

304-311

3

第19卷第3期
1999年5月生态学 报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 19, No. 3
May, 1999

闽北森林群落物种多样性的可塑性 面积单元问题*

5718-54

朱锦懋

姜志林

(福建师范大学生物工程学院 福州 350007)

(南京林业大学森林资源与环境学院 南京 210037)

摘要 分析闽北森林群落物种多样性的可塑性面积单元问题(MAUP),结果表明,闽北森林群落物种多样性存在尺度效应和划区效应,其影响随着取样面积增大而减小。长期封禁保护的森林群落和近期受人为干扰的退化森林群落物种多样性受MAUP影响趋势相同。文中应用 Jackknifing 方法估计群落物种多样性的近似正态分布置信区间和划区效应。

关键词 可塑性面积单元问题,物种多样性,闽北, 森林群落 福建

THE MODIFIABLE AREAL UNIT PROBLEM OF SPECIES DIVERSITY IN THE FOREST COMMUNITY OF NORTHERN FUJIAN PROVINCE

ZHU Jin-Mao

JIANG Zhi-Lin

(Fujian Normal University, Fuzhou, 350007, China)

(Nanjing Forestry University, Nanjing, 210037, China)

Abstract The modifiable areal unit problem(MAUP)of species diversity in the forest community of northern Fujian Province was studied. The results show that there were scale effect and zoning effect for species diversity in the studied communities. The scale effect and zoning effect might decrease if the sample area was increased. The effects of MAUP upon degraded forest caused by human recently and conserved forest shew a same tendency with the sample area extended. Using Jackknifing method was able to estimate a normal distribution range of species diversity as well as the zoning effect range.

Key words modifiable areal unit problem, northern Fujian Province, species diversity.

群落物种组成结构的差异和空间格局的差异决定着群落的特征和性质。按某一种方法取样调查时,取样面积和取样方案常常对结果分析产生决定性的影响。人们往往注意了尺度问题(scale problem),如采用种-面积曲线或重要值-面积曲线确定取样空间尺度的下限,而对此外的其它空间因素影响研究不多。在连续的生态空间中同一尺度仍然有无穷多种划分方案,即划区多选择性(zoning alternatives)或划区问题(zoning problem)。尺度问题和划区问题统称为可塑性面积单元问题(modifiable areal unit problem, MAUP),成为地理学和生态学研究中的一个重要问题^[1~3]。Gehlke 等在统计学研究中最先注意到尺度效

* 福建省自然科学基金资助课题。

收稿日期:1997-01-16,修改稿收到日期:1997-06-27。

应^[4], Yule 等进一步阐述了尺度效应对统计结果的影响, 指出统计分析结果只对所采用的面积单元有效, 而在其它尺度上不一定有效^[5]。Fotheringham 等研究认为, 通过改变数据增聚方法, 统计分析结果可以发生剧烈变化, 并且这种变化具有不可预测性^[6]。后来的许多空间分析研究均表明尺度效应和划区效应影响空间分析结果^[7-9]。Jelinski 等在格局分析中明确指出, 某一特定尺度上的空间分析结果仅仅提供不完全的空间格局信息, 对于任何空间分析, 最好将分析结果与空间尺度相联系^[4]。笔者在分析闽北亚热带森林群落物种多样性时认识到 MAUP 对统计结果的影响。这种影响涉及群落种群空间格局, 在亚热带森林群落研究中是不可避免的, 关键在于如何估计其影响, 笔者对此进行了初步探讨。

1 研究地区概况

闽北地处中亚热带, 地带性植被是常绿阔叶林, 属闽浙赣山地丘陵常绿阔叶类、半常绿阔叶类常绿阔叶林区^[10]。调查样地分别设在建瓯万木林自然保护区和顺昌县元坑镇。万木林自然保护区常绿阔叶林原为乡绅杨家的“风水林”, 在长达近600a 的封禁保护下由杉木林演替而成常绿阔叶林^[11], 是1957年林业部划定的全国首批天然森林禁伐区之一, 樟科(Lauraceae)、壳斗科(Fagaceae)和山茶科(Theaceae)的一些种为建群种或优势种, 年龄达120~300a。保护区内胸径80cm 以上的古树多达580余株, 直径10cm 以上的木质藤本(藤黄檀 *Dalbergia hancei* Benth.、瓜馥木 *Fissistigma oldhamii* Merr.、飞龙掌血 *Toddalia asiatica* Lam. 等)攀缘缠绕在古树间, 数量较多, 成为保护区的一大景观。森林群落凋落物层3~5cm。在顺昌县元坑镇调查的森林为常绿阔叶次生林, 受人为干扰后自然演替时间在40a 以内, 壳斗科栲属(*Castanopsis*)的一些种和山茶科木荷(*Schima superba* Gardn. et Champ.)为主要建群种或优势种, 樟科种类不多。

建瓯万木林自然保护区和顺昌元坑镇均属武夷山脉东南坡低山丘陵地区。武夷山脉阻挡了冬季南侵寒流, 春夏季则抬升东南暖湿气流, 在闽北形成丰沛的降水, 调查地区的东南面为鹭峰山-戴云山-博平岭, 海拔低于武夷山; 东南暖湿气流沿闽江河谷而上仍然强烈影响这一地区, 因此调查地区水热资源十分丰富。万木林自然保护区位于 N27°03', E118°09', 建瓯市年平均气温18.7℃, 1月平均气温8℃, 7月平均气温28.5℃, 极端最低气温-7.3℃, 极端最高气温41.4℃, 年平均降水量1670mm; 元坑镇位于 N26°47', E117°45', 顺昌县年平均气温18.5℃, 1月平均气温7.8℃, 7月平均气温28.1℃, 极端最低气温-6.8℃, 极端最高气温40.3℃, 年平均降水量1685mm。两地均属亚热带季风气候。调查样地的海拔为200~500m, 母岩以花岗岩为主, 土壤为红壤或山地红壤, 土层60~100cm。

2 研究方法

2.1 群落调查方法

在万木林自然保护区核心区长期封禁保护的森林(conserved forest, CF), 按不同的建群种或优势种设立样地。样地面积为1600m², 由连续或基本连续的4个20×20m²的子样地组成, 每个子样地均匀地划分为16个5×5m²的相邻样方(见图1、图2), 调查记录每个样方内植物名称、个体数、植株高度、直径、层次、盖度和生活型。用同样方法在顺昌县元坑镇受人为干扰后经短期自然演替的常绿阔叶林退化森林(degraded forest, DF)群落设样地调查。

2.2 样地基本情况

调查样地概况见表1。表中可见 CF 和 DF 两组群落树种组成、年龄、平均胸径和高度等方面存在着一定的差异。

2.3 数据分析方法

2.3.1 物种多样性指数 群落物种多样性指数采用物种丰富度、Shannon-Wiener 指数及其均匀度^[12];

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i = - \sum_{i=1}^S (N_i/N) \ln(N_i/N)$$

$$V' = H' / \ln S$$

式中, H' 为 Shannon-Wiener 指数, V' 为均匀度, P_i 为样地中第 i 种植物出现的概率, N 为群落植物总个体, N_i 为第 i 种植物个体数, S 为群落植物种数, 即物种丰富度。 H' 的最小值为0, 最大值为 $\ln S$ 。因此, V' 为群落实测多样性指数与最大多样性指数的比率, 即相对多样性(relative diversity)。

表1 调查样地概况(1600m²)

Table 1 Basic status of plot

群落 Com.	样地 Plot	地点 Position	坡向 Slope direction	坡度 Slope	坡位 Slope position	海拔 (m) Altitude	年龄 (a) Age	高度 (m) High	优势种平均 胸径(cm) DBH	建群种或优势种* Edificator or dominant
CF	CF1	万木林	NW85°	15°	上坡	510	80~120	23	29.4	米槠、木荷
	CF2	万木林	SW45°	32°	中坡	340	80~120	25	31.1	罗浮栲、木荷
	CF3	万木林	NW68°	11°	中坡	420	90~150	28	42.2	观光木、木荷、南酸枣
	CF4	万木林	NE22°	26°	上坡	510	120~150	28	45.2	细柄蕈树、木荷、杜英
	CF5	万木林	SW42°	22°	上坡	420	120~150	26	36.4	浙江桂、木荷
	CF6	万木林	SW72°	21°	上坡	310	150~180	35	62.5	马尾松、木荷、米槠
DF	DF1	万木林	NW10°	27°	中坡	270	29	18	18.3	杉木
	DF2	元坑后富	SW24°	23°	上坡	530	30	21	20.6	栲树、鹿角栲、枫香
	DF3	元坑曲村	NE15°	32°	中坡	410	32	20	21.1	栲树、木荷
	DF4	元坑曲村	SW70°	29°	中坡	430	32	20	15.9	栲树、猴欢喜
	DF5	元坑曲村	SW60°	30°	中坡	430	32	21	19.6	栲树、鹿角栲
	DF6	元坑曲村	SW45°	32°	中坡	560	25	22	20.5	栲树、钩栲
	DF7	元坑漠武	NE34°	28°	上坡	450	25	19	22.4	马尾松
	DF8	元坑捷溪	NW16°	30°	中坡	270	22	22	23.8	栲树、罗浮栲、木荷

* 米槠(*Castanopsis carlesii*)、罗浮栲(*Castanopsis fabri*)、栲树(*Castanopsis fargesii*)、鹿角栲(*Castanopsis lamontii*)、钩栲(*Castanopsis tibetana*)、浙江桂(*Cinnamomum chekiangense*)、木荷(*Schima superba*)、观光木(*Tsoongiodendron odorum*)、南酸枣(*Choerospondias axillaris*)、细柄蕈树(*Altingia gracilipes*)、杜英(*Elaeocarpus decipiens*)、猴欢喜(*Sloanea sinensis*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)。

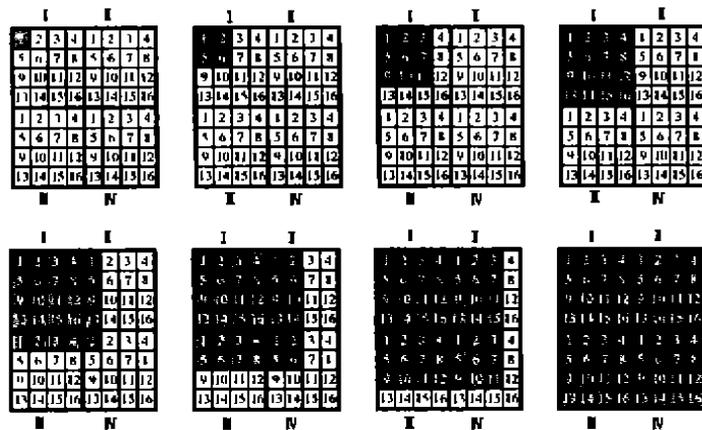


图1 样方扩散式增聚

Fig. 1 Extending aggregated quadrats

1、II、III、IV 为子样地编号, Numeral of subplot. 小方格及其中数字为样方及其编号, 阴影部分为取样面积(下图同)。 Square means quadrat and its numeral. The shade part shows sample area. (The same below).

2.3.2 数据增聚方式与划区方案 采用的数据增聚方式是按照相邻格子样方(25m²)逐渐扩散增聚(图

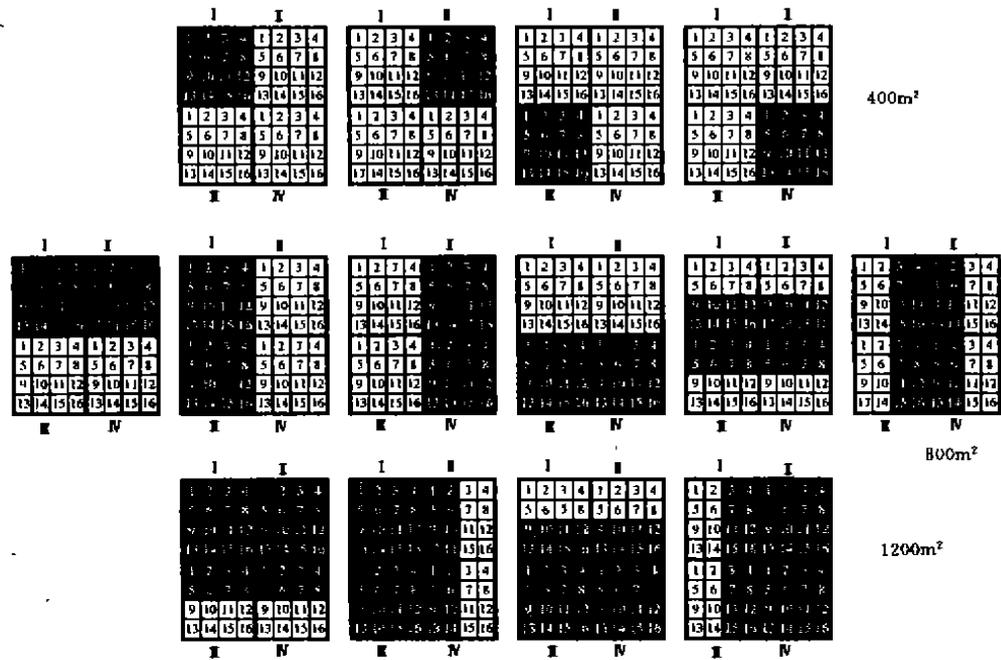


图2 采用的划区方案

Fig. 2 Selected zoning system

1), 增聚序列的样方数和统计面积分别为1(25m²)、4(100m²)、9(225m²)、16(400m²)、25(625m²)、36(900m²)、49(1225m²)和64(1600m²)。按增聚面积系列统计各群落物种丰富度和 Shannon-Wiener 指数。

将1600m²样地划分成由相邻样方组成的400m²正方形的划区方案有25种,同理,组成800m²长方形的划区方案有10种,组成1200m²长方形的划区方案有8种。从这些划区方案中选出400m²的4种、800m²的6种、1200m²的4种(见图2),分别计算不同划区方案的群落物种丰富度和 Shannon-Wiener 指数及其均值。

2.3.3 Jackknifing 法估计物种多样性及划区效应 Jackknifing 估计是一种非参数估计方法,其特点是可以减少偏性,并且给出近似的正态分布置信区间^[11,14]。本文以各个群落1600m²样地中的4个400m²子样地资料,按每次切去一个400m²子样地方法,对群落 Shannon-Wiener 指数作 Jackknifing 估计。设 H^0 为1600m²样地(4个400m²子样地组成)资料计算的 Shannon-Wiener 指数, H^i 为切去第 i 个子样地后剩余的1200m²(3个400m²子样地组成)样地资料计算的 Shannon-Wiener 指数, H_i 为切去第 i 个子样地后剩余的1200m²样地的 Shannon-Wiener 指数虚拟值,则根据 Jackknifing 法有下式:

$$H_i = nH^0 - (n-1)H^i$$

式中, $n=4$ (4个400m²子样地)。于是, Shannon-Wiener 指数的 Jackknifing 估计值为:

$$J\hat{H} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i$$

其标准差为:

$$S_H = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (H_i - J\hat{H})^2}$$

相应标准误为 S_H/\sqrt{n} , 所以 Shannon-Wiener 指数的近似正态分布置信区间为:

$$J\hat{H} \pm t_{\alpha}(n-1)S_H/\sqrt{n}$$

可靠性为 $1-\alpha$ 。

3 结果与分析

3.1 群落物种多样性的尺度效应

图3和图4是按照图1方式增聚样方统计的物种丰富度变化过程。图中曲线表明,当样方增聚至36个前,物种丰富度增加较快,可见这一过程的尺度效应显著,36个样方累计面积为900m²。在900m²以后继续增聚样方,则尺度效应逐渐减弱,因此,900m²取样面积可以作为闽北中亚热带常绿阔叶林及其次生林的最小样地面积。此值恰好介于南亚热带^[15,16]1200m²和北亚热带^[17,18]300~500m²之间,但考虑到其它空间异质性因素,取样面积为1200m²效果更好。

比较图3和图4还可发现,尽管CF和DF群落组成和结构存在差异(表1),但两者物种丰富度的尺度效应基本一致,表明DF群落虽然受人干扰后恢复期短,但是物种多样性的尺度效应不变。

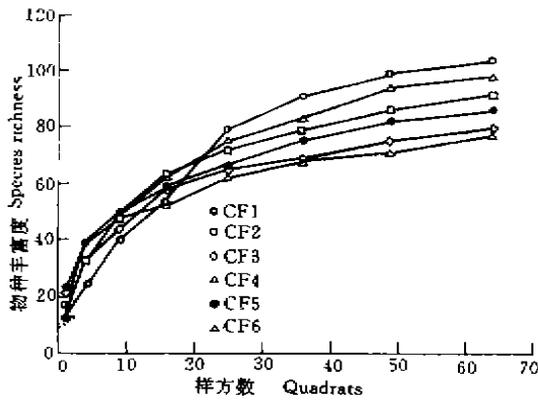


图3 CF群落样方扩散增聚过程物种丰富度尺度效应
Fig. 3 Scale effects of species richness in conserved forest during extending aggregated quadrats

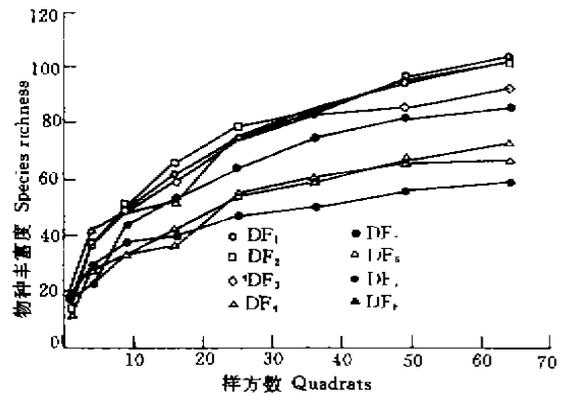


图4 DF群落样方扩散增聚过程物种丰富度尺度效应
Fig. 4 Scale effects of species richness in degraded forest during extending aggregated quadrats

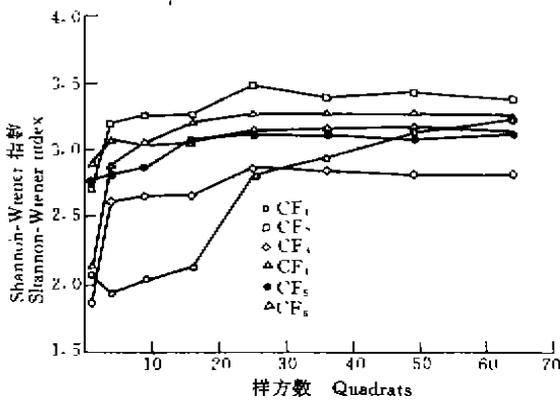


图5 CF群落样方扩散增聚过程 Shannon-Wiener 指数的尺度效应
Fig. 5 Scale effects of Shannon-Wiener index in conserved forest during extending aggregated quadrats

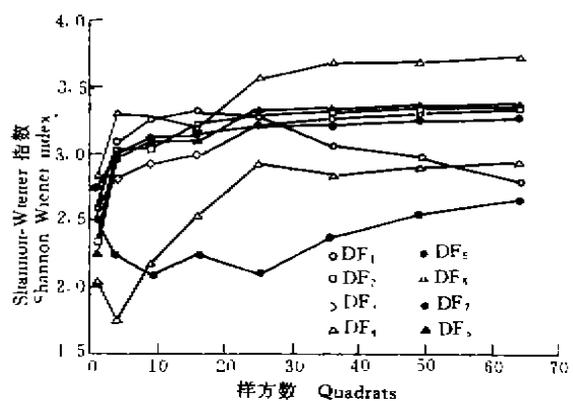


图6 DF群落样方扩散增聚过程 Shannon-Wiener 指数的尺度效应
Fig. 6 Scale effects of Shannon-Wiener index in degraded forest during extending aggregated quadrats

图5和图6为按图1方式增聚样方面积统计的群落 Shannon-Wiener 多样性指数变化曲线。这些曲线清楚地表明,随着取样面积的增加,Shannon-Wiener 指数由剧烈波动逐渐趋于平稳,当取样面积约1200m²时,

Shannon-Wiener 指数已经基本稳定,其中,CF 群落在取样面积约600m²以后开始出现平稳(图5),而 DF 群落则在900m²以后出现平稳(图6)。可见,研究亚热带常绿阔叶林物种多样性的取样面积应达到1200m²。

表2和表3为按照图2划区方案计算的群落物种丰富度和 Shannon-Wiener 指数,400m²物种丰富度和 Shannon-Wiener 指数平均数由4种划区方案求得,800m²平均数由6种划区方案求得,1200m²平均数由4种划区方案求得。不难理解,相同群落不同取样面积的物种多样性(物种丰富度、Shannon-Wiener 指数及其均匀度)均值之间的差异反映了群落物种多样性的尺度效应。

结果表明,当取样面积小于800m²时,物种丰富度和 Shannon-Wiener 指数的平均数变化较大,说明尺度效应显著;当取样面积达到800m²之后,物种丰富度和 Shannon-Wiener 指数的平均数变化较小,说明尺度效应减小。无论是 CF 还是 DF 群落,尺度效应总是随着取样面积的加大而逐渐减小,而取样面积从1200m²提高到1600m²,观察到的物种数仅增加不到10%,其中,CF 群落物种丰富度仅增加8%左右,DF 群落物种丰富度仅增加9%左右。因此,为了减小尺度效应,研究闽北群落物种多样性的取样面积应是1200m²。

表2 物种丰富度的尺度效应和划区效应

Table 2 Scale and zoning effects of species richness

样地 Plot	物种1600m ² Species	400m ²			800m ²			1200m ²		
		MS	Cv (%)	Proportion (%)	MS	Cv (%)	Proportion (%)	MS	Cv (%)	Proportion (%)
CF1	104	60.3	10.78	57.98	83.2	9.01	80.00	96.0	5.00	92.31
CF2	92	58.5	8.21	63.59	75.8	5.15	82.39	85.5	2.22	92.93
CF3	80	55.0	4.73	68.75	68.2	2.20	85.25	75.0	2.40	93.75
CF4	77	56.0	8.57	72.73	66.8	6.14	86.75	73.0	4.38	94.81
CF5	86	58.5	3.59	68.02	70.5	3.26	81.98	79.0	2.28	91.86
CF6	98	67.0	7.76	68.37	81.7	6.36	83.37	91.0	4.40	92.86
DF1	104	64.5	3.26	62.02	84.3	7.12	81.06	96.0	5.21	92.31
DF2	102	60.8	8.22	59.61	79.8	7.52	78.24	92.8	4.20	90.98
DF3	93	58.3	18.35	62.69	76.8	10.03	82.58	87.5	4.23	94.09
DF4	102	60.3	11.11	59.12	80.5	5.09	78.92	92.5	3.68	90.69
DF5	59	40.5	8.15	68.64	48.7	7.19	82.54	54.3	5.71	92.03
DF6	73	43.8	5.02	60.00	57.8	4.84	79.18	66.8	2.54	91.51
DF7	86	52.0	10.77	60.47	68.3	6.88	79.42	78.5	3.95	91.28
DF8	67	46.0	21.96	68.66	57.3	13.79	85.52	63.3	7.90	94.48

MS 物种数均值 Means of species. Proportion: 物种数均值与1600m²物种数的比值 mean of species/species of 1600m²;
Cv 变异系数 Coefficient of variation.

3.2 群落物种多样性的划区效应

同一空间尺度不同划区方案的群落物种多样性变异系数愈大,表明不同划区方案的群落物种多样性变幅愈大,即划区效应大,相反,物种多样性变幅小则划区效应小。从表2和表3可以看出,不同取样面积的物种丰富度和 Shannon-Wiener 指数的变异系数(Cv)随着取样面积的加大而逐渐减小,表明群落物种多样性的划区效应与尺度效应变化趋势相似。显而易见,随着取样空间尺度的加大,样地内包含的生境异质性变得丰富,划区效应的影响在一定程度上逐渐得到消除。当取样面积为1200m²时,CF 群落物种多样性的划区效应多在5%以下,而 DF 群落划区效应则在8%以下(表2和表3)。

尺度效应容易被人们重视,然而划区效应往往被忽视。为了正确和全面地认识生态系统的格局与过程,特别是生物多样性这样复杂的问题,划区效应的影响不应被忽视。生态学中有些指标对划区效应敏感,有些指标不一定敏感,群落物种多样性属对划区效应敏感的指标。笔者在研究中常常发现,在同一个群落中不同的位置设立样地,得出的结果如同几个群落调查的结果。引入物种多样性指数的划区效应概念对加深认识群落物种多样性的这种变异性是有益的。

表3 Shannon-Wiener 指数的尺度效应和划区效应
Table 3 Scale and zoning effects of Shannon-Wiener index

样地 Plot	1600m ²	400m ²		800m ²		1200m ²	
	<i>H'</i>	Mean of <i>H'</i>	<i>Cv</i> (%)	Mean of <i>H'</i>	<i>Cv</i> (%)	Mean of <i>H'</i>	<i>Cv</i> (%)
CF1	3.2367	2.8040	18.76	3.0906	8.04	3.1890	4.23
CF2	3.3766	3.0801	9.10	3.2611	5.26	3.3367	3.34
CF3	2.8272	2.6748	3.89	2.7760	2.66	2.8099	1.69
CF4	3.1459	2.9923	9.34	3.0877	5.12	3.1263	3.00
CF5	3.1290	2.9730	4.06	3.0697	1.95	3.1086	1.02
CF6	3.2659	3.1795	3.43	3.2346	2.07	3.2554	1.35
DF1	2.7986	2.6821	21.08	2.7423	11.80	2.7819	7.86
DF2	3.3589	3.1521	3.52	3.2778	2.13	3.3305	1.12
DF3	3.3430	3.0930	4.03	3.2454	2.57	3.3089	1.45
DF4	3.7245	3.4317	4.81	3.6074	1.03	3.6813	0.67
DF5	3.2664	3.1059	4.87	3.1998	2.28	3.2413	1.28
DF6	2.9420	2.6889	6.64	2.8563	7.03	2.9124	4.87
DF7	2.6603	2.4935	14.12	2.5879	7.01	2.6328	3.71
DF8	3.3801	3.1496	2.30	3.2944	2.09	3.3503	0.78

3.3 群落物种多样性 MAUP 的估计

从上述对群落物种多样性的 MAUP 分析中可以看出,由于尺度效应和划区效应的影响,群落物种多样性指数应是一个区间而不是一个点。虽然 MAUP 对群落物种多样性的影响随着样地面积的加大而减弱,但是,即使这样,群落物种多样性仍然是一个区间而不是一个点。一般物种多样性计算方法给出的也仅仅是一个点估计值,且无法知道这个点估计值的置信度。因此,若给出一定的置信度对群落物种多样性作一区间估计,将会比点估计值更合理些。然而,一般的区间估计方法需要一定数量的独立样本,这在群落物种多样性研究实践中颇具困难。为此,陈华豪把 Jackknifing 法估计引入物种多样性区间估计^[13]。

按 Jackknifing 法估计各群落物种多样性的 Shannon-Wiener 指数结果见表4,可靠性为95%。表中给出了 Shannon-Wiener 指数的估计值及其近似正态分布置信区间,与表3的 Shannon-Wiener 指数相比,表4中的 Jackknifing 估计值 $J\hat{H}$ 略偏高,但置信区间则与表3的结果相吻合,群落物种多样性的区间估计比较合理地反映了生态系统多样性,它既包含了群落生境的异质性也包含了群落物种异质性。

表4还表明,Jackknifing 估计区间反映的划区效应与表3中1200m²取样面积的 Shannon-Wiener 指数变动系数所反映的划区效应是一致的,即变动系数(表3)大的群落,Jackknifing 估计区间相应宽,反之,Jackknifing 估计区间则窄。这说明 Jackknifing 估计区间的确反映了群落 Shannon-Wiener 指数的划区效应。

但 Jackknifing 方法用于估计 Simpson 指数时可能出现估计区间大于1(Simpson 指数的上限)的情形,这在生态学上难以解释。因此,应用刀切法时应结合生态学实际,才能作出合理的结论。

表4 Shannon-Wiener 指数 Jackknifing 估计值

Table 4 The jackknifing method estimate of Shannon-Wiener index ($\alpha=0.05$)

Plot	$J\hat{H}$	$J\hat{H} \pm 1.96(n-1) \frac{S_H}{\sqrt{n}}$
CF1	3.3800	2.7361, 4.0239
CF2	3.4965	2.9649, 4.0281
CF3	2.8790	2.6529, 3.1051
CF4	3.2049	2.7566, 3.6532
CF5	3.1902	3.0392, 3.3412
CF6	3.2973	3.0867, 3.5079
DF1	2.8488	1.8049, 3.8927
DF2	3.4443	3.2658, 3.6228
DF3	3.4455	3.2156, 3.6754
DF4	3.8542	3.7374, 3.9710
DF5	3.3417	3.1436, 3.5398
DF6	3.0309	2.3542, 3.7076
DF7	2.7428	2.2760, 3.2096
DF8	3.4696	3.3445, 3.5947

4 结语

群落物种多样性研究的文献较多,但有关物种多样性对生态空间尺度变化的敏感性以及不同划区方案产生的影响报道不多。无论采用哪一种计算群落物种多样性的方法,得出的结果是一定空间尺度的一个点估计值,并非完全信息。本文对闽北森林群落调查资料的初步分析表明,群落物种多样性对空间尺度变化和划区方案选择均存在敏感性,特别是样地面积在 800m^2 以下时,这种影响表现明显。因此,当调查样地面积为 800m^2 以下时,群落物种多样性计算结果变化很大,因尺度和划区方案而异,得出的结论仅仅反映特定尺度和特定取样地点的物种多样性,具有较大的局限性。当野外调查样地面积加大至 1200m^2 或更大时,尺度效应和划区效应均较小,但过大的取样面积一方面增加工作量,另一方面在丘陵地区容易造成跨群落调查而使情况复杂化,合理的解决方案是取样面积 $1200\sim 1600\text{m}^2$,群落物种多样性的 MAUP 影响与群落的组成物种及其空间格局有关,物种及其空间格局多样化程度越高,MAUP 的影响越大,群落物种多样性的区间估计加深了人们对群落物种多样性的认识,而 Jackknifing 方法可给出群落物种多样性的近似正态分布置信区间。

参 考 文 献

- 1 鄂建国,等.生态学中的格局与尺度——可塑性面积单元问题.见:李博主编.现代生态学讲座.北京:科学出版社,1995.1~9
- 2 Levin S A. The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology*, 1992, 73: 1943~1967
- 3 Turner M G, et al. Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1989, 3: 153~162
- 4 Gehlke C E and Biehl H. Certain effects of grouping upon the size of the correlation coefficient in census tract material. *Journal of American Statistical Association (Supplement)*, 1934, 29: 169~170
- 5 Yule G U and Kendall M G. *An Introduction to the Theory of Statistics*. Griffin, London, England, 1950
- 6 Fotheringham A S and Wong D W S. The modifiable areal unit problem in multivariate statistical analysis. *Environment and Planning A*, 1991, 23: 1025~1044
- 7 Openshaw S. Optimal zoning systems for spatial scale interaction models. *Environment and Planning A*, 1977, 9: 169~184
- 8 Amrhein C G and Flowerdew R. The effect of data aggregation on a Poisson regression model of Canadian migration. In: Goodchild M F and Gopal S editors. *Accuracy of Spatial Databases*. Taylor and Francis, London, England, 1989. 229~238
- 9 Jelinski D and Wu J. The Modifiable areal unit problem and implications for landscape ecology. In: *Proceedings of the Eighth Annual U. S. Landscape Ecology Symposium*, US-IALE, University of Arizona, Tucson, Arizona, U. S. A. 1994. 81~83
- 10 林鹏主编.福建植被.福州:福建科学技术出版社,1990.255~277
- 11 何友钊.建瓯县万木林保护区史事考.见:陈陆圻主编.林史文集(第一辑).北京:中国林业出版社,1989.139~140
- 12 Pielou E C 著.卢泽愚译.数学生态学.第二版.北京:科学出版社,1988.308~331
- 13 陈华豪.用刀切法估计多样性指数.东北林学院学报,1982,(4):87~97
- 14 Arvesen J N. Jackknifing U-Statistics. *Ann. Math. Stat.*, 1969, 40: 2076~2100
- 15 陆阳.亚热带森林种群分布格局取样技术研究.植物生态学与地植物学丛刊,1986,10(4):272~281
- 16 王伯荪,等.亚热带常绿阔叶林取样技术研究.植物生态学与地植物学丛刊,1982,6(1):51~61
- 17 何妙光.亚热带山地常绿阔叶林和针叶林的样地面积大小的初步研究.植物生态学与地植物学丛刊,1964,2(1):118~127
- 18 宋永昌等.关于亚热带山地次生灌丛和幼年林的取样问题.植物生态学与地植物学丛刊,1965,3(2):247~263