

鄱阳湖湿地典型草洲植物群落种-面积关系

段后浪¹, 赵安^{1*}, 姚忠²

(1. 江西师范大学鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室, 地理与环境学院, 南昌 330022; 2. 江西省科学院, 南昌 330096)

摘要: 为了解鄱阳湖湿地草洲植物群落的结构, 对其 3 种典型草洲植物群落种-面积关系进行了研究。采用巢式样方法调查植物物种数量, 并用 3 种非饱和和曲线拟合种-面积方程。结果表明, 基于实测数据, 3 个草洲物种数随着取样面积的增加先快速增加后趋于平稳; 群落最小取样面积均为 30 m²。幂函数模型对 3 个草洲群落的种-面积关系拟合效果均为最佳, 3 个草洲群落的 *RSE* 分别为 0.35、0.35 和 0.56, *AAD* 分别为 0.23、0.17 和 0.35, *AARD* 分别为 0.06、0.02 和 0.07, 而指数模型、Fisher 模型的拟合效果一般。指数模型计算得到的不同比例因子下 3 个草洲最小取样面积与实际情况最为吻合。这为鄱阳湖区进行植物群落数据采集的样方设置提供了理论参考。

关键词: 非饱和和曲线; 鄱阳湖湿地; 巢式样方法; 植物群落; 最小取样面积

doi: 10.11926/jtsb.3783

Species-area Relationship of Typical Marshland Plant Community in the Wetlands of Poyang Lake Region

DUAN Hou-lang¹, ZHAO An^{1*}, YAO Zhong²

(1. Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research, Ministry of Education, School of Geography and Environmental Sciences, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China; 2. Jiangxi Academy of Sciences, Nanchang 330096, China)

Abstract: In order to understand the plant community structure in wetlands of Poyang Lake, the species-area relationship of three kinds of marshland plant communities were studied. The plant species number was investigated by nested plot method, and the species-area equations were fitted with 3 unsaturation curves. The results showed that based on the actual data, the number of the species rapidly increased at first with increment of sampling area, and then gradually became stable latter on. The size of 30 m² was determined as the minimum sampling area for the plant community. The fit effects of power function model on species-area relationship among 3 studied communities were the best with *RSE* of 0.35, 0.35, 0.56, *AAD* of 0.23, 0.17, 0.35 and *AARD* of 0.06, 0.02, 0.07, respectively; while those of exponential model and Fisher model were ordinary. Compared with the measured data, the minimum sampling areas under different scaling factors for 3 studied communities calculated by exponential model were the fittest to the actual situation. These would provide theory references for sample establishment in data collection of plant community in Poyang Lake Region.

Key words: Unsaturated curve; Poyang Lake wetland; Nested plot method; Plant community; Minimum sampling area

种-面积关系描述的是植物群落物种数量随样地面积变化所呈现的变化规律, 被认为是“生态学

研究中少有的几个真正的定理之一”^[1]。由于研究区域的差异性, 导致植物群落样方内物种数随取样面

收稿日期: 2017-06-30 接受日期: 2017-08-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(81260449); 江西省青年科学基金项目(20132BAB214022); 江西省教育厅 2012 年度科技项目(CJJ12185)资助
This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 81260449), the Science Foundation for Youths in Jiangxi Province (Grant No. 20132BAB214022), and the Project for Science and Technology of Jiangxi Education Department in 2012 (Grant No. CJJ12185).

作者简介: 段后浪(1992~), 男, 硕士研究生, 从事植物生态学研究。E-mail: duanh12408@126.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: zhaonjxsd@126.com

积的扩大增加的速度也不相同,但总体上,取样初期群落物种数随样方面积扩大增加较快,随着样方面积增大逐步减缓甚至保持稳定状态^[2]。研究植物群落种-面积关系最主要的目的是确定群落最小面积(指能够代表一个特定群落类型植物种类组成及结构的最小样方面积),因为在研究时对群落进行全部调查会花费大量人力、物力。群落最小面积受到群落类型、取样尺度等诸多因素的影响,且变化幅度较大^[3]。目前有多种函数模型能够被用来拟合植物群落种-面积关系及确定群落最小面积,最为常用的有幂函数模型、指数模型和 Logistic 模型,模型之间常因不同的取样方法、取样尺度、群落类型等所呈现的拟合效果会有差异^[4]。对于模型的选择应依据具体的研究区域、研究目的而定。如果侧重中小尺度的种-面积关系研究,指数模型、幂函数模型较为适合^[5-6];若研究区域是大尺度,则 Logistic 模型拟合效果更佳^[7-8]。实际研究过程中常选择多个模型进行拟合,并比较各自结果,以选择最优模型。

研究植物群落种-面积关系能够很好地反映不同样方尺度的群落结构,对理解其内部的植物生物多样性具有一定帮助。目前有关鄱阳湖湿地植物群落结构的研究已有大量报道^[9-10],但多集中在一种样方尺度上,无法了解多个尺度上的群落组成结构情况,也很难反映作为我国第一大淡水湖泊——鄱阳湖湿地植被的真实情况。鄱阳湖湿地有 3 种类型草洲,洲垸型草洲是圩堤保护的大片草洲;洲滩型草洲是面向水域开口的较窄湖(河)边草洲;洲岛型草洲是湖中岛屿面向湖面开口的中等宽度草洲。本文基于鄱阳湖湿地 3 种类型草洲的植物群落,在鄱阳湖区的恒湖农场(洲垸)、南矶山自然保护区(洲岛)、鄱阳湖国家级自然保护区(永修县吴城镇,洲滩型)设置了 9 个 8 m×8 m 的调查样地(图 1),探索鄱阳湖区三种草洲湿地类型的群落种-面积关系,确定其群落最小面积,为鄱阳湖区进行植物群落相关数据采集的样方尺寸设置提供理论参考,也为湖区植物群落生物多样性保护和管理决策提供科学依据。

1 数据和方法

1.1 研究区概况

鄱阳湖位于江西省北部,长江中游与下游的交界处,是一个吞吐型、季节性的浅淡水湖。湖区气

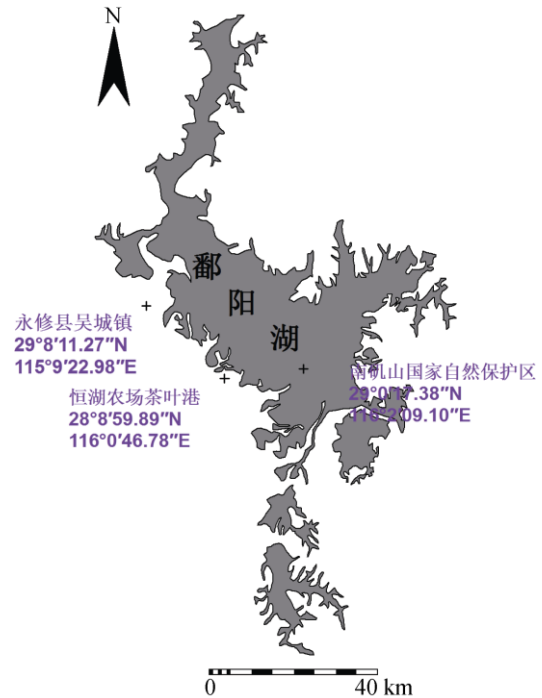


图 1 采样地点空间分布图

Fig. 1 Distribution map of sampling locations

候温和、生态环境良好,年平均温度 17.6℃,年平均降水量 1570 mm,年无霜期为 266 d。湖区水位受长江来水和流域水系的双重影响,年内年际水位波动较大,每年 4-9 月为丰水期,9 月水位最高,10 月至次年 3 月为枯水期,湖区洲滩逐渐裸露,大量湿地植物开始生长发育。典型的湿地植物有灰化藁草、藨草、南荻(*Triarrhena lutarioriparia*)、广州蕹菜(*Rorippa cantoniensis*)、旋鳞莎草(*Cyperus michelianus*)、芦苇、水田碎米荠(*Cardamine lyrata*)、具刚毛荸荠(*Heleocharis valliculosa* f. *setosa*)、狗牙根(*Cynodon dactylon*)、蓼子草(*Polygonum criopolitanum*)、南苜蓿(*Medicago polymorpha*)、紫云英(*Astragalus sinicus*)和水蓼(*Polygonum viscosum*)等。

1.2 采样设计

正式调查之前,在鄱阳湖湿地开展相关预试验,观察同一地点不同高程段上植物群落物种的变化情况,确定正式调查拟设置的样点位置。于 2016 年 10 月 30 日-11 月 7 日在鄱阳湖湿地恒湖农场茶叶港草洲、永修县吴城镇炉子窑与南矶山国家级自然保护区穿盔甲依海拔高程梯度分别建立 3 个 64 m² (8 m×8 m) 的固定样地,每个样地划分成 64 个 1 m×1 m 的基本样方(图 2: A)。其中编号①~④的基本样

方按照 0.25 m×0.25 m、0.25 m×0.5 m、0.5 m×0.5 m、0.5 m×1 m、1 m×1 m 大小划分成 5 个小样方(图 2: B 左下角)。用巢式样方法分别从样地 4 角将 1 m×1 m 的基本样方合并为 1 m×2 m、2 m×2 m、2 m×4 m、4 m×4 m、4 m×8 m、8 m×8 m 的样方, 合并方式按图 2: B 左下角逐次合并。整个样地构成了从最小 0.25 m×0.25 m 到最大 8 m×8 m 的 11 个样方面积梯度。调查记录所有 1 m×1 m 基本样方和样地 4 个角小样方 a、b、c、d 部分、面积梯度由 0.25 m×0.25 m 到 0.5 m×1 m 内的植物种类和数量。以样地为单位用 GPS 记录经纬度。3 个采样地点样地内部微环境(地形、土壤、水文条件等)依海拔高程有所不同, 各样地物种组成和数量也存在一定差异, 共有种有灰化藁草、藜草、南荻、旋鳞莎草、狗牙根、

水田碎米荠、通泉草(*Mazus japonicus*)等 7 种, 因此 3 个地点 9 个样地对整个鄱阳湖区典型湿地具有一定代表性(表 1)。

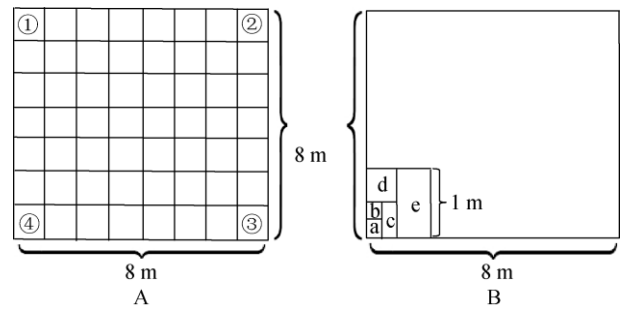


图 2 样地设计示意图

Fig. 2 Sampling design diagram

表 1 各调查地点概况

Table 1 Status of surveyed sites

地点 Site	位置 Location	样地序号 Sample No.	地理坐标 Geography coordinate	高程 (m) Elevation	物种数 Number of species
茶叶港 Chayegang	恒湖农场 Henghu farm	1	29°0'12.90" N 116°8'57.58" E	14.57	6
		2	29°0'16.09" N 116°9'00.27" E	14.49	7
		3	29°0'19.89" N 116°9'01.32" E	14.40	7
穿盔甲 Chuankuijia	南矶山国家自然保护区 Nanjishan National Nature Reserve	1	28°8'16.23" N 116°1'28.97" E	11.75	12
		2	28°8'16.06" N 116°1'31.06" E	11.69	12
		3	28°8'14.51" N 116°1'35.49" E	11.58	13
炉子窑 Luziyao	永修县吴城镇 Wucheng Zhen, Yongxiu Xian	1	29°9'22.69" N 115°9'49.51" E	13.12	9
		2	29°9'24.19" N 115°9'48.27" E	13.06	9
		3	29°9'22.36" N 115°9'51.92" E	12.89	11

1.3 研究方法

1.3.1 最优种-面积关系拟合曲线的确定

拟合种-面积曲线的方程有饱和曲线和非饱和曲线两大类, 本研究采用 3 种非饱和曲线, 分别为指数模型、幂函数模型和 Fisher 模型, 拟合研究区 3 个调查地点植物群落的种-面积关系^[11-12], 其公式分别为: $S=a \times \ln A + b$, $S=a \times A^b$, $S=a \times \ln(bA + 1)$, 式中, A 为不同面积梯度样方面积, S 为面积 A 中出现的植物物种数(将每个调查地点 3 个样地由四个角开始相同面积梯度内的物种数取平均得到), a 、 b 为模型中的待估参数。方程的拟合用 SPSS 22.0 完成。

1.3.2 模型的评价标准

由于本文中选取的种-面积曲线模型中既有线性的又有非线性的, 模型拟合效果可能与群落生境、群落物种间相互作用关系等有关, 因此对拟合效果的检验十分有必要。线性模型的拟合效果可用

统计方法进行检验, 而非线性模型却没有相应的检验方法, 因此需要选取几个评价指标对它们进行统一的评价。本文用剩余标准差(RSE)、绝对偏差的平均值(AAD)和相对偏差绝对值的平均值($AARD$)共 3 个指标检验以上模型的拟合效果, 3 个指标分别是基于残差平方和、平均绝对误差和平均相对误差进行计算, 公式分别为^[13]:

$$RSE = \sqrt{\frac{Q}{n-k-1}}, AAD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |S_i - S_{ii}|,$$

$$AARD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{S_i - S_{ii}}{S_i} \right|, Q = \sum_{i=1}^n (S_i - S_{ii})^2$$

式中, n 为样本量, k 为参数的个数, S_i 和 S_{ii} 分别为实测的和由方程计算得到的物种数量。 RSE 、 AAD 、 $AARD$ 的值越小表示模型拟合的效果越好^[1,13]。

1.3.3 群落最小面积确定

求解最小面积就是得到群落总物种数一定比

例 P ($0 < P < 1$) 的物种所需要的面积, 与以上 3 种曲线模型相对应的计算公式分别为^[13-16]:

$$A_1 = e^{\frac{PS_t - b}{a}}, A_2 = \left(\frac{PS_t}{a}\right)^{\frac{1}{b}}, A_3 = \frac{\frac{PS_t}{a}}{e^{\frac{1}{a}} - 1}$$

式中 A_1 、 A_2 、 A_3 为 3 种模型的群落最小面积; S_t 为拟合的群落总物种数; a 、 b 为模型中的参数; P 为比例因子。

2 结果和分析

2.1 基于实测值的最小面积确定

通过野外实测数据绘制得到鄱阳湖湿地 3 种类型草洲植物群落 3 个调查地点的植物物种数与取样面积关系曲线(图 3), 为了降低因随机取样造成的物种缺失现象, 以每个调查地点 3 个样地每个面积梯度内物种数的均值作为该调查地点此面积梯度内的物种数, 绘制实测种-面积曲线图(拟合种-面积曲线处理方法同之)。由图 3 可知, 3 个调查地点植物物种数随取样面积扩大均不断增加, 增加速率刚开始较快, 之后趋于平缓。基本可以确定 3 个调查地点取样面积都在 30 m^2 左右时, 曲线斜率开始趋于稳定。因此基于实测数据可将上述 3 个地点最小取样面积定为 30 m^2 , 最小面积对应的植物物种数分别为 6.0 (茶叶港)、11 (穿盔甲) 和 9.5 (炉子窑), 分别占样地总物种数的 90.0%、89.2% 和 98.3%。

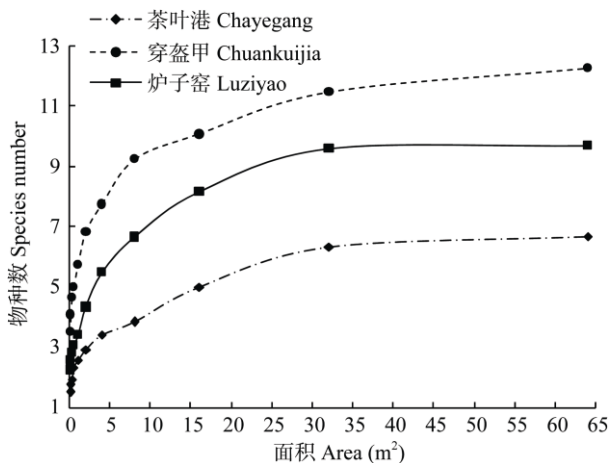


图 3 实测种-面积曲线

Fig. 3 Species-area curves based on measured data

2.2 种-面积曲线的拟合

基于巢式样方法调查得到的鄱阳湖湿地 3 个草

洲植物群落物种数据, 用种-面积曲线模型拟合得到曲线方程(表 2)。总体上, 3 个草洲植物群落用幂函数模型拟合的 RSE 、 AAD 、 $AARD$ 值最小, 表明幂函数模型对 3 个调查地点的植物群落种-面积关系拟合效果最好; Fisher 模型拟合的 RSE 、 AAD 、 $AARD$ 值最大, 表明对 3 个调查地点的植物群落种-面积关系拟合效果最差。3 个模型的拟合效果依次为: 幂函数模型 > 指数模型 > Fisher 模型。

种-面积曲线不仅要能够客观反映出物种数随取样面积变化所呈现的变化规律, 同时也要揭示出一定的生物学意义。首先, 任何一个描述种-面积关系的模型都应该满足物种数 S 是面积 A 的一个非减函数^[17]; 其次, 拟合的曲线在纵坐标轴上不能出现正的截距, 相应地在横坐标轴上不能有负的截距, 必须要有一定面积才会有物种出现^[18]。本文以 RSE 、 AAD 、 $AARD$ 作为模型的评价指标, 挑选出对 3 个草洲群落种-面积关系拟合效果最好的幂函数曲线, 绘制基于该模型的种-面积曲线(图 4), 评价模型的生物学意义。由图 4 可知, 幂函数模型满足以上两个条件, 故综合 RSE 、 AAD 、 $AARD$ 以及模型的生物学意义, 确定幂函数模型为拟合研究区 3 个草洲群落种-面积曲线的最佳模型。

2.3 基于模型的最小面积确定

将 3 种种-面积曲线拟合的各参数以及各调查点估算出的群落总物种数, 分别取比例因子 0.5、0.6、0.7、0.8、0.9, 计算各调查点群落最小面积(表 3)。结果表明, 不同种-面积曲线计算得到的群落最小面积差异很大, 且随着取样精度的提高(比例因子增大), 差异越明显。对比图 3, 指数模型在不同比例因子条件下计算出的 3 个调查地点群落最小面积普遍偏小; Fisher 模型计算出的不同比例因子条件

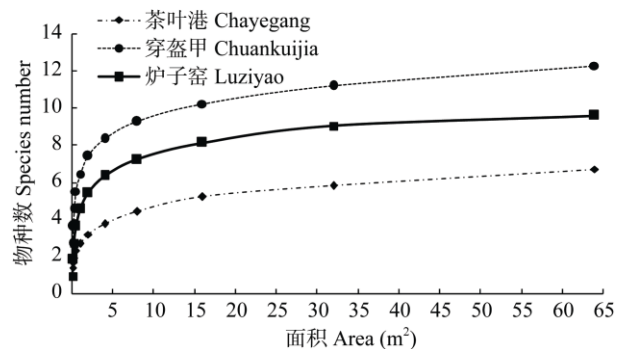


图 4 拟合种-面积关系的幂函数模型

Fig. 4 The power function model of fit species-area relationship

表 2 3 条种-面积曲线对 3 个调查地点的拟合参数

Table 2 Fitting parameters of three species-area curves in three survey sites

地点 Sites	模型 Model	参数 Parameter		RSE	AAD	AARD	P	R ²
		a	b					
茶叶港 Chayegang	幂函数 Power function	0.90	3.06	0.75	0.53	0.20	0.000	0.915
	指数 Index	2.69	0.24	0.35	0.23	0.06	0.000	0.988
	Fisher	0.90	9.80	0.85	0.62	0.25		
穿盔甲 Chuankuijia	幂函数 Power function	1.36	6.46	0.56	1.42	0.22	0.000	0.975
	指数 Index	5.95	0.20	0.35	0.17	0.02	0.000	0.995
	Fisher	1.36	54.81	1.13	0.87	0.14		
炉子窑 Luziyao	幂函数 Power function	1.30	4.54	0.91	1.42	0.34	0.000	0.927
	指数 Index	3.97	0.24	0.56	0.35	0.07	0.000	0.981
	Fisher	1.30	15.27	1.03	0.72	0.18		

表 3 3 条种面积曲线计算的 3 个调查点群落最小面积

Table 3 Minimum sampling areas of three survey sites calculated by three species-areas curves

地点 Sites	比例因子 Scale factor	模型 Model			实际值 Actual value
		幂函数 Power function	指数 Index	Fisher	
茶叶港 Chayegang	0.5	1.4	2.5	4.1	3.2
	0.6	2.9	5.3	8.8	6.8
	0.7	6.1	10.1	18.6	11.0
	0.8	12.9	17.7	39.3	18.0
	0.9	27.1	28.9	82.8	29.4
穿盔甲 Chuankuijia	0.5	0.8	1.2	1.7	1.8
	0.6	2.0	2.9	4.1	3.6
	0.7	4.9	6.3	10.2	5.4
	0.8	12.0	12.4	25.3	10.8
	0.9	29.7	22.3	62.5	24.6
炉子窑 Luziyao	0.5	1.3	2.3	2.6	2.8
	0.6	2.6	4.9	5.6	5.2
	0.7	5.5	9.2	11.9	9.7
	0.8	11.7	16.1	25.0	15.3
	0.9	24.5	26.3	52.7	25.2

下 3 个调查地点群落最小面积普遍偏大, 而根据幂函数模型计算出的不同比例因子条件下 3 个调查地点群落最小面积与实际情况很接近, 进一步验证了幂函数模型的拟合优度。

3 讨论

总体上, 各调查点随着高程的降低, 植物群落物种数在不断增加, 且随着取样面积的不断扩大, 群落物种数以南矶山国家级自然保护区的穿盔甲 > 永修县吴城镇的炉子窑 > 恒湖农场茶叶港, 这一方面是取样点高程的变化导致样地微环境(土壤含水量、土壤有机质等)出现差异^[19-20]。南矶山国家自然保护区穿盔甲、永修县吴城镇炉子窑两个地点位于鄱阳湖的下游区域, 相比位于上游的恒湖农场茶叶港草洲高程普遍较低, 草洲土壤含水量相对较高, 生长着许多喜湿性植物酸模(*Rumex acetosa*)、

三叶委陵菜(*Potentilla freyniana*)、蓼子草、水蓼等, 导致区域物种丰富度增加。另一方面在实地调查过程中观察到, 恒湖农场茶叶港草洲各调查点均以灰化藁草或藨草为群落优势种, 这两种植物生活习性以集群分布为主^[21], 且高度和盖度在群落中占据绝对优势, 生长过程中极易排挤其他物种, 降低群落物种数量^[22]。

巢式样方法绘出的 3 个调查地点群落种-面积曲线变化趋势较为一致。群落物种数随样方面积的扩大不断增加, 取样面积增加初期, 样方物种数增加速度较快; 到了后期, 样方物种数增加趋于平缓。这与蔡锰柯等^[2]研究杉木(*Cunninghamia lanceolata*)老齡林群落的种-面积关系, 用巢式样方法所绘制出的木本植物种-面积关系曲线变化趋势基本一致。本文选取 3 种常用非饱和曲线方程分别拟合研究区 3 个调查地点的群落种-面积关系, 并用 3 种模型拟合精度评价标准(RSE、AAD、AARD)判断拟合效果,

结果表明幂函数模型对 3 个调查点群落种-面积关系具有一致较好的拟合优度。李霞等^[13]研究塔里木河下游植物最小取样面积时,离河 50 m 的最佳群落种-面积曲线模型结果与本研究一致。相关研究表明,任何一个描述种-面积关系的模型都应该满足物种数 S 是面积 A 的一个非减函数^[17](条件 1),本研究中 3 条曲线方程均满足这一点。刘灿然等^[18]阐明,种-面积曲线还需满足当面积 $A > 0$, 物种数 $S > 0$ 条件,即拟合的曲线在纵坐标轴上不能出现正的截距,相对应的在横坐标轴上不能有负的截距,必须要有一定面积才会有物种出现(条件 2)。同时满足这两个条件的模型有幂函数模型、Fisher 模型。Buys 等^[17]进一步强调,对于任意区域,群落物种数 N 应视为模型中的 1 个参数,即当面积 A 不断增加,物种数量 S 应该逐渐趋于 N (条件 3),Williams^[23]和 de Carprariis^[24]也强调这一点。对模型的约束条件越多,曲线就越不灵活,拟合效果也就越差^[16]。有关曲线应用的灵活性也要考虑到研究群落的尺度大小,有研究表明,对于中小尺度的群落,其种-面积关系符合指数模型和幂函数模型^[5-6],本研究所设置的样地大小为 $8\text{ m} \times 8\text{ m}$,属中小尺度,指数模型、幂函数模型拟合效果较好,相比而言 Fisher 模型拟合效果要差,这与刘灿然等^[18]的研究结果不同,可能是研究区域不同的样地微环境、植物群落空间异质性所导致的。

基于上述 3 种模型求算不同比例因子下 3 个草洲群落的最小取样面积,拟合优度较高的幂函数模型的计算值与实际情况更为接近。当比例因子分别取 0.5、0.6、0.7、0.8、0.9 时,茶叶港、穿盔甲和炉子窑植物群落的最小取样面积分别为 2.5、5.3、10.1、17.7、28.9 m^2 ; 1.2、2.9、6.3、12.4、22.3 m^2 和 2.3、4.9、9.2、16.1、26.3 m^2 ,最小取样面积几乎都呈 2~3 倍的序列增长。当比例因子为 0.9 时,3 个调查地点最小取样面积普遍稳定在 30 m^2 左右,也与实际调查得到的 3 个地点最小取样面积相一致,因此可将 30 m^2 视为鄱阳湖湿地典型草洲的群落最小取样面积。

参考文献

- [1] ZHANG J T. Quantitative Ecology [M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2011: 56-57.
张金屯. 数量生态学 [M]. 第 2 版. 北京: 科学出版社, 2011: 56-57.
- [2] CAI M K, LIN K M, ZHAO C C, et al. Species-area relationship in old Chinese fir plantation [J]. J Beijing For Univ, 2014, 42(12): 67-70,79. doi: 10.3969/j.issn.1000-5382.2014.12.014.
蔡锰柯, 林开敏, 赵长存, 等. 杉木老龄林群落的种-面积关系 [J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(12): 67-70,79. doi: 10.3969/j.issn.1000-5382.2014.12.014.
- [3] DAI L M, WANG Q C, DENG H B, et al. Minimum sampling area and species richness of riparian community in Erdaobaihe forested watershed [J]. Chin J Appl Ecol, 2002, 13(6): 641-645.
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 [J]. 应用生态学报, 2002, 13(6): 641-645.
- [4] NIU J Y, XU H L, LI J M, et al. Minimum sampling area for desert riparian forest community in lower reaches of Tarim River [J]. Chin J Ecol, 2009, 28(6): 1182-1187.
牛俊勇, 徐海量, 李吉玫, 等. 塔里木河下游荒漠河岸林群落最小取样面积 [J]. 生态学杂志, 2009, 28(6): 1182-1187.
- [5] WILLIAMS C B. Area and number of species [J]. Nature, 1943, 152(3853): 264-267. doi: 10.1038/152264a0.
- [6] KILBURN P D. Exponential values for the species-area relation [J]. Science, 1963, 141(3587): 1276. doi: 10.1126/science.141.3587.1276.
- [7] ARCHIBALD E E A. The specific character of plant communities: II. A quantitative approach [J]. J Ecol, 1949, 37(2): 274-288. doi: 10.2307/2256609.
- [8] HE F L, LEGENDER P. On species-area relations [J]. Amer Nat, 1996, 148(4): 719-737.
- [9] DONG L, XU L G, XU J X, et al. Effects of soil environmental factors on vegetation distribution in shoaly wetlands typical to Poyang Lake [J]. Acta Pedol Sin, 2014, 51(3): 618-626. doi: 10.11766/trxb201307230347.
董磊, 徐力刚, 许加星, 等. 鄱阳湖典型洲滩湿地土壤环境因子对植被分布影响研究 [J]. 土壤学报, 2014, 51(3): 618-626. doi: 10.11766/trxb201307230347.
- [10] WANG X L, HAN J Y, XU L G, et al. Soil characteristics in relation to vegetation communities in the wetlands of Poyang Lake, China [J]. Wetlands, 2014, 34(4): 829-839. doi: 10.1007/s13157-014-0546-x.
- [11] ZHANG R, CHEN J Q, HOU Y C, et al. Relationships between plant species number and sampling area for sub-alpine meadow plant communities [J]. Chin J Ecol, 2013, 32(9): 2268-2274.
张蕊, 陈军强, 侯尧宸, 等. 亚高山草甸植物群落植物物种数与取样面积的关系 [J]. 生态学杂志, 2013, 32(9): 2268-2274.
- [12] KONG W J, XIA H J, ZHANG Y. Minimum sampling area for the monitoring of herb diversity in riparian zone of temperate rivers, China [J]. Ecol Res, 2016, 31(4): 547-555. doi: 10.1007/s11284-016-1363-x.
- [13] LI X, TANG J, WAN H M. Analysis on the minimum sampling area of

- vegetation survey in the lower reaches of the Tarim River [J]. *J Desert Res*, 2011, 31(5): 1221–1225.
- 李霞, 唐金, 万红梅. 塔里木河下游植物调查最小取样面积分析 [J]. *中国沙漠*, 2011, 31(5): 1221–1225.
- [14] REN X M, YANG G H, WANG D X, et al. Minimum sampling areas for shrub and herb layers of several types of plant communities in Taibai Mountain [J]. *Acta Bot Boreali-Occid Sin*, 2011, 31(5): 1024–1031.
- 任学敏, 杨改河, 王得祥, 等. 太白山几类植物群落灌木及草本层的最小取样面积研究 [J]. *西北植物学报*, 2011, 31(5): 1024–1031.
- [15] JI W T, ANWAR TUMUR. Minimal area for saxicolous lichens community in Tumur Peak National Nature Reserve of Xinjiang [J]. *J Arid Land Resour Environ*, 2016, 30(12): 153–156. doi: 10.13448/j.cnki.jalre.2016.398.
- 靳文婷, 艾尼瓦尔 吐米尔, 托木尔峰国家级自然保护区岩面生地衣群落最小面积的研究 [J]. *干旱区资源与环境*, 2016, 30(12): 153–156. doi: 10.13448/j.cnki.jalre.2016.398.
- [16] WANG X, CAO L, SUN J, et al. The minimum sampling area and species diversity for the key desert plant communities in Shapotou National Nature Reserve [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2014, 42(34): 12235–12238. doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2014.34.082.
- 王旭, 曹蕾, 孙杰, 等. 沙坡头国家级自然保护区荒漠植被关键群落的最小面积与物种多样性 [J]. *安徽农业科学*, 2014, 42(34): 12235–12238. doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2014.34.082.
- [17] BUYS M H, MARITZ J S, BOUCHER C, et al. A model for species-area relationships in plant communities [J]. *J Veget Sci*, 1994, 5(1): 63–66. doi: 10.2307/3235638.
- [18] LIU C R, MA K P, YU S L, et al. Plant community diversity in Dongling Mountain, Beijing, China: The fitting and assessment of species-area curves [J]. *Acta Phytocool Sin*, 1999, 23(6): 490–500.
- 刘灿然, 马克平, 于顺利, 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 [J]. *植物生态学报*, 1999, 23(6): 490–500.
- [19] DUAN H L, ZHAO A, YAO Z. Analysis of wetland plant-soil relationships and population niches in Chayegang marshland near Henghu Farm in the Poyang Lake region during the dry season [J]. *Acta Ecol Sin*, 2017, 37(11): 3744–3754. doi: 10.5846/stxb201604050614.
- 段后浪, 赵安, 姚忠. 恒湖农场茶叶港草洲枯水期湿地植物与土壤关系及种群生态位分析 [J]. *生态学报*, 2017, 37(11): 3744–3754. doi: 10.5846/stxb201604050614.
- [20] LIU Y, SHI J M, BIAN Z X, et al. The change of species-abundance distribution patterns of *Carex cinerascens* community along a hydrological gradient in the Poyanghu wetland [J]. *Pratacult Sci*, 2016, 33(1): 19–26. doi: 10.11829/j.issn.1001-0629.2014-0300.
- 刘扬, 施建敏, 边子星, 等. 鄱阳湖湿地灰化苔草群落物种多度分布格局沿水分梯度的变 [J]. *草业科学*, 2016, 33(1): 19–26. doi: 10.11829/j.issn.1001-0629.2014-0300.
- [21] GE G, ZHAO A N, ZHONG Y Y, et al. Patterns of dominant populations of plants in Islets of Poyang Lake [J]. *Wet Sci*, 2011, 9(1): 19–25.
- 葛刚, 赵安娜, 钟义勇, 等. 鄱阳湖洲滩优势植物种群的分布格局 [J]. *湿地科学*, 2011, 9(1): 19–25.
- [22] DUAN H L, ZHAO A, YAO Z. Species relationship between the plant species in typical marshland in Poyang Lake Region [J]. *Wet Sci*, 2017, 15(1): 107–113.
- 段后浪, 赵安, 姚忠. 鄱阳湖区典型草洲植物种间关联性研究 [J]. *湿地科学*, 2017, 15(1): 107–113.
- [23] WILLIAMS M R. An extreme-value function model of the species incidence and species-area relationships [J]. *Ecology*, 1995, 76(8): 2607–2616. doi: 10.2307/2265831.
- [24] de CAPRARIIS P, LINDEMANN R H, COLLINS C M. A method for determining optimum sample size in species diversity studies [J]. *J Int Assoc Math Geol*, 1976, 8(5): 575–581. doi: 10.1007/BF01042995.