8981	3.7779	75.8130	118.5336	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
80	86	96.5934	10.6916	3.0655	75.6379	117.5488	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
85	87	96.0376	10.5073	2.6600	75.4434	116.6318	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
90	88	95.8024	10.3597	1.7792	75.4974	116.1074	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
95	89	95.6755	10.2347	1.1954	75.6155	115.7355	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
$MN=1$										
100	90	95.3339	10.1138		75.5109	115.1569	0.0000		0.0100	

注: MN ——抽样次数; NSO ——观察的物种数目; NS ——估计的物种数目; SDO ——观察的标准差; SD ——估计的标准差;其它符号意义同上表。

Note: MN ——sampling times; NSO ——observed number of species; NS ——estimated number of species;

SDO ——observed standard deviation; SD ——estimated standard deviation;

Others are same with the previous table.

别取5,10,20,30,50,90,95,总体面积单元数取100,对样地3的物种数目进行估计,对每种组合都重复进行10~300次,部分平均结果列于表4。从中可以看出,随着样本大小的增加, α 和 β 的取值对物种数目估计的影响越来越小;固定样本大小和 β ,则估计的物种数目随 α 的增加而减小;固定样本大小和 α ,则估计的物种数目随 β 的增加而增加;并且当 α 大到一定程度时, β 的影响就变得很小。从中还可以看出,只要样本大小不小于20,取 $\alpha=0$ 时,不论 β 取 $(0,20]$ 中的任何值,该方法都可以给出该样地物种数目较好的估计。总地来说, α 比 β 更敏感。标准差也有类似的变化规律。

2.2 刀切法和自助法的结果

用刀切法和自助法对5个样地以及各层的物种数目及相关参数的估计结果列于表5。从表中可以看出,

表3 用贝叶斯方法估计时样本大小对样地3($NTP=100$)的物种数目及相关参数估计的影响Table 3 The effect of sample size on the estimation of species number and related parameters of plot 3 ($NTP=100$) with empirical Bayes method

NP	NSO	NS	SD	SDO	CIL	CIU	α	$SDO(\alpha)$	β	$SDO(\beta)$
$MN=300$										
5	42	69.8080	12.9116	18.9285	44.5013	95.1148	0.7327	1.1520	1.4798	1.1147
10	52	82.0667	14.9348	12.3366	52.7945	111.3390	0.0608	0.1812	0.1798	0.4101
15	57	85.5683	14.2555	9.8952	57.6275	113.5091	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
20	62	87.4613	13.4250	8.8615	61.1482	113.7744	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
25	66	88.9559	12.7605	7.8345	63.9453	113.9665	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
30	68	89.0008	12.1377	6.9722	65.2110	112.7906	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
35	71	89.3280	11.6463	6.1616	66.5013	112.1547	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
40	73	89.9086	11.2554	5.8953	67.8480	111.9692	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
45	75	89.6557	10.8808	5.8535	68.3294	110.9821	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
50	77	90.2410	10.6156	4.7860	69.4344	111.0476	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
$MN=200$										
55	79	90.3299	10.3671	4.0438	70.0104	110.6494	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
60	81	90.4701	10.1609	4.2283	70.5547	110.3854	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
65	82	90.5876	9.9898	3.5799	71.0076	110.1676	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
70	84	90.3152	9.8285	2.9162	71.0512	109.5791	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
75	85	90.8133	9.7364	2.7897	71.7300	109.8967	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
80	86	90.4180	9.6218	2.2629	71.5593	109.2767	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
85	87	90.0492	9.5317	2.0304	71.3671	108.7313	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
90	88	89.9931	9.4796	1.2560	71.4130	108.5731	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000
95	89	90.1135	9.4563	0.8845	71.5790	108.6479	0.0000	0.0000	0.0100	0.0000

注:符号意义同前表。Note: The meaning of the symbols is same with those in the previous tables.

用一、二阶刀切法和自助法估计的物种数目都大于观察的物种数目,从估计式(20)、(22)、(23)也可以看出这一点,这是比较合理的。还有一个规律就是用这三种方法估计的物种数目有这样的关系,即 $JACK2 > JACK1 > BOOT$ 。同时,用自助法估计的标准差小于一阶刀切法估计的标准差,从而其置信区间也就较短。

又以样地3为例,研究了样本大小对刀切法和自助法估计行为的影响,结果列于表6。该样地共有100个小样方。因此,根据大小小于100个样方的样本所作的估计都可认为是对样地物种数目的估计。从表6中可以看出,随着样本大小的增加,估计的物种数目也在增加,从200~300次抽样的平均结果看,二阶刀切估计只需20~25个样方即可估计到整个样地的物种数目,一阶刀切估计则需35~40个样方,而自助法却需要60~65个样方,但从观察的标准差($SDOJK1$, $SDOJK2$ 和 $SDOBT$)来看,自助法的估计精度比较高(即标准差小),一阶刀切估计次之,二阶刀切估计最差;而理论标准差也是刀切法高于自助法,但对于各种样本大小,两种方法估计的标准差都比较稳定。从表中还可以看出,随着样本大小的增加,观察的标准差有减小的趋势,尤其是当样本大小超过75以后;而在样本大小比较小(5~20个样方)时,并没有这种趋势。因此,上述趋势可能是一种假象,因为当样本大小比较小时(5~20),各样本之间样方重复的比例很小,各样本之间接近

表4 参数 α 和 β 的不同取值对贝叶斯方法估计行为的影响(以样地3为例)
Table 4 The effect of parameters α and β on the estimation of species number with empirical Bayes method (taking plot 3 as an example)

β	α							
	0.00	0.01	0.10	0.50	1.00	5.00	10.00	20.00
NP=5 MN=300								
0.01	79.0754	78.5053	73.8879	61.0482	53.8222	44.9811	43.8022	43.2128
0.10	79.6673	79.0916	74.4251	61.4146	54.0632	45.0341	43.8288	43.2261
0.50	82.2350	81.6357	76.7628	63.0247	55.1293	45.2693	43.9463	43.2848
1.00	85.3128	84.6865	79.5794	64.9965	56.4501	45.5633	44.0933	43.3583
5.00	106.0595	105.2930	98.9292	79.3954	66.5634	47.9153	45.2693	43.9463
10.00	125.8317	124.9844	117.8598	94.7625	78.1706	50.8547	46.7393	44.6813
15.00	141.4986	140.6172	133.1427	107.9928	88.7686	53.7928	48.2094	45.4163
20.00	154.4311	153.5395	145.9252	119.5855	98.4834	56.7279	49.6793	46.1513
NP=10 MN=100								
0.01	84.9312	84.5499	81.3806	71.5865	65.0806	55.4826	54.1113	53.4257
0.10	85.1350	84.7528	81.5740	71.7388	65.1927	55.5100	54.1250	53.4325
0.50	86.0271	85.6406	82.4220	72.4099	65.6884	55.6317	54.1859	53.4629
1.00	87.1130	86.7210	83.4565	73.2355	66.3024	55.7839	54.2620	53.5010
5.00	94.8200	94.4011	90.8736	79.3633	71.0040	57.0013	54.8708	54.1605
10.00	102.6352	102.2014	98.5168	86.0404	76.4002	58.5219	55.6318	54.1859
15.00	109.0602	108.6228	104.8829	91.8665	81.3271	60.0408	56.3928	54.5664
20.00	114.4838	114.0481	110.3109	97.0157	85.8435	61.5567	57.1538	54.9469
NP=20 MN=10								
0.01	85.9641	85.7772	84.1821	78.7073	74.3768	65.9932	64.5972	63.8986
0.10	86.0200	85.8328	84.2374	78.7579	74.4196	66.0064	64.6038	63.9019
0.50	86.2658	86.0784	84.4811	78.9814	74.6089	66.0650	64.6333	63.9166
1.00	86.5677	86.3799	84.7807	79.2571	74.8436	66.1384	64.6700	63.9350
5.00	88.7859	88.5978	86.9931	81.3306	76.6400	66.7244	64.9640	64.0820
10.00	91.1544	90.9692	89.3758	83.6346	78.7018	67.4549	65.3315	64.2657
15.00	93.1776	92.9962	91.4269	85.6756	80.5843	68.1822	65.6990	64.4495
20.00	94.9319	94.7542	93.2169	87.4994	82.3100	68.9053	66.0664	65.1110
NP=30 MN=10								
0.01	87.0288	86.9079	85.8657	82.0570	78.7031	70.6200	69.0149	68.4766
0.10	87.0550	86.9345	85.8923	82.0837	78.7280	70.6299	69.0199	68.4799
0.50	87.1705	87.0501	86.0098	82.2017	78.8380	70.6739	69.0421	68.4948
1.00	87.3129	87.1930	86.1546	82.3476	78.9743	70.7288	69.0700	68.5133
5.00	88.3745	88.2570	87.2376	83.4507	80.0176	71.1667	69.2926	68.6618
10.00	89.5355	89.4212	88.4286	84.6888	81.2155	71.7099	69.5708	68.8473
15.00	90.5479	90.4373	89.4724	85.7952	82.3090	72.2457	69.8490	69.0329
20.00	91.4397	91.3322	90.3961	86.7906	83.3114	72.7787	70.1270	69.2184
NP=50 MN=300								
0.01	90.1628	90.1189	89.7349	88.3138	86.6711	81.2636	79.6198	78.7412
0.10	90.1693	90.1255	89.7417	88.2215	86.6794	81.2692	79.6230	78.7428
0.50	90.1979	90.1545	89.7717	88.2556	86.7158	81.2947	79.6373	78.7500
1.00	90.2334	90.1901	89.8089	88.2979	86.7611	81.3265	79.6551	78.7590
5.00	90.5007	90.4593	90.0903	88.6191	87.1069	81.5772	79.7975	78.8309
10.00	90.8009	90.7610	90.4064	88.9837	87.5038	81.8829	79.9749	79.2741
15.00	91.0680	91.0290	90.6888	89.3129	87.8663	82.1795	80.1512	79.3937
20.00	91.3079	91.2703	90.9429	89.6115	88.1985	82.4674	80.3267	79.5132
NP=90 MN=10								
0.01	89.8073	89.8064	89.7974	89.7586	89.7119	89.3996	89.1229	88.9287
0.10	89.8074	89.8063	89.7975	89.7587	89.7121	89.4000	89.1234	88.9292
0.50	89.8078	89.8068	89.7980	89.7594	89.7129	89.4017	89.1256	88.9315
1.00	89.8083	89.8073	89.7985	89.7601	89.7139	89.4039	89.1284	88.9343
5.00	89.8124	89.8115	89.8030	89.7660	89.7214	89.4304	89.1495	88.9565
10.00	89.8171	89.8162	89.8081	89.7727	89.7300	89.4396	89.1745	88.9830
15.00	89.8213	89.8203	89.8127	89.7788	89.7379	89.4574	89.1980	89.0082
20.00	89.8252	89.8244	89.8169	89.7844	89.7451	89.4739	89.2200	89.0321
NP=95 MN=10								
0.01	90.0162	90.0160	90.0137	90.0038	89.9916	89.9038	89.8139	89.7412
0.10	90.0163	90.0160	90.0137	90.0038	89.9916	89.9039	89.8141	89.7414
0.50	90.0164	90.0161	90.0139	90.0040	89.9918	89.9044	89.8149	89.7423
1.00	90.0165	90.0162	90.0140	90.0041	89.9921	89.9050	89.8158	89.7434
5.00	90.0175	90.0172	90.0151	90.0056	89.9940	89.9098	89.8229	89.7519
10.00	90.0186	90.0184	90.0163	90.0073	89.9962	89.9153	89.8311	89.7618
15.00	90.0197	90.0195	90.0175	90.0088	89.9982	89.9204	89.8388	89.7711
20.00	90.0206	90.0204	90.0185	90.0102	90.0000	89.9251	89.8459	89.7798

注:符号意义同前表。 Note: The meaning of the symbols is same with those in the previous tables.

表5 观察的物种数目与刀切法和自助法估计的物种数目及相关的参数

Table 5 The observed and estimated numbers of species for the 5 plots and 3 layers for each plot and related statistics with jackknife and bootstrap methods

群落或层 Community or layer		一阶刀切估计 1st-order jackknife					二阶刀切估计 2nd-order jackknife		自助估计 Bootstrap		
		NS	SD	CIL	CIU	NS	NS	SD	CIL	CIU	
群落1 Community 1											
TR	15	21.8833	2.8367	16.2099	27.5568	25.7992	17.9465	1.5035	14.9395	20.9536	
SB	12	13.9667	1.3788	11.2091	16.7243	15.9000	12.7834	0.7126	11.3581	14.2087	
HB	46	53.8667	2.9639	47.9390	59.7944	59.6994	49.3318	1.6081	46.1157	52.5480	
CM	73	89.7167	4.2285	81.2597	98.1737	101.3986	80.0618	2.3583	75.3452	84.7783	
群落2 Community 2											
TR	17	23.9114	2.5098	18.8918	28.9310	29.7720	19.7073	1.3684	16.9704	22.4442	
SB	13	17.9367	2.5688	12.7990	23.0744	22.8101	14.8774	1.2777	12.3220	17.4328	
HB	44	49.9250	2.7305	44.4640	55.3860	49.9991	47.1917	1.7224	43.7470	50.6364	
CM	74	91.7750	4.6557	82.4636	101.0864	102.5864	81.7768	2.7368	76.3033	87.2503	
群落3 Community 3											
TR	19	24.9400	2.3630	20.2141	29.6659	29.8499	21.4012	1.3055	18.7902	24.0123	
SB	20	21.9800	1.3930	19.1940	24.7660	20.0596	21.4073	1.0145	19.3783	23.4363	
HB	51	57.9293	3.2247	51.4798	64.3788	56.0597	54.8895	2.0179	50.8536	58.9253	
CM	90	104.8500	4.4218	96.0064	113.6936	105.9686	97.6947	1.9313	93.8321	101.5572	
群落4 Community 4											
TR	11	12.9524	1.3636	10.2252	15.6796	12.0697	12.1730	0.8967	10.3796	13.9664	
SB	13	13.9762	0.9762	12.0238	15.9286	13.0703	13.6823	0.7429	12.1965	15.1680	
HB	76	91.6190	4.1807	83.2576	99.9805	97.5656	86.3572	2.8347	77.6878	89.0266	
CM	100	118.5476	4.2387	110.0702	127.0250	122.7056	109.2125	3.1158	102.9809	115.4441	
群落5 Community 5											
TR	14	18.9367	2.1504	14.6359	23.2375	22.8479	16.0288	1.1316	13.7656	18.2919	
SB	19	24.9250	2.7305	19.4640	30.3860	30.7750	21.2075	1.3603	18.4869	23.9280	
HB	52	58.9125	2.5115	53.8895	63.9355	58.9989	55.6524	1.6271	52.3982	58.9066	
CM	85	102.7750	4.4385	93.8979	111.6521	112.6237	92.8889	2.6049	87.6791	98.0987	

注:符号意义同前表。Note: The meaning of the symbols is same with those in the previous tables.

独立;而当样本大小比较大(>75)时,各样本之间样方重复的比例很大,各样本之间已不再独立,因此出现上述趋势,从而小样本时的(观察)标准差应该能够反映本质问题,据此可以推断两种方法估计的理论标准差都偏低,而刀切法最为明显。

2.3 种-面积曲线的外推

通过外推估计群落的物种数目也是种-面积曲线的用途之一,这种方法有赖于对群落面积的估计,即也需要知道关于抽样强度(即样本占总体的比例)的信息。仍按照2.1节中的假定,即各群落的抽样强度均为70%,则得到利用10条种-面积曲线对5个群落及其各层的物种数目的估计(见表7)。从表中可以看出,4条

表6 样本大小对用刀切法和自助法对群落3的物种数目及其相关参数估计的影响
Table 6 The effect of sample size on the estimation of species number and related parameters
for community 3 with jackknife and bootstrap methods

NP	NSO	一阶刀切估计 1st-order jackknife			二阶刀切估计 2nd-order jackknife		自助估计 Bootstrap		
		NS	SDO	SD	NS	SDO	NS	SDO	SD
MN=300									
5	42	54.3267	6.4758	3.8164	59.0037	8.7606	48.1458	4.9251	4.0230
10	52	65.4803	70.1854	4.2551	72.5592	9.8957	58.2506	5.4168	3.3459
15	58	71.7565	6.7142	4.3796	79.8090	9.6590	63.8918	5.0325	3.1180
20	62	77.8075	6.6048	4.5236	86.7625	9.7588	69.2055	5.1300	3.1279
25	66	82.4223	6.6361	4.6013	91.7444	9.7538	73.3643	4.9539	3.1112
30	69	85.4257	6.3369	4.5787	94.8262	9.6882	76.2186	4.6789	3.0581
35	72	88.3331	5.9896	4.6122	97.3807	9.5528	79.0732	4.3100	3.0505
40	74	91.2260	6.1051	4.6051	100.5787	9.2330	81.6649	4.5182	3.0163
45	76	93.0425	6.4510	4.5441	101.9878	10.1143	83.5158	4.6200	2.9626
50	78	95.5853	5.6360	4.5724	104.6600	9.2256	85.8684	3.9625	2.9670
MN=200									
55	80	97.3914	5.0431	4.5922	105.8666	8.5297	87.7370	3.5270	2.9620
60	81	99.1859	5.5447	4.6109	107.6002	9.2193	89.4470	3.8872	2.9342
65	83	100.7254	5.0445	4.5990	108.5999	8.5585	91.0791	3.4483	2.9001
70	84	101.5901	4.6683	4.5479	108.8969	8.9831	92.1932	2.8523	2.8740
75	86	103.3958	4.7944	4.5790	110.1754	9.2198	94.0040	2.8995	2.8740
80	87	103.7524	4.0732	4.5332	109.5940	7.4983	94.7572	2.5407	2.8404
85	87	103.9966	3.6170	4.4756	108.8143	6.8697	95.3995	2.3390	2.8002
90	88	104.4533	2.7236	4.4296	108.1280	5.7679	96.2752	1.5775	2.7941
95	89	104.8003	1.8354	4.3531	107.0456	3.7153	97.1653	1.1410	2.6721
MN=1									
100	90	104.8500		4.4218	105.9686		97.6947		1.9313

注:符号意义同前表。Note: The meaning of the symbols is same with those in the previous tables.

饱和曲线7、8、9、10估计的群落物种数目大多数情况下都低于相应样地中观察到的物种数目,其它6条曲线在这一点上比它们要好得多,但由曲线1得到的估计值有些偏大。由于曲线1和10的拟和效果最差,从而其对物种数目的估计结果也就不会太好。然而曲线9的拟和效果是比较好的,但其对物种数目的估计并不好;曲线7和8的拟和效果本来就不好,其估计结果也比较差;曲线2、3、4、5、6的拟和结果和估计结果都比较好。在这5条曲线对物种数目的估计结果中,一般情况下,曲线6得到的估计值最大,3和4次之,2和5最小。

又用4条饱和曲线7、8、9、10估计了5个群落及其各层最大的物种数目,结果列于表8。从中可以看出,与表7相比,这里的结果虽然有所改善,但大多数情况下,估计值还是偏低。相对来说,曲线7的结果较为合理。

表7 用10条种-面积曲线对5个群落及其各层估计的物种数目
Table 7 The estimated species numbers of the 5 communities and 3 layers
of each community with 10 species-area curves

层或群落 Layer or community	种-面积曲线					Species-area curve				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
群落1 Community 1										
TR	22.8842	16.4854	18.9613	16.0005	18.1916	19.5352	17.3556	15.9469	17.5864	16.3085
SB	13.7366	12.4748	12.0460	14.0788	12.4675	13.6090	11.5489	11.1133	11.1501	11.0762
HB	58.3788	48.6463	48.2877	52.8665	48.7267	50.5847	44.6935	44.6603	45.3230	42.3464
CM	94.9996	77.6064	78.8720	82.9458	77.9973	81.6411	71.8989	71.4014	72.8747	67.9321
群落2 Community 2										
TR	21.9853	17.0727	18.3886	17.5966	17.3941	18.5556	16.1927	16.9449	17.6826	15.3210
SB	17.1491	13.7263	13.9524	14.0735	13.8910	14.6478	12.8379	12.2326	12.5543	11.9967
HB	58.4417	48.2903	47.7147	49.9077	48.5181	50.6048	44.5789	41.8678	42.5298	41.7588
CM	97.5671	79.0895	79.3915	81.5782	79.7530	83.7428	73.4697	70.2946	71.5746	68.8346
群落3 Community 3										
TR	22.6034	18.2033	19.2356	19.3485	18.3094	19.2312	16.8989	17.8907	18.4016	16.0637
SB	26.4396	21.9819	22.1190	23.2916	22.0631	22.9253	20.3400	19.9781	20.2634	19.2838
HB	63.7789	53.4178	53.1401	56.7150	53.5405	55.5070	49.2652	48.1928	48.7847	46.7655
CM	112.8219	93.6025	94.3354	99.3451	93.9097	97.6374	86.4886	85.5633	86.8352	82.0675
群落4 Community 4										
TR	15.5851	11.6028	13.0426	11.8245	12.1329	13.1959	11.5684	12.7365	13.7672	11.1094
SB	18.9485	15.4143	15.2147	15.7002	15.5772	16.3722	14.3924	13.0399	13.3407	13.3368
HB	103.8743	81.6241	85.5540	84.8353	83.2116	88.5222	77.4790	75.1906	78.0657	72.5535
CM	138.4078	108.6413	113.1381	112.3600	110.8437	117.9596	103.1903	99.4017	103.0805	96.5514
群落5 Community 5										
TR	17.5214	13.6615	14.0668	13.6441	13.9714	14.8623	12.9492	11.9597	12.4785	12.0193
SB	24.2338	18.4924	20.1100	18.9494	18.8495	20.3005	17.5431	21.0498	21.7690	16.6253
HB	68.0756	55.1406	56.7308	58.0941	55.4811	58.2589	51.1031	51.8450	52.8307	48.2404
CM	109.8194	87.2944	91.2769	90.6880	88.1921	93.2717	81.4769	83.2088	85.2358	76.6697

注:符号意义同前表。Note: The meaning of the symbols is same with those in the previous tables.

2.4 3种方法的比较

从表3可以看出,当抽取35个样方以后,贝叶斯方法就基本上可以估计到样地中观察到的总物种数,且随着样本大小的增加,标准差在减小,亦即精度在提高,表明该方法的可靠性还是比较大的。因此,只要“整个群落的抽样强度为70%”这个假定是正确的话,那么,据此对整个群落的物种数目的估计值也应该是比较可信的。由表2可知,对群落3估计的物种数目为95.33。以此为基准,再与表6的结果相比较,可以看出,非参数方法(刀切法和自助法)的估计结果都偏高;相比之下,自助法的估计结果(97.69)与贝叶斯方法的估计值更接近。实际上,在表6中,当样本大小 <100 时,都可以看作是对样地的估计,因为所有样方都在样地

之内,合理的估计结果不应该超过该样地的观察物种数(90)。然而,当样本大小为25时,二阶刀切估计的300次平均结果已达到91.74;当样本大小为40时,一阶刀切估计的300次平均结果也达到了91.23;当样本大小为65时,自助法的200次平均估计值也达到91.08。随着样本大小的增加,估计值变得越来越大,因此,它们的估计结果都是偏高的。但可以从中推出一个近似的结果,即当抽样强度分别稍低于25%、40%和65%时,二阶、一阶刀切估计和自助估计的结果与样地的观察值是吻合的。整个群落3($NTP=143$)对应于这些抽样强度的样本大小分别为35、55和90左右。从表6可以看出,对应的3个估计值分别为97.97和96左右,这3个值与贝叶斯估计的95.33比较接近。再来看表7,用5条曲线2、3、4、5、6得出的估计值分别为93.6、94.34、99.35、93.91、97.64,与上述结果也比较接近。从表1、表5、表7也可以看出,贝叶斯方法(在样地面积占整个群落面积70%这个假设正确的情况下),自助法、种-面积曲线2、3、4、5、6外推方法对5个群落及其各层物种数目的估计都比较接近,刀切法的估计结果偏高(其中以二阶刀切估计最高),种-面积曲线1的外推结果也偏高,而种-面积曲线7、8、9、10的外推结果则偏低;在个别情况下种-面积曲线2、3、4、5的外推结果也偏低;当抽取的样方数比较少时,自助法的估计值则偏低,刀切法则给出较好的估计。

表8 用4条种-面积曲线7、8、9、10对5个群落及其各层估计的物种数目

Table 8 The species numbers of the 5 communities and 3 layers in each of the 5 communities estimated with 4 saturated species-area curves 7, 8, 9 and 10

层或群落 Layer or community	种-面积曲线 Species-area curve				层或群落 Layer or community	种-面积曲线 Species-area curve			
	7	8	9	10		7	8	9	10
群落1 Community 1					HB	51.4838	48.1953	48.8160	46.7655
TR	22.2081	15.9933	18.9505	16.6100	CM	90.5059	85.5800	86.9808	82.0676
SB	11.8704	11.1133	11.1501	11.0762	群落4 Community 4				
HB	46.6960	44.6788	45.4405	42.3464	TR	13.6465	13.2660	19.0545	11.2010
CM	76.1595	71.4459	73.2096	67.9330	SB	16.0211	13.0399	13.3466	13.3426
群落2 Community 2					HB	86.1950	75.2941	79.1447	72.6027
TR	17.6320	17.0945	18.6004	15.3260	CM	115.2799	99.5107	104.3129	96.6294
SB	13.8957	12.2342	12.5849	11.9977	群落5 Community 5				
HB	47.5979	41.8679	42.5384	41.7596	TR	14.3944	11.9605	12.5224	12.0249
CM	78.8716	70.3009	71.6698	68.8374	SB	19.1895	22.7951	30.1776	16.6334
群落3 Community 3					HB	54.1309	51.9381	53.2876	48.2410
TR	17.7218	18.0013	18.9130	16.0638	CM	87.3541	83.4926	86.6406	76.6740
SB	21.3295	19.9805	20.2879	19.2838					

注:符号意义同前表。Note: The meaning of the symbols is same with those in the previous tables.

3 讨论

正如 Mingoti 和 Meeden(1992)^[7]指出的,由于利用了抽样强度的信息,用经验贝叶斯估计方法得出的结果明显地比较合理,同时与优于刀切法和自助法,但其结果也强烈地依赖于抽样强度这个总体面积有关的信息,本文的结果也证实了这一点(见表2和表3)。非参数方法(刀切法和自助法)的缺点是其估计值总不会超过2NSO(其中 NSO 为观察到的物种数目),因此,只有当 NSO 充分大或者稀有种与总种数相比不是很大的情况下,这些方法才会有好的估计结果^[1]。因此,这就要求要有一定数量的样本,即抽样强度要达到一定的数值。本研究还发现,抽样强度也不能太大,当样本超过一定数量以后,这些非参数方法又会过高地

估计物种数目。但在一定的抽样强度下,一阶、二阶刀切估计和自助估计也能给出比较合理的结果,并且它们估计的标准差一般都比贝叶斯方法的小。利用种-面积曲线估计的结果强烈地依赖于选择的模型。模型不同,其估计结果也不同。从研究的结果看,曲线2、3、3.5、6估计的结果是比较合理的,直线1的估计值比较大,而饱和曲线7、8、9、10的估计值又偏小。这说明种-面积曲线的斜率是在逐渐变小而不会象直线那样斜率一直不变,更不会象 $\ln(S) = aA + b$, 即 $S = ce^{aA}$ 那样,斜率逐渐变大,也不会象饱和曲线那样,斜率很快变得很小。有时,曲线2、3、4、5的结果也偏低。Palmer (1990)^[4] 甚至认为应该避免用种-面积曲线进行外推。用种-面积曲线估计物种数目的失败意味着种-面积曲线在不同的尺度上有不同的形式。事实上,Williams 在1964年就认为种-面积曲线在不同的尺度上是根本不同的。但用种-面积曲线进行内插还是有效的^[4]。同时,样方大小(另一种尺度概念)也会对上述估计方法产生一定的影响,这个问题另文讨论。

尽管上述方法在估计群落物种数目时还存在一定的问题,但它们的优点还是很明显的,即它们都只需存在-不存在数据。虽然当抽取的样方数很少或者稀有种很多时,基于种-多度分布的方法更有用^[1],但由于多度数据搜集的困难性以及分布参数拟合的复杂性,使这种方法难以推广使用。从而,基于存在-不存在数据的物种数目估计方法还是更具吸引力。

4 结论

从本研究中可以得出如下结论:

(1) 只要抽样强度不是很小,经验贝叶斯方法就能给出群落物种数目很好的估计,但与非参数方法相比,其估计的标准差较大;参数 α 和 β 的灵敏度分析表明, α 比 β 更敏感;只要样本大小不低于20,取 $\alpha = 0$, 则 β 取 (0, 20) 中的任何值都可以给出物种数目较好的估计;

(2) 在适当的抽样强度下,非参数方法也能给出群落物种数目很好的估计。如果抽样强度过低,则估计值也偏低;相反,如果抽样强度过高,则估计值也偏高。但在各种抽样强度下,非参数方法估计的标准差都比经验贝叶斯方法的小;

(3) 种-面积曲线2、3、4、5、6可以给出群落物种数目较好的估计,曲线1的估计值偏高,而曲线7、8、9、10的估计值则偏低;

(4) 经过几种方法的综合比较,可以对群落1、2、3、4、5的各层及整个群落的物种数目分别做出如下估计:乔木层16、19、21、12、16,灌木层13、15、21、14、21,草本层49、46、54、82、55,整个群落79、80、96、107、92。

参 考 文 献

- 1 Smith E P and van Belle G. Nonparametric estimation of species richness. *Biometrics*, 1984, **40**: 119~129
- 2 Sanders H L. Marine benthic diversity: a comparative study. *American Naturalist*, 1968, **102**: 243~282
- 3 Heck K L, van Belle G and Simberloff D. Explicit calculation of rarefaction diversity measurement and the determination of sufficient sample size. *Ecology*, 1975, **56**: 1459~1461
- 4 Palmer M W. The estimation of species richness by extrapolation. *Ecology*, 1990, **71**(3): 1195~1198
- 5 Bunge J and Fitzpatrick M. Estimating the number of species: a review. *Journal of the American Statistical Association*, 1993, **88**: 364~373
- 6 刘灿然, 马克平, 周文能, 张新生. 生物群落多样性的测度方法——刀切法和自助法在生物多样性测度研究中的应用. *生物多样性*, 1997, **5**(1): 61~66
- 7 Mingoti S A and Meeden G. Estimating the total number of distinct species using presence and absence data. *Biometrics*, 1992, **48**: 863~875
- 8 Heltshe J F and Forester N E. Estimating species richness using the jackknife procedure. *Biometrics*, 1983, **39**: 1~11