

岷江上游干旱河谷灌丛群落种-面积曲线的拟合及最小面积确定

陈 泓^{1,2}, 黎燕琼², 郑绍伟², 王 玲^{1,2}, 何 飞², 刘 军¹, 慕长龙^{2,*}

(1. 四川农业大学, 四川雅安 625014 2. 四川省林业科学研究院, 四川成都 610081)

摘要 研究采用 3 种饱和曲线方程拟合出的群落种-面积曲线, 对岷江上游干旱河谷灌丛群落的最小面积进行研究, 取比例因子 ρ 分别为 0.6、0.7、0.8、0.9, 求得灌丛群落的最小面积或临界取样面积。研究结果表明: 当 ρ 取 0.6、0.7、0.8 时, 阴、阳坡各海拔梯度样地群落最小面积均小于或略大于 100m^2 , 样方可设置为 $10\text{m} \times 10\text{m}$, 即样地面积为 100m^2 , 可以满足精度 60% ~ 80% 的研究要求。当 ρ 取 0.9 时, 阴、阳坡各海拔梯度样地群落最小面积均小于 200m^2 , 样方可设置为 $10\text{m} \times 20\text{m}$, 即样地面积为 200m^2 , 可以满足精度 90% 的研究要求。群落最小面积呈现出随海拔梯度的升高而逐渐增大的趋势, 且最小面积所含物种数也随之增加; 在相对应的海拔高度上, 海拔 2000m 以下群落最小面积及所含物种数阴坡明显大于阳坡, 而在 2200m 左右的高海拔则是阴坡与阳坡相接近; 对于岷江上游干旱河谷灌丛群落类型而言, 由方程 (1)、(2) 拟合所得的种-面积曲线较之于由方程 (3) 拟合所得的种-面积曲线。

关键词 灌丛群落; 最小面积; 种-面积曲线; 海拔; 坡向; 干旱河谷; 岷江上游

文章编号: 1000-0933 (2007) 05-1818-08 中图分类号: Q145.1 Q948 文献标识码: A

Determination of species-area relationships and minimum sampling area for the shrub communities in arid valley in the upper reach of the Minjiang River

CHEN Hong^{1,2}, LI Yan-Qiong², ZHENG Shao-Wei², WANG Ling^{1,2}, HE Fei², LIU Jun¹, MU Chang-Long^{2,*}

1 Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, China

2 Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China

Acta Ecologica Sinica 2007, 27 (5): 1818 ~ 1825.

Abstract: The minimum sampling areas (MSA) for the shrub communities in arid valleys in the upper reach of the Minjiang River were studied by fitting community species-area relationships using 3 types equations. The MSAs were determined at the proportional factor (ρ) 0.6, 0.7, 0.8 and 0.9. The proportional factors represent the proportion of the number of species within a sampling plot in total number of species. All the MSAs of the shrub communities at different elevation and slope face for the ρ at 0.6, 0.7 and 0.8 were somewhere around 100m^2 . Hence the MSAs could be set as 100m^2 ($10\text{m} \times 10\text{m}$) at 60% ~ 80% precision level. For the ρ at 0.9, i. e. for 90% precision level, the MSAs were less than 200m^2 ($10\text{m} \times 20\text{m}$). The MSAs and species richness increased gradually with the rising of altitude. At elevation below 2000m , the MSAs and species richness on north facing slope were larger than south facing slope. However at the elevation around 2200m , there was no difference among different facing slopes. For the shrub communities in arid valley in

基金项目: 国家“十一五”科技攻关资助项目 (2006BAD03A03)

收稿日期: 2006-08-22; 修订日期: 2007-02-14

作者简介: 陈泓 (1982 ~), 女, 羌族, 四川绵阳人, 硕士生, 主要从事森林生态研究。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mucl2006@yahoo.com.cn

Foundation item: This work was financially supported by the key project of “eleventh five-year” program (No. 2006BAD03A03)

Received date: 2006-08-22; Accepted date: 2007-02-14

Biography: CHEN Hong, Master, mainly engaged in forest ecology. E-mail: hongchen@yahoo.com.cn

the upper reach of the Minjiang River, the species-area curve by fitting the first two equations are better than that by the third equation.

Key Words : shrub community ; minimum sampling area ; species-area relationship ; elevation ; slope face ; arid valley ; the upper reach of Minjiang River

最小面积是在最小地段内,对一个特定群落类型能提供足够的环境空间(环境和生物的特性),或者能保证展现出该群落类型的种类组成和结构的真实特征所需要的面积^[1];它意味着取样面积的大小^[2]。最小面积取决于群落类型,并且变化幅度很大^[1]。常见的确定群落最小面积的方法有种-面积曲线^[3-9]和重要值-面积曲线^[10-13],前种方法较为简便^[14],后种方法所确定的最小面积精度较高^[15],并可同时给出群落优势种相对稳定的重要值^[1],且对于复杂森林群落取样和结构研究而言有良好的实用性^[11,12]。另一种新的方法是基于群落系数-面积曲线,该方法能够更好的反映群落的种类组成及其结构^[14,15]。目前有多种函数被用作曲线的拟合^[5],使得对同一研究对象选取不同的函数拟合所得结果差异较大,且不同的取样方法导致数据在拟合时存在困难,如何用科学且有效的取样方法更好的应用于曲线拟合尚需科学的研究。

岷江上游受“焚风效应”和人为干扰影响,致使植被覆盖率低,水土流失严重,形成岷江上游干旱河谷区^[16,17]。该区植被发育以灌草丛为主,并成为稳定的植物群落,对干旱河谷水土保持和植被恢复具有重要的作用^[18]。岷江上游干旱河谷不同海拔、坡向上灌丛群落的组成、结构和分布格局等方面存在较大差异^[19],其群落最小面积也不尽相同,因而在进行灌丛群落调查时最小面积的确定相信有助于植被调查工作的展开。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

研究区域位于岷江上游杂谷脑河支流干旱河谷的中心地带理县薛城镇,31°31.4'~31°32.4'N,103°14.6'~103°15.5'E。据杂谷脑河干旱河谷9个乡镇和理县县城的气象资料表明,该区年均气温11.0℃,>0℃年积温3800~4500℃,无霜期190d,>10℃的年有效积温3200~3800℃,年干燥度1.6~2.5,全年日照时数在1200~2000h,年降水量为400~600mm,蒸发量为降水量的2~4倍。土壤类型以山地燥褐土为主,pH值7.4~8.4。植物群落层次结构单一,均为灌草丛,具有叶小、多毛、具刺、深根、低矮或匍匐生长等典型旱生植被特征。主要灌丛有黄花亚菊灌丛(Form. *Ajania nubigena*)、白刺花灌丛(Form. *Sophora viciifolia*)、小马鞍叶羊蹄甲灌丛(Form. *Bauhinia fabri*)、华北驼绒藜灌丛(Form. *Ceratoides arborescens*)、虎榛子灌丛(Form. *Ostryopsis davidiana*)、檀子栎灌丛(Form. *Quercus baronii*)、绣线菊灌丛(Form. *Spiraea* spp.)、栒子灌丛(Form. *Cotoneaster* spp.)、小檗灌丛(Form. *Berberis* spp.)、对节刺灌丛(Form. *Sageretia pycnophylla*)等;草本主要有糙野青茅(*Deyeuxia scabrescens*)、细柄草(*Capillipedium parviflorum*)、黑穗画眉草(*Eragrostis nigra*)、中华槲蕨(*Drynaria sinica*)、高山韭(*Allium sikkimense*)、川藏蒲公英(*Taraxacum maurocarpum*)等。

1.2 样地设置

野外调查方法为相邻样方格子法(图1),分别于杂谷脑河河谷两边的阴、阳坡由山体下部至山顶海拔各设3个梯度,海拔间隔约为200m(表1)。在各梯度人畜干扰少、具有代表性的植被类型的地段,设置1个400m²(20m×20m)的标准样地,并将每个标准样地划分为16个25m²(5m×5m,记为E)的样方,其中1、4、13、16号样方又划分成面积为1m²(1m×1m,记为A)、4m²(2m×2m,记为B)、9m²(3m×3m,记为C)、16m²(4m×4m,记为D)、25m²(5m×5m,记为E)的样方。再按照巢式样方合并法(图2),将样方合并成为50m²、100m²、200m²、400m²(记为F、G、H、I)的样方^[20]。因此整个样地构成1m²、4m²、9m²、16m²、25m²、50m²、100m²、200m²、400m²共9个面积梯度。

1.3 调查内容

在2005年9月,分别测定各面积梯度样方内的植被群落特征,即灌丛群落类型、灌木和草本的物种数、基

径、高度、盖度。同时调查海拔、坡度、坡向、坡位、土壤含水量等生境特征。海拔和坡度的测量采用 GPS 全球定位仪；土壤水分的测定根据采集的 0~0.4m 深度土壤剖面样品，烘干求得含水率 (%)。

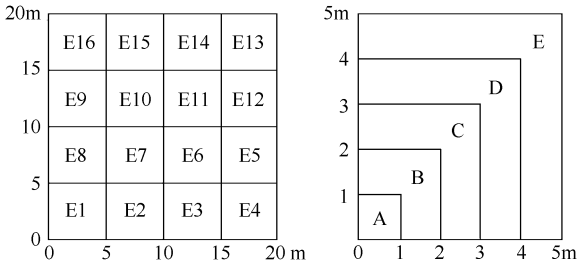


图1 样地设置示意图

Fig.1 Sketch map of sample arranging

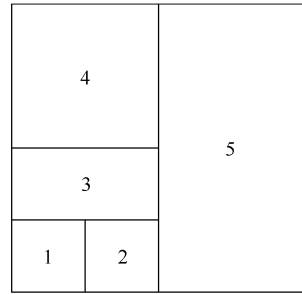


图2 巢式样方合并扩大顺序图

Fig.2 The sequence of combining and expanding sample as nest-shape

表1 岷江上游干旱河谷区样地特征

Table 1 Characteristic of sites of arid valley region in the upper reach of Minjiang River

样地号 Site number	生境特征 Characteristic of environment				群落特征 Characteristic of community			
	海拔 (m)	坡向	坡度 (°)	坡位	平均基径 (cm)	平均高度 (cm)	平均盖度 (%)	主要灌丛
阴坡 I	1 750	NW23°	36°	中下	0.83	48.56	42	① ② ③
阴坡 II	1 957	NW24°	47°	中	1.42	74.99	44	④ ⑤ ⑥
阴坡 III	2 165	NW25°	44°	中上	1.61	75.73	66	④ ⑤ ⑥ ⑦
阳坡 I	1 781	SE29°	31°	中下	0.7	40.86	29	① ②
阳坡 II	1 985	SE30°	46°	中	0.89	51.93	36	① ② ⑧
阳坡 III	2 200	SE31°	28°	中上	1.38	58.58	48	② ⑨ ⑩

阴坡 North facing slope ; 阳坡 South facing slope ; 海拔 Elevation ; 坡向 Slope face ; 坡度 Slope ; 坡位 Slope position ; 平均基径 basal diameter ; 平均高度 Average height ; 平均盖度 Average coverage ; 主要灌丛 Major shrub communities ; 中下 Under middle slope ; 中 Middle slope ; 中上 Above middle slope ; ① 黄花亚菊灌丛 Form. *Ajania nubigena* ; ② 白刺花灌丛 Form. *Sophora viciifolia* ; ③ 甘肃矮探春灌丛 Form. *Jasminum humile* ; ④ 虎榛子灌丛 ; ⑤ 橐吾灌丛 ; ⑥ 绣线菊灌丛 ; ⑦ 忍冬灌丛 Form. *Lonicera* spp. ; ⑧ 小马鞍羊蹄甲灌丛 ; ⑨ 川甘亚菊灌丛 Form. *Ajania potaninii*. ; ⑩ 柃木灌丛 ; 下同 the same below

1.4 确定最小面积的方法

以植物种数随样方面积的扩大而逐渐增加所绘制的种-面积曲线，最初陡然上升，然后上升逐渐变缓，水平延伸并稳定在某一种类数上。拟合种面积曲线的方程分为非饱和曲线和饱和曲线两大类，岷江上游干旱河谷区植物群落最小面积采用以下 3 种饱和曲线进行计算^[21]：

$$S = \frac{aA}{(1 + bA)} \tag{1}$$

$$S = \frac{c}{(1 + ae^{-bA})} \tag{2}$$

$$S = a(1 - e^{-bA}) \tag{3}$$

式中 A 为面积， S 为 A 中出现的物种数， a 、 b 、 c 是待估参数。方程的拟合应用 SYSTAT 软件 (SYSTAT, Inc.) 完成^[22]。对应于上述饱和种-面积曲线，要得到群落总种数一定比例 ρ ($0 < \rho < 1$) 的物种所需要的最小面积 (或临界抽样面积)^[15]分别为：

$$A = \frac{\rho}{b(1 - \rho)} \tag{4}$$

$$A = \ln \frac{(1 - \rho)/b}{a\rho} \tag{5}$$

$$A = -\frac{\ln(1-\rho)}{b} \quad (6)$$

2 研究结果与分析

2.1 群落种-面积曲线的拟合

研究表明(表2),岷江上游干旱河谷灌丛植被物种数目随取样面积的增大而增加。阴坡 I、II、III 样地和阳坡 I、II、III 样地最大面积样方中的物种数 S_H 分别为 33、45、47、13、21 和 44,由种-面积曲线可以看出(图3),取样面积 $<100\text{m}^2$ 时,阳坡 I 样地群落物种数目的增加已基本保持同一水平;取样面积 $>100\text{m}^2$ 时,阴坡 I、阳坡 II 样地群落物种数目的增加幅度明显减小并基本保持同一水平;取样面积 $>100\text{m}^2$ 时,阴坡 II、III 及阳坡 III 样地群落物种数目的增加仍然很明显,200 m^2 左右时,物种数目基本保持同一水平。

表2 岷江上游干旱河谷区不同面积样地中的种数

Table 2 Number of species of sites with different areas of arid valley region in the upper reach of the Minjiang River

样地 Site	面积 Area (m^2)	阴坡 North facing slope						阳坡 South facing slope					
		种数 Number of species				均值 Average	标准差 SD	种数 Number of species				值 Average	标准差 SD
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4			No. 1	No. 2	No. 3	No. 4		
I	1	8	7	8	7	8	0.6	3	3	3	3	3	0
	4	14	11	11	9	11	2.1	5	5	5	5	5	0
	9	17	13	12	11	13	2.6	6	6	7	7	7	0.6
	16	17	15	14	14	15	1.4	6	7	7	8	7	0.8
	25	18	15	15	15	16	1.5	8	8	8	8	8	0
	50	21	17	21	19	20	1.9	9	9	10	8	9	0.8
	100	23	22	26	24	24	1.7	11	12	12	11	12	0.6
	200	31	25	30	26	28	2.9	12	12	13	11	12	0.8
400	33	33	33	33	33	0	13	13	13	13	13	0	
II	1	9	8	9	9	9	0.5	4	3	4	5	4	0.8
	4	15	14	14	12	14	1.3	7	6	8	6	7	1
	9	19	17	18	17	18	1	9	7	9	8	8	1
	16	22	22	21	19	21	1.4	10	8	10	9	9	1
	25	25	24	23	20	23	2.2	11	9	10	10	10	0.8
	50	27	27	25	26	26	1	15	11	16	12	12	2.4
	100	31	29	29	30	30	1	17	14	19	15	16	2.2
	200	37	38	36	41	35	2.2	19	17	19	17	18	1.2
400	45	45	45	45	45	0	21	21	21	21	21	0	
III	1	9	10	11	9	10	1	10	8	8	9	9	1
	4	15	14	11	15	14	1.9	15	13	10	11	12	2.2
	9	20	18	17	21	19	1.8	17	14	13	15	15	1.7
	16	21	19	17	23	20	2.6	20	18	16	19	18	1.7
	25	23	22	23	26	24	1.7	21	19	17	20	19	1.7
	50	28	28	27	28	28	0.5	28	24	24	25	25	1.9
	100	30	30	30	30	30	0	31	26	28	28	28	2.1
	200	38	36	35	34	36	1.7	42	34	40	38	39	3.4
400	47	47	47	47	47	0	44	44	44	44	44	0	

利用群落样地的野外调查数据,采用饱和曲线方程(1)~(3)进行拟合,得到相应的种-面积曲线方程(表3)。由方程(1)和(2)拟合方程的相关系数达到了0.9以上,求得的最小面积相接近且基本上与群落的实际植被状况相符合;而方程(3)拟合方程的相关系数较差,求得的最小面积偏小。对于岷江上游干旱河谷灌丛

群落类型曲线 (3)并不适合。

表3 岷江上游干旱河谷区不同样地种-面积曲线拟合结果

Table 3 The result of the fitting species-area relationships of different sites of arid valley region in the upper reach of Minjiang River

样地 Site	曲线方程 Curve equation	阴坡 North facing slope				阳坡 South facing slope			
		参数 Parameter			相关系数 R	参数 Parameter			相关系数 R
		a	b	c		a	b	c	
I	$S = aA / (1 + bA)$	2.141	0.073		0.906	1.393	0.115		0.945
	$S = c / (1 + ae^{-bA})$	1.816	0.02	30.97	0.974	1.702	0.038	12.262	0.968
	$S = a(1 - e^{-bA})$	26.983	0.05		0.832	11.255	0.076		0.878
II	$S = aA / (1 + bA)$	3.095	0.081		0.912	1.159	0.06		0.923
	$S = c / (1 + ae^{-bA})$	1.749	0.015	42.65	0.945	2.074	0.023	19.745	0.974
	$S = a(1 - e^{-bA})$	34.359	0.062		0.84	17.701	0.041		0.861
III	$S = aA / (1 + bA)$	3.066	0.078		0.9	1.882	0.046		0.924
	$S = c / (1 + ae^{-bA})$	1.776	0.013	45.245	0.945	2.235	0.017	42.771	0.977
	$S = a(1 - e^{-bA})$	35.575	0.059		0.828	36.819	0.035		0.867

2.2 群落最小面积

由方程 (1)、(2) 所求得饱和物种数都低于最大面积样方中的物种数 S_{H0} 。由于干旱河谷灌丛群落物种种类并不丰富, S_{H0} 应接近群落的饱和物种数或稍小 [15]。取比例因子 ρ 分别为 0.6、0.7、0.8、0.9, 计算岷江上游干旱河谷阴、阳坡 3 个海拔梯度样地灌丛群落最小面积 (表 4)。结果表明, 当 ρ 取 0.6、0.7、0.8 时, 阴、阳坡各海拔梯度样地群落最小面积均小于或略大于 $100m^2$, 因而将样地设置为 $100m^2$ ($10m \times 10m$) 可以满足求得包括群落 60%、70%、80% 的所有植物的最小面积的中等精度研究要求。同样, 当 ρ 取 0.9 时, 阴、阳坡各海拔梯度样地群落最小面积均小于或接近于 $200m^2$, 即样地大小可以设置为 $200m^2$ ($10m \times 20m$), 可以满足求得包括群落 90% 的所有植物的最小面积的高精度研究要求。

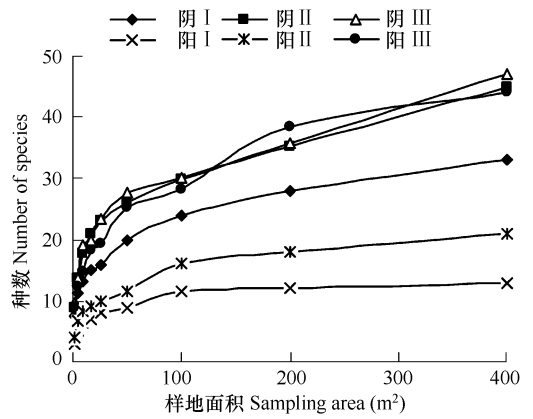


图3 岷江上游干旱河谷区不同样地灌丛群落种-面积图
Fig.3 Species-Area curve of shrub communities at different sites of arid valley region in the upper reach of Minjiang River

表4 岷江上游干旱河谷区不同样地群落最小面积

Table 4 Minimum species area of different sites of arid valley region in the upper reach of Minjiang River

样地 Site	比例因子 Proportional factor ρ	最小面积 Minimum species area (m^2)					
		阴坡 North facing slope			阳坡 South facing slope		
		方程 1 Equation 1	方程 2 Equation 2	均值 Average	方程 1 Equation 1	方程 2 Equation 2	均值 Average
I	0.6	21	49	35	13	24	19
	0.7	32	71	51	20	36	28
	0.8	55	97	76	35	50	42
	0.9	124	137	130	78	71	75
II	0.6	18	66	42	25	53	39
	0.7	29	96	62	39	73	56
	0.8	49	132	91	67	98	82
	0.9	111	187	149	151	128	139
III	0.6	19	77	48	33	71	52
	0.7	30	111	71	51	97	74
	0.8	51	153	102	88	129	108
	0.9	116	217	166	197	177	187

2.3 最小面积与海拔、坡向的关系

种-面积曲线表示了群落的一个重要性质,即与面积的增加有关的多样性^[23]。岷江上游干旱河谷阴、阳坡不同海拔梯度灌丛群落间种-面积曲线的差异,一定程度上反映了群落的物种多样性状况,并呈现出一定的趋势(图4、表4、表5),即最小面积和所含物种数随海拔梯度的升高都在逐渐增大,在相对应的海拔高度上阴坡均大于阳坡,但随海拔梯度的上升,在海拔2000m以下的中、低海拔阴坡明显大于阳坡,而在2200m左右的较高海拔则是阴坡与阳坡相接近。产生这种规律的原因是“焚风效应”^[16]导致河谷底部相对于河谷上部温度高,空气含水量低,土壤水分蒸发强,从而土壤含水量随海拔梯度的上升而增加(表5),这种特殊的气象因子反映在了干旱河谷植被的垂直分布规律上。此外在较低海拔阳坡较阴坡光照更强烈,因而最小面积以及所含物种数小于阴坡,而当达到河谷上部时,焚风效应影响微弱,土壤蒸发相对较低,土壤含水量相近,从而导致阳坡群落最小面积以及所含物种数与阴坡相近。

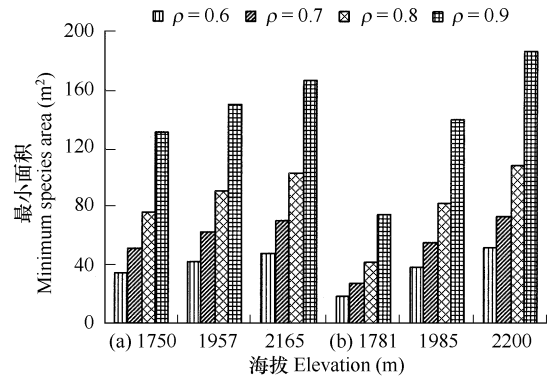


图4 岷江上游干旱河谷区阴、阳坡海拔和坡向对灌丛群落最小面积的影响

Fig. 4 The effect of elevation and slope face on minimum species area of the shrub communities on north facing slope and south facing slope in arid valleys region in the upper reach of the Minjiang River

(a)阴坡 North facing slope ; (b)阳坡 South facing slope

表5 岷江上游干旱河谷区样地土壤含水量与群落最小面积的关系

Table 5 Relationship between soil moisture and minimum species area of sites of arid valley region in the upper reach of Minjiang River

样地 Site	阴坡 North facing slope			阳坡 South facing slope		
	I	II	III	I	II	III
海拔 Elevation (m)	1750	1957	2165	1781	1985	2200
土壤含水量 Soil moisture (%)	7.67	15.37	15.61	7.23	10.49	11.64
$\rho=0.9$ 最小面积 (m^2)	130	149	166	75	139	187
$\rho=0.9$ 最小面积种数	27	36	38	11	15	38

最小面积 Minimum species area ; 最小面积种数 Number of species in minimum species area

3 讨论与结语

3.1 通过种-面积曲线的切线法不能求出准确的群落最小面积值^[23]。而通过数学模型拟合法能真实的反映群落最小面积,从群落、景观到区域各种尺度上描述种-面积关系。且不同的拟合曲线具有不同的适用性,可以用来拟合不同的群落类型^[21]。

3.2 拟合种-面积曲线方程结果表明,方程(3)不适合岷江上游干旱河谷灌丛群落类型。这可能是由于干旱河谷灌丛植被退化严重,导致收集的原始数据在拟合曲线时存在困难;且取样的方法、样方的大小、形状与数量等样地布置方式影响了曲线的拟合^[24]。

3.3 岷江上游干旱河谷阴、阳坡随海拔梯度的升高,灌丛群落最小面积逐渐增大,且在相对应的海拔高度上阴坡明显大于阳坡或与之相接近。阴、阳坡各海拔梯度满足精度60%~80%研究要求的灌丛群落最小面积均小于或接近于 $100m^2$,满足精度90%研究要求的灌丛群落最小面积均小于或接近于 $200m^2$,这与温带植被森林群落灌木层最小面积经验值为50~ $200m^2$ 相一致^[20]。故将样方面积 $100m^2$ ($10m \times 10m$)、 $200m^2$ ($10m \times 20m$)作为岷江上游干旱河谷灌丛群落的最小面积可以满足不同研究精度的要求,减少野外调查样方调查的数量和工作量。

References :

- [1] Wang B S, Yu S X, Peng S L, *et al.* Experiment Manual of Plant Sociology. Guangzhou : Guangdong Higher Education Press ,1996.
- [2] Dieter M D, Heinz E. Aims and Methods of Vegetation Ecology. Wiley , New York , 1974.
- [3] Barkman J J. A critical evaluation of minimum area concepts. *Vegetatio* , 1989 , 85 : 89 – 104.
- [4] Hao Z Q, Tao D L, Zhao S D. Diversity of higher plants in broad-leaved Korean pine and secondary birch forests on northern slope of Changbai mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology* , 1994 , 5 (1) : 16 – 23.
- [5] Liu C R, Ma K P, Yu S L, *et al.* Plant community diversity in Donglingshan mountain , Beijing , China VII. The determination of critical sampling areas for several types of plant communities. *Acta Ecologica Sinica* , 1998 , 18 (1) : 15 – 23.
- [6] Dai L M, Wang Q C, Deng H B, *et al.* Minimum sampling area and species richness of riparian community in Erdaobaihe forested watershed. *Chinese Journal of Applied Ecology* , 2002 , 13 (6) : 641 – 645.
- [7] WU X P, Zhu B, Zhao S Q, *et al.* Comparison of community structure and species diversity of mixed forests of deciduous broad-leaved tree and *Korean pine* in Northeast China. *Biodiversity Science* , 2004 , 2 (1) : 174 – 181.
- [8] Tang L, Hao W F, Sun H G, *et al.* Fitting and assessment of species-area cures of four native pasture communities on Loess Plateau. *Agricultural Research in the Arid Area* , 2005 , 23 (4) : 83 – 88.
- [9] Tang M P, Zhou G M, Shi Y J, *et al.* Minimum sampling area and species diversity of evergreen broad-leaved forest community in Mount Tianmu. *Journal of Zhejiang Forestry College* , 2006 , 23 (4) : 357 – 361.
- [10] Curis J T, McIntosh R P. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology* , 1951 , 32 (8) : 426 – 496.
- [11] Wang B S, Zhang Z Q, Lan C Y, *et al.* Research on sampling area of lower subtropical evergreen broad-leaved forests. *Acta Phytocologica Et Geobotanica Sinica* , 1982 , 6 (1) : 51 – 60.
- [12] Wang B S, Li M G. Application of significant values-area cures of tropical and subtropical botany. *Acta Phytocologica Et Geobotanica Sinica* , 1986 , 10 (3) : 162 – 170.
- [13] YAN W H, HU Y J. Minimum sampling area and species diversity of coastal *Vatica hainanensis* forest in Shimei bay , Hainan island. *Biodiversity Science* , 2004 , 12 (2) : 245 – 251.
- [14] You S S, Wang X M, Wang H W. Determination of the minimum sampling area for mid-subtropical evergreen broad-leaf forest (*Castanopsis carlesii* forest) in Fujian province , China. *Journal of Wuhan Botanical Research* , 2002 , 20 (6) : 483 – 442.
- [15] Deng H B, Wu G, Hao Z Q, *et al.* Determination of the minimum sampling area for *Pinus massoniana-Quercus* community and compare of sampling methods. *Acta Ecologica Sinica* , 1999 , 19 (4) : 499 – 503.
- [16] Pu F D. The Present conditions of ecology and bio-diversity protection at up stream of Minjiang. *Resource Science* 2000 , 22 (5) : 83 – 85.
- [17] Ye Y Q, Chen G J, Fan H. Vulnerability of the eco-environment in the upper reach of Minjiang River. *Resources and Environment in the Yangtze Basin* , 2002 , 11 (4) : 383 – 387.
- [18] Liu W B. Main types of the semi-arid valley scrubs in the upper reaches of the Minjiang River. *Mountain Research* , 1994 , 2 (1) : 27 – 31.
- [19] Ye M S, Guan W B, Tan H, *et al.* The α diversity of shrubs community in the arid valley of the Minjiang River. *Acta Ecologica Sinica* , 2004 , 24 (6) : 1123 – 1130.
- [20] Mueller-Dombois D, Ellenberg H. *Trans.* BAO X C, *et al.* Aims and methods of vegetation ecology. Beijing : Science Press , 1986.
- [21] Liu C R, Ma K P, Yu S L, *et al.* Plant community diversity in Dongling mountain , China — the fitting and assessment of species-area curves. *Acta Phytocological Sinica* , 1999 , 23 (6) : 490 – 500.
- [22] Wilkinson L. SYSTAT : The system for statistics. Evanston, IL : SYSTAT , Inc. , 1990. 677.
- [23] Chen H W, Liu Y G, F X. Discussion on sampling area of *Betula alnoides* artificial forest community. *Yunnan Forestry Science and Technology* , 1999 , 3 (88) : 24 – 27.
- [24] Yu S X, Zong G W, Chen Z Y, *et al.* Comparison of ecological entropy with random and systematic sampling. *Acta Phytocological Sinica* , 1998 , 22 (5) : 473 – 480.

参考文献 :

- [1] 王伯荪, 余世孝, 彭少麟, 等. 植物群落学实验手册. 广州 : 广东高等教育出版社 , 1996.
- [4] 郝占庆, 陶大立, 赵士洞. 长白山北坡阔叶红松林及其次生白桦林高等植物物种多样性比较. *应用生态学报* , 1994 , 5 (1) : 16 ~ 23.
- [5] 刘灿然, 马克平, 余顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性研究 VII. 几种植物群落临界抽样面积的确定. *生态学报* , 1998 , 18 (1) : 15 ~ 23.

- [6] 代力民,王青春,邓红兵,等. 二道白河河岸带植物群落最小面积与物种丰富度. 应用生态学报, 2002, 13 (6) :641 ~ 645.
- [7] 吴晓蕾,朱彪,赵淑清,等. 东北地区阔叶红松林的群落结构及其物种多样性比较. 生物多样性, 2004, 12 (1) :174 ~ 181.
- [8] 唐龙,郝文芳,孙洪罡,等. 黄土高原四种乡土牧草群落种-面积曲线拟合及最小面积的确定. 干旱地区农业研究, 2005, 23 (4) :83 ~ 88.
- [9] 汤孟平,周国模,施拥军,等. 天目山常绿阔叶林群落最小取样面积与物种多样性. 浙江林学院学报, 2006, 23 (4) :357 ~ 361.
- [10] 王伯荪,张志权,蓝崇钰,等. 南亚热带常绿阔叶林取样技术研究. 植物生态学与地植物丛刊, 1982, 6 (1) :51 ~ 60.
- [11] 王伯荪,李鸣光. 重要值-面积曲线在热带亚热带森林中的应用. 植物生态学与地植物学报, 1986, 10 (3) :162 ~ 170.
- [12] 颜文洪,胡玉佳. 海南石梅湾青皮林最小取样面积与物种多样性研究. 生物多样性, 2004, 12 (2) :245 ~ 251.
- [13] 游水生,王小明,王海为. 福建中亚热带常绿阔叶林(米槠林)最小面积的确定. 武汉植物学研究, 2002, 20 (6) :438 ~ 442.
- [14] 邓红兵,吴刚,郝占庆,等. 马尾松-栎类天然混交林群落最小面积确定及方法比较. 生态学报, 1999, 19 (4) :499 ~ 503.
- [15] 溥发鼎. 岷江上游生态学现状及生物多样性保护. 资源科学, 2000, 22 (5) :83 ~ 85.
- [16] 叶延琼,陈国阶,樊宏. 岷江上游脆弱生态环境刍论. 长江流域资源与环境, 2002, 11 (4) :383 ~ 387.
- [17] 刘文彬. 岷江上游半干旱河谷灌丛的主要类型. 山地研究, 1994, 2 (1) :27 ~ 31.
- [18] 冶民生,关文彬,谭辉,等. 岷江干旱河谷灌丛 α 多样性分析. 生态学报, 2004, 24 (6) :1123 ~ 1130.
- [19] Mueller-Dombois D., Ellenberg H. 鲍显诚,等译. 植被生态学的目的和方法. 北京: 科学出版社, 1986.
- [20] 刘灿然,马克平,余顺利,等. 北京东灵山地区植物群落多样性研究——种-面积曲线的拟合与评价. 植物生态学报, 1999, 23 (6) :490 ~ 500.
- [21] 陈宏伟,刘永刚,冯弦. 西南桦人工林群落取样面积探讨. 云南林业科技, 1999, 3 (88) :24 ~ 27.
- [22] 余世孝,宗国威,陈兆莹,等. 随机与系统取样的生态学信息量比. 植物生态学报, 1998, 22 (5) :473 ~ 480.