

植物物种多样性与岛屿面积的关系

孙 雀^{1,*}, 卢剑波¹, 张凤凤¹, 徐高福²

(1. 浙江大学生命科学院, 杭州 310058; 2. 浙江省淳安县新安江开发总公司, 淳安 311700)

摘要: 由于水库蓄水导致千岛湖原有生境的破碎化和岛屿化。研究选取了 50 个岛屿, 共设立样方 70 个。调查这些岛屿上乔木和灌木的种类及数量, 选择 9 种曲线拟合岛屿面积与物种多样性指数之间的数学关系。结果发现: 乔木、灌木和木本物种数与岛屿面积关系拟合较好的是对数函数、幂函数和 S 型曲线, 其中对数函数为最优模型; 乔木、木本 Shannon-Wiener 多样性指数与岛屿面积关系拟合较好的是 S 型曲线和逆函数, 灌木 Shannon-Wiener 多样性指数与岛屿面积关系拟合不显著, 乔木和木本 Shannon-Wiener 多样性指数与较小岛屿 (y 小于 1 hm^2) 面积拟合呈 S 形曲线和逆函数, 而灌木 Shannon-Wiener 多样性指数与较大岛屿 (y 大于 1 hm^2) 面积拟合呈 S 形曲线和逆函数; 均匀度、优势度指数与面积拟合关系不显著。在岛屿面积较小时, 物种多样性指数随着面积的增加而迅速增加, 但在面积增加到一定限度时, 物种多样性指数增加的速率就逐渐变缓。植物物种数增加速率的转折点约为 4 hm^2 , 乔木、木本 Shannon-Wiener 多样性指数增加速率的转折点约为 1 hm^2 , 对面积小于的 1 hm^2 的岛屿进行拟合时发现, 乔木、木本 Shannon-Wiener 多样性指数增加速率的转折点在 $0.15 \sim 0.2 \text{ hm}^2$ 之间。

关键词: 千岛湖库区; 景观破碎化; 植物物种多样性; 种-面积曲线

文章编号: 1000-0933 (2009) 05-2195-08 **中图分类号:** Q142, Q145, Q16, Q948, X176 **文献标识码:** A

Plant species diversity in relation to island size

SUN Que^{1,*}, LU Jian-Bo¹, ZHANG Feng-Feng¹, XU Gao-Fu²

1 College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

2 Xinan River Development Corporation, Chunan 311700, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2195 ~ 2202.

Abstract: The Thousand-Island Lake was formed by dam construction that resulted in habitat fragmentation, that is, the formation of islands surrounded by water. We sampled trees and shrubs on 50 islands in the lake to examine relationships between island areas and species diversity with various curve fitting methods. Our results showed that logarithmic functions, power functions and S-type curves adequately described the relationship between island area and plant (trees, shrubs, and woody species) species richness, with logarithmic functions being the optimal model. S-type curves and inverse functions depicted relationships between Shannon-Wiener index of trees and woody plants and island area reasonably well, but were not good depictions of relationships between Shannon-Wiener index of shrubs and island area. On islands less than 1 hm^2 , the best species-area models were S-type curves and inverse functions for Shannon-Wiener index of trees and woody species; the same applies to Shannon-Wiener index of shrubs on islands larger than 1 hm^2 . The relationships between Simpson index or Pielou index of trees, shrubs, and woody plants and island area were not significant. Species diversity index increased rapidly with island size for small islands, but much more slowly for large islands. For all plants, the turning point of the rate of increase in species richness was about 4 hm^2 . For trees and woody species, the turning point of the rate of increase in Shannon-Wiener index was about 1 hm^2 , and was about $0.15 - 0.2 \text{ hm}^2$ when only islands less than 1 hm^2 were considered.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30570320)

收稿日期: 2008-01-09; **修订日期:** 2008-07-13

致谢: 感谢美国乔治亚理工学院蒋林博士对本文写作的帮助。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xingyingzi@163.com

Key Words: Thousand-island Lake region; landscape fragmentation; plant species diversity; species-area curve

生物多样性是人类赖以生存的物质基础^[1]。近年来,物种灭绝速率的加剧,遗传多样性的减少,以及生态系统特别是热带森林的大规模破坏,引起了国际社会对生物多样性问题的极大关注^[2~5]。景观破碎化或片段化是生物多样性丧失最主要的原因之一,它是指原始连续生境变成若干孤立的残存斑块并且原始生境面积减小的现象,主要表现为嵌块数量增加而面积缩小,嵌块形状趋于不规则,内部生境面积缩小,廊道被截断以及嵌块彼此隔离^[6~9]。在景观破碎化形成的小生境中,物种更容易受到环境、种群规模、遗传的随机影响,因此有较高的灭绝率^[10,11],而较大面积的生境拥有多种生境类型,适合更多对生境有要求物种的生长,因而有较多的物种^[12]。物种与面积关系一直是生态学的热点,可用于研究生境破碎化对物种多样性的影响^[13],被广泛应用于生物多样性保护的研究^[12,14]。幂函数是最早用于描述物种与面积关系的数量模型,随后很多学者开展了物种与面积的数学模型研究,目前有多种函数被用作物种与面积关系的拟合^[15],但很少有研究物种多样性指数与面积关系的文献。本文不仅研究了物种与面积之间的关系,也分析了 Shannon-Wiener 多样性指数,均匀度和优势度与岛屿面积的关系,旨在揭示岛屿面积对物种多样性的影响,利用岛屿面积与物种多样性指数之间的关系,为生物多样性保护提供理论依据,指导千岛湖库区区域的生物多样性保护。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域概况

千岛湖坐落在浙江省西部与安徽省南部交界的淳安县境内,地处 29°22' ~ 29°50' N, 118°34' ~ 119°15' E, 是 1958 年为建造新安江水电站而筑坝蓄水形成的人工湖。坝高 108 m, 坝长 462 m; 水库长约 150 km, 最宽处达 10 多公里; 在正常水位情况下, 水面面积 573 km², 库容量达 178.4 亿 m³。湖中有大小岛屿 1078 个 (>2500 m²), 岛屿面积 407 km², 湖水最深达 90 余 m, 平均水深 34 m, 能见度 9 ~ 14 m。千岛湖地处亚热带季风气候区的北缘, 一年四季分明, 年平均气温为 17 °C, 年平均降水量为 1429.9 mm, 蒸发量为 1381.5 mm, 相对湿度 76%。湖区四周群山叠翠, 森林繁茂, 动植物资源十分丰富, 有维管束植物 1824 种, 动物和昆虫 2000 余种, 湖区森林覆盖率达 89.5%^[16,17]。现建有千岛湖国家森林公园, 是我国著名的风景名胜区。调查岛屿空间分布见图 1。

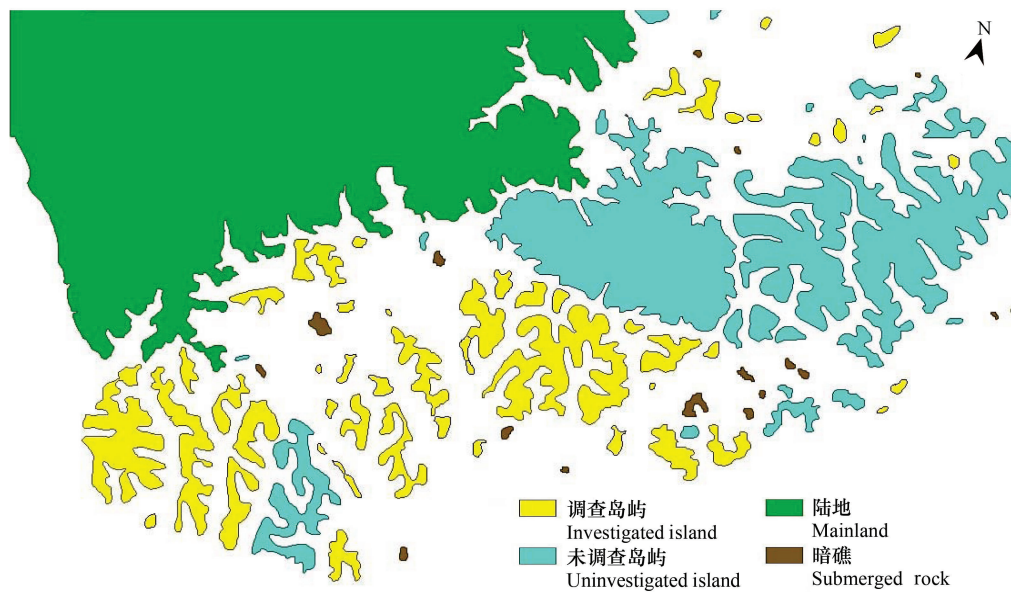


图 1 调查岛屿空间分布

Fig. 1 The spatial distribution of surveyed islands

1.2 研究方法

1.2.1 数据获取

在 2006 年 3~6 月、2006 年 8 月和 10 月进行野外调查。选取 50 个岛屿作为样地,其中面积 $y \leq 1 \text{ hm}^2$ 的岛屿 30 个, $1 \text{ hm}^2 \leq y \leq 5 \text{ hm}^2$ 的岛屿 17 个和 $y \geq 5 \text{ hm}^2$ 的岛屿 3 个。在岛屿中设 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 的样方,调查乔木的种类和数量,将乔木样方分为 36 个 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 的小样方,随机抽取一个调查灌木的种类和数量。在比例尺为万分之一的地形图上制作 $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ 的栅格,图上 2 cm 代表实际长度 0.2 km ,一个栅格面积为 4 hm^2 。按照栅格取样,对于面积小于 1 hm^2 的小岛进行普查,面积在 $1 \sim 4 \text{ hm}^2$ 的岛屿随机设一个样方,面积在 $4 \sim 8 \text{ hm}^2$ 的岛屿随机设 2 个样方,以此类推,共调查乔木和灌木样方各 70 个。

基本地理数据源为比例尺 1:10000 的千岛湖小金山林场山林现状图。

1.2.2 数据处理

(1) 物种多样性计算

本研究采用以下几个指数:

物种丰富度

$S = \text{出现在样地的物种数}$

Shannon-Wiener 多样性指数

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

Simpson 优势度指数

$$D = \sum_{i=1}^S P_i^2$$

Pielou 均匀度指数

$$J = (- \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i) / \ln S$$

式中, P_i 为第 i 种的个体数 N_i 占有所有个体总数 N 的比例,即 $P_i = N_i / N, i = 1, 2, 3, \dots, S, S$ 为样地中的物种数量^[18~20]。

(2) 统计分析

选择二次函数($y = a + b + cx^2$)、复合函数($y = a(b)^x$)、生长函数($y = \exp(a + bx)$)、对数函数($y = a + b \ln x$)、S 型曲线($y = \exp(a + b/x)$)、指数函数($y = a \exp(bx)$)、逆函数($y = a + b/x$)、幂函数($y = ax^b$)、逻辑函数($y = (1/v + abx)^{-1}$)等 9 种曲线对物种多样性指数和面积进行曲线拟合,选取拟合较好的曲线对物种多样性指数与岛屿面积关系进行分析,所有统计分析均在 SPSS15.0 统计软件中完成。

2 结果与分析

2.1 物种丰富度分析

从本文选定的 9 种曲线方程的拟合结果来看,对数函数、幂函数和 S 型曲线这 3 种曲线对物种数与面积关系的拟合较好,相应的物种-面积曲线方程见表 1。乔木物种数、木本物种数与岛屿面积的 3 种函数关系

表 1 植物物种数与岛屿面积曲线拟合结果

Table 1 Results of different models of the relationships between plant species richness and island area

植物类型 Plant type	曲线方程 Curve equation	参数 Parameter		相关系数 R^2	F	P
		a	b			
乔木 Tree	$y = a + b \ln x$	12.645	3.107	0.654	90.731	0.000
	$y = axb$	11.457	0.282	0.581	66.491	0.000
	$y = \exp(a + b/x)$	2.667	-0.114	0.472	42.859	0.000
灌木 Shrub	$y = a + b \ln x$	19.952	4.379	0.698	110.992	0.000
	$y = axb$	18.492	0.259	0.588	68.367	0.000
	$y = \exp(a + b/x)$	3.158	-0.117	0.602	72.633	0.000
木本 Woody	$y = a + b \ln x$	32.597	7.468	0.731	130.284	0.000
	$y = axb$	30.223	0.262	0.655	91.014	0.000
	$y = \exp(a + b/x)$	3.636	-0.112	0.601	72.251	0.000

都极显著,但在这3种曲线中,对数函数的相关系数最大, R^2 分别为0.654和0.731,因此认为对数函数最符合乔木物种数、木本物种数与岛屿面积的关系,其次是幂函数和S型曲线(图2,图4)。同样的,灌木物种数与面积拟合较好的是对数函数,其次是S型曲线和幂函数(图3)。选择最优曲线对数函数,在岛屿面积较小时,乔木、灌木、木本物种数随着面积的增加而迅速增加,但随着面积的不断增大,乔木、灌木、木本物种数增加速率开始减慢,物种数增加的转折点约位于 4 hm^2 。

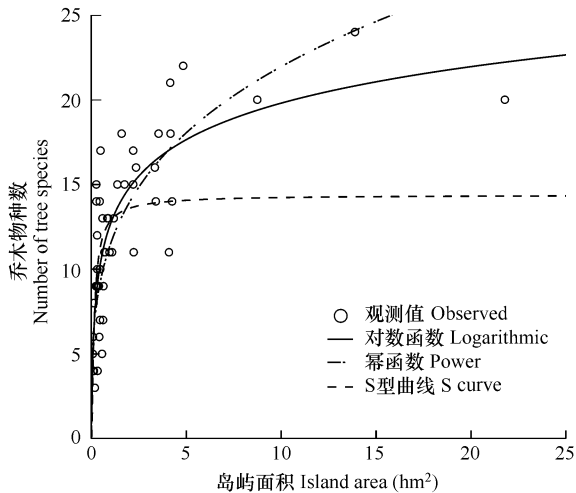


图2 乔木物种数与岛屿面积的关系

Fig. 2 The relationship between tree species richness and island area

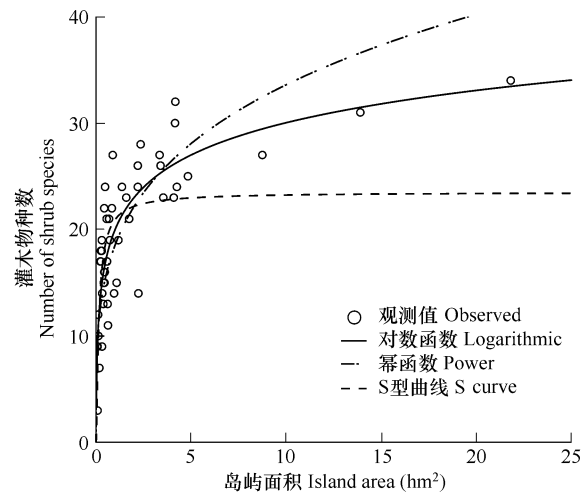


图3 灌木物种数与岛屿面积的关系

Fig. 3 The relationship between shrub species richness and island area

2.2 物种 Shannon-Wiener 多样性分析

对乔木、灌木、木本 Shannon-Wiener 多样性指数和岛屿面积进行曲线拟合,只有S型曲线和逆函数通过 F 检验,但对面积小于 1 hm^2 的岛屿进行木本 Shannon-Wiener 多样性指数与面积拟合时,9种拟合曲线都通过了 F 检验,取拟合较好的S型曲线和逆函数,相应的曲线方程见表2。乔木 Shannon-Wiener 多样性指数与岛屿面积拟合较好的是S形曲线(图5),木本 Shannon-Wiener 多样性指数与岛屿面积拟合较好的是逆函数(图6),灌木多样性指数与岛屿面积的拟合关系不显著。对面积小于 1 hm^2 的岛屿作乔木、灌木、木本 Shannon-Wiener 多样性指数与面积曲线拟合,发现乔木、木本 Shannon-Wiener 指数与面积拟合较好的是逆函数(图7,图8),而灌木 Shannon-Wiener 多样性指数与面积拟合不显著。对大于 1 hm^2 的岛屿作乔木、灌木、木本 Shannon-Wiener 多样性指数与面积的曲线拟合,发现灌木 Shannon-Wiener 指数与面积拟合较好的是S形曲线(图9),而乔木、木本 Shannon-Wiener 多样性指数与面积拟合不显著。

在面积较小时,乔木、木本 Shannon-Wiener 多样性指数随着岛屿面积的增加而迅速增加,但随着岛屿面积的增加,乔木和木本 Shannon-Wiener 多样性指数增长逐渐变缓,Shannon-Wiener 多样性指数增长的转折点约位于 1 hm^2 。对面积小于的 1 hm^2 的岛屿进一步拟合发现,乔木、木本 Shannon-Wiener 多样性指数增加速率的

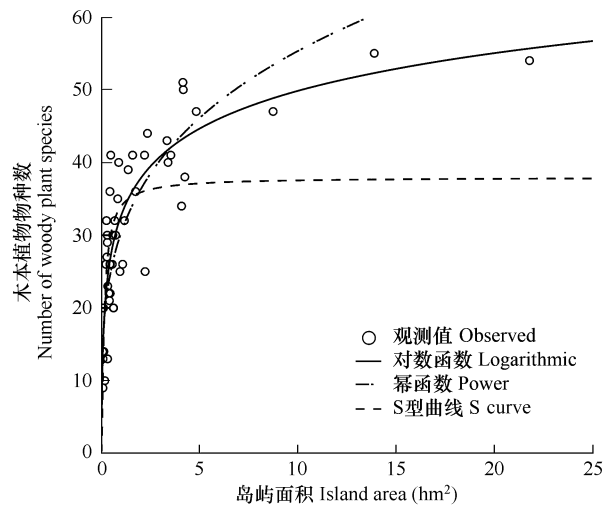


图4 木本植物物种数与岛屿面积的关系

Fig. 4 The relationship between woody plant species richness and island area

转折点在 0.15 ~ 0.2 hm² 之间。

表 2 植物物种 Shannon-Wiener 指数与岛屿面积曲线拟合结果

Table 2 The results of different models of the relationship between Shannon-Wiener index of plant species and		曲线方程 Curve equation	参数 Parameters		相关系数 <i>R</i> ²	<i>F</i>	<i>P</i>
植物类型 Plant type	岛屿类型 Island type		<i>a</i>	<i>b</i>			
乔木 <i>Tree</i>	全部岛屿 <i>The whole islands</i>	$y = a + b/x$	1.447	-0.040	0.116	6.323	0.015
		$y = \exp(a + b/x)$	0.346	-0.034	0.119	6.499	0.014
	面积小于 1 hm ² 的岛屿 <i>The island which area was less than 1 hm²</i>	$y = a + b/x$	1.450	-0.040	0.146	4.805	0.037
灌木 <i>Shrub</i>		$y = \exp(a + b/x)$	0.358	-0.036	0.143	4.670	0.039
	面积大于 1 hm ² 的岛屿 <i>The island which was area more than 1 hm²</i>	$y = a + b/x$	2.180	-0.662	0.201	4.539	0.047
木本 <i>Shrub</i>		$y = \exp(a + b/x)$	0.801	-0.436	0.203	4.594	0.046
	全部岛屿 <i>The whole islands</i>	$y = a + b/x$	2.320	-0.039	0.138	7.715	0.008
		$y = \exp(a + b/x)$	0.835	-0.019	0.136	7.555	0.008
	面积小于 1 hm ² 的岛屿 <i>The island which was area less than 1 hm²</i>	$y = a + b/x$	2.402	-0.051	0.249	9.280	0.005
		$y = \exp(a + b/x)$	0.873	-0.024	0.247	9.177	0.005

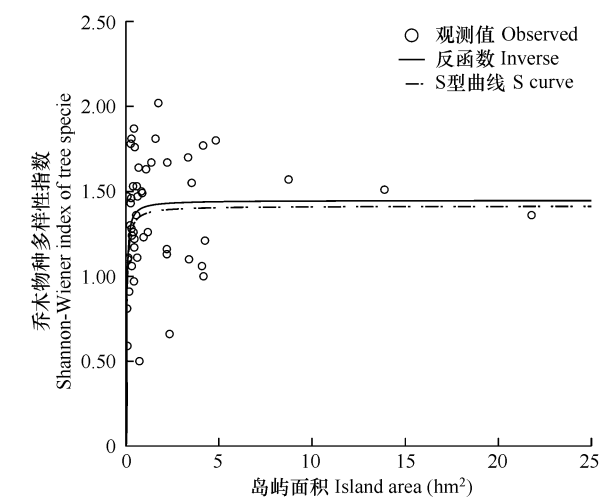


图 5 乔木物种多样性指数与岛屿面积的关系

Fig. 5 The relationship between Shannon-Wiener index of tree species and island area

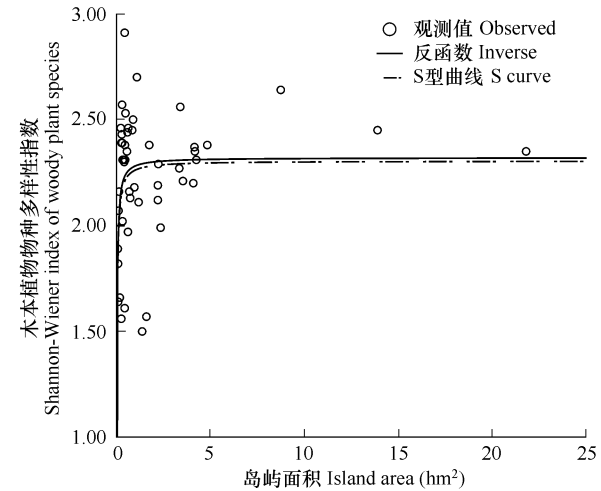


图 6 木本植物物种多样性指数与岛屿面积的关系

Fig. 6 The relationship between Shannon-Wiener index of woody plant species and island area

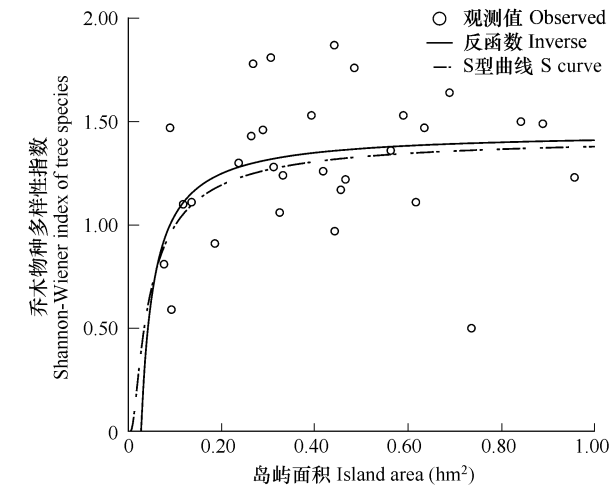


图 7 乔木物种多样性指数与岛屿面积($y \leq 1 \text{ hm}^2$)的关系

Fig. 7 The relationship between Shannon-Wiener index of tree species and area of islands less than 1 hm²

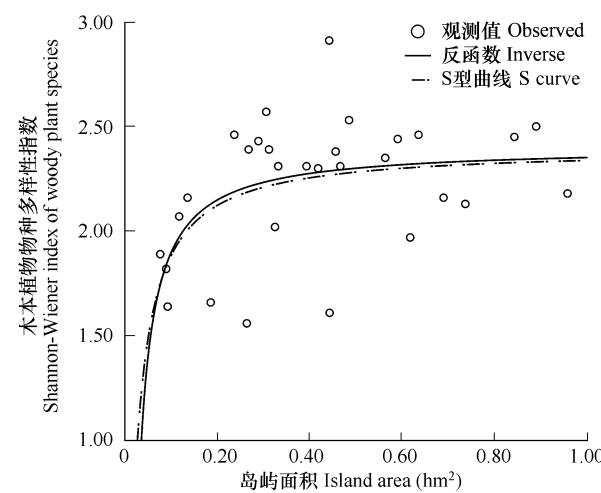


图 8 木本植物多样性指数与岛屿面积($y \leq 1 \text{ hm}^2$)的关系

Fig. 8 The relationship between Shannon-Wiener index of woody plant species and area of islands less than 1 hm²

2.3 物种优势度和均匀度指数分析

物种的优势度和均匀度指数见表3。

表3 各岛屿植物物种的优势度和均匀度指数

Table 3 Simpson and Pielou indices of plant species on each island

岛屿 Island	面积 Area (hm ²)	优势度(D) Simpson index			均匀度(J) Pielou index		
		乔木 Tree	灌木 Shrub	木本 Woody	乔木 Tree	灌木 Shrub	木本 Woody
1	0.077	0.62	0.19	0.27	0.50	0.87	0.71
2	0.090	0.28	0.48	0.21	0.82	0.78	0.83
3	0.093	0.71	0.20	0.34	0.43	0.85	0.64
4	0.118	0.45	0.21	0.19	0.53	0.74	0.69
5	0.136	0.43	0.25	0.16	0.69	0.95	0.82
6	0.186	0.45	0.24	0.26	0.83	0.82	0.72
7	0.237	0.39	0.11	0.15	0.59	0.85	0.75
8	0.264	0.34	0.55	0.35	0.53	0.57	0.52
9	0.268	0.27	0.19	0.14	0.67	0.86	0.74
10	0.289	0.31	0.23	0.13	0.67	0.69	0.74
11	0.306	0.20	0.29	0.13	0.73	0.67	0.76
12	0.312	0.39	0.21	0.15	0.56	0.70	0.71
13	0.325	0.39	0.29	0.17	0.76	0.71	0.79
14	0.332	0.44	0.15	0.17	0.56	0.82	0.74
15	0.393	0.30	0.16	0.16	0.70	0.83	0.75
16	0.418	0.35	0.14	0.15	0.70	0.83	0.75
17	0.442	0.21	0.12	0.08	0.71	0.80	0.81
18	0.444	0.58	0.38	0.29	0.42	0.76	0.6
19	0.456	0.34	0.12	0.12	0.72	0.76	0.77
20	0.466	0.44	0.18	0.18	0.53	0.77	0.71
21	0.485	0.25	0.28	0.13	0.62	0.60	0.68
22	0.563	0.31	0.24	0.14	0.84	0.64	0.72
23	0.590	0.33	0.13	0.16	0.60	0.81	0.72
24	0.617	0.49	0.30	0.25	0.57	0.67	0.66
25	0.635	0.31	0.15	0.11	0.67	0.86	0.82
岛屿 Island	面积 Area (hm ²)	优势度(D) Simpson index			均匀度(J) Pielou index		
		乔木 Tree	灌木 Shrub	木本 Woody	乔木 Tree	灌木 Shrub	木本 Woody
26	0.689	0.31	0.27	0.20	0.75	0.76	0.74
27	0.736	0.81	0.14	0.22	0.21	0.77	0.63
28	0.842	0.33	0.26	0.14	0.58	0.64	0.69
29	0.889	0.39	0.15	0.12	0.58	0.85	0.77
30	0.957	0.63	0.25	0.16	0.76	0.83	0.85
31	1.091	0.24	0.13	0.08	0.74	0.87	0.86
32	1.183	0.45	0.19	0.17	0.6	0.86	0.75
33	1.372	0.27	0.63	0.41	0.69	0.51	0.54
34	1.598	0.25	0.46	0.43	0.69	0.54	0.47
35	1.750	0.16	0.29	0.18	0.88	0.64	0.73
36	2.204	0.53	0.19	0.15	0.45	0.86	0.72
37	2.204	0.53	0.28	0.21	0.44	0.75	0.67
38	2.232	0.27	0.28	0.15	0.76	0.71	0.78
39	2.354	0.75	0.30	0.24	0.25	0.59	0.6
40	3.345	0.27	0.12	0.09	0.64	0.87	0.79
41	3.399	0.52	0.11	0.09	0.48	0.92	0.82
42	3.451	0.41	0.22	0.20	0.56	0.74	0.64
43	4.089	0.54	0.22	0.18	0.48	0.77	0.72
44	4.155	0.30	0.23	0.18	0.6	0.73	0.67
45	4.173	0.57	0.19	0.15	0.42	0.76	0.72
46	4.254	0.47	0.25	0.18	0.49	0.74	0.71
47	4.835	0.25	0.19	0.16	0.64	0.78	0.69
48	8.744	0.41	0.15	0.12	0.53	0.8	0.73
49	13.889	0.44	0.22	0.17	0.5	0.71	0.66
50	21.785	0.41	0.24	0.18	0.49	0.66	0.65

对岛屿面积和均匀度、优势度指数进行曲线拟合发现,均匀度、优势度指数与岛屿面积关系均不显著($P > 0.05$),说明岛屿面积与优势度、均匀度指数没有相关性。

3 讨论

3.1 在众多拟合物种数与面积关系的函数中,幂函数、对数函数是被广泛应用的两种曲线^[15],本文的结果进一步支持了这两种曲线对物种数与面积关系的适用性,其中对数函数最符合物种数与岛屿面积的关系,幂函数所得的 Z 值在0.26左右,符合理论上的预测值^[21]。在拟合时,S型曲线也较好的拟合了物种数与面积关系,但并没有出现一些文献所预测的小岛效应^[21,22],小岛屿上物种数的变化仍受面积的影响。

3.2 Shannon-Wiener 多样性指数与面积关系不呈经典的幂函数或对数函数模型,而是与逆函数和S型曲线拟合较好,这是因为 Shannon-Wiener 多样性指数不仅取决于物种数,也与物种的个体数目有关。均匀度和优势度与面积拟合关系不显著,说明在各种面积的岛屿中,常见种和稀有种的相差不大,群落中物种比较均匀或随机。乔木、木本 Shannon-Wiener 多样性指数与岛屿面积、较小岛屿($y \leq 1 \text{ hm}^2$)的面积拟合显著,而灌木只与较大岛屿($y \geq 1 \text{ hm}^2$)面积拟合显著,可能是因为乔木物种生存所需的面积较大,随着面积增加,能容纳更多的乔木物种生长,也使乔木生存的几率更高。而灌木的生存所需面积较小,在较小岛屿上物种增长变化不明显,在达到一定的面积后,生境的多样性导致物种数和个体数有较快的增长。

3.3 一般认为,面积越大,物种越多,所以保护物种多样性应建立大保护区,但本文结果显示,在面积较小时,物种数增加迅速,面积较大时,增加开始变缓,说明较小面积的岛屿具有较多的物种,在进行物种保护时,也要注意对小型岛屿的保护。利用物种数、Shannon-Wiener 多样性指数与岛屿面积的关系曲线可以得出物种保护所需的面积,指导保护区的建立。

References:

- [1] Hammond R A, Hudson M D. Environmental management of UK golf courses for biodiversity-attitudes and actions. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 83(2-3): 127—136.
- [2] Bengtsson J, Nilsson S G, Francet A, *et al.* Biodiversity, disturbances, ecosystem function and management of European forests. *Forest Ecology and Management*, 2000, 132(1): 39—50.
- [3] Sala O E, Chapin III F S, Armesto J J, *et al.* Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 2000, 287(5459): 1770—1774.
- [4] Liu J G, Ouyang Z Y, Pimm S L, *et al.* Protecting China's Biodiversity. *Science*, 2003, 300(5623): 1240—1241.
- [5] Brooks T M, Mittermeier R A, da Fonseca G A B, *et al.* Global Biodiversity Conservation Priorities. *Science*, 2006, 313(5783): 58—61.
- [6] Tan F F, An S Q, Zhuo Y N, *et al.* Effect of landscape fragmentation on plant population. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(3): 43—48.
- [7] Lienert J. Habitat fragmentation effects on fitness of plant populations-a review. *Journal for Nature Conservation*, 2004, 12(1): 53—72.
- [8] Manu S, Peach W, Cresswell W. The effects of edge, fragment size and degree of isolation on avian species richness in highly fragmented forest in West Africa. *Ibis*, 2007, 149(2): 287—297.
- [9] Kiviniemi K. Effects of fragment size and isolation on the occurrence of four short-lived plants in semi-natural grasslands. *Acta Oecologica*, 2008, 33(1): 56—65.
- [10] Hobbs R J, Yates C J. Impacts of ecosystem fragmentation on plant populations: generalising the idiosyncratic. *Australian Journal of Botany*, 2003, 51(5): 471—488.
- [11] Matthies D, Brauer I, Maibom W, *et al.* Population size and the risk of local extinction: empirical evidence from rare plants. *Oikos*, 2004, 105(3): 481—488.

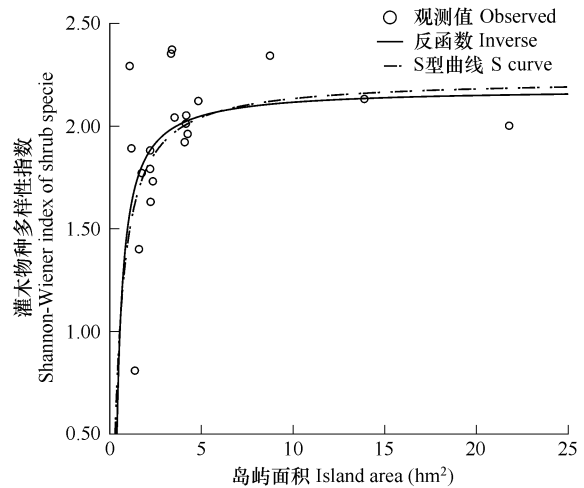


图9 灌木多样性指数与岛屿面积($S \geq 1 \text{ hm}^2$)的关系

Fig. 9 The relationship between Shannon-Wiener index of shrub species and area of islands larger than 1 hm^2

- [12] Cagnolo L, Cabido M, Valladares G. Plant species richness in the Chaco Serrano Woodl and from central Argentina: Ecological traits and habitat fragmentation effects. *Biological Conservation*, 2006, (32): 510—519.
- [13] Collins M D, Vazquez D P, Sanders N J. Species-area curves, homogenization and the loss of global diversity. *Evolutionary Ecology Research*, 2002, 4(3): 457—464.
- [14] Chong G W, Stohlgren T J. Species-area curves indicate the importance of habitats' contributions to regional biodiversity. *Ecological Indicators*, 2007, 7(2): 387—395.
- [15] 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. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23(6): 490—500.
- [16] Xu G F, Zhang L G, Xu J L, *et al.* Resources of forest plants and its eco-economical effect in Thousand-island Lake region. *Forest Inventory and Planning*, 2005, 30(5)(suppl): 21—23.
- [17] Xu G F. Situation and countermeasures on the management of forest ecological environment in Thousand-island Lake. *Protection forest science and Technology*, 2007, (1): 53—54, 57.
- [18] Ma K P, Liu Y M. Methods of measure the bio-communities biodiversity I. α diversity (II). *Chinese Biodiversity*, 1994, 2(4): 231—239.
- [19] Liu C R, Ma K P, Lu Y H, *et al.* Measurement of biotic community diversity IV. the statistical aspects of diversity measures. *Biodiversity Science*, 6(3): 229—239.
- [20] Wu J G. *Landscape Ecology—Pattern, Progress, Scale and Hierarchy*(2nd edition). Beijing: Higher Education Press. 2007. 108.
- [21] Lomolino M V. The species-area relationship: new challenges for an old pattern. *Progress in Physical Geography*, 2001, 25(1): 1.
- [22] Lomolino M V and Weiser M D. Towards a more general species-area relationship: diversity on all islands, great and small. *Journal of Biogeography*, 2001, 28(4): 431—445.

参考文献:

- [6] 覃凤飞, 安树青, 卓元午, 等. 景观破碎化对植物种群的影响. *生态学杂志*, 2003, 22(3): 43~48.
- [15] 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. *植物生态学报*, 1999, 23(6): 490~500.
- [16] 徐高福, 张立功, 余觉来, 等. 千岛湖区森林植物资源及其生态经济效益. *林业调查规划*, 2005, 30(B05): 21~23.
- [17] 徐高福. 千岛湖森林生态环境现状与经营对策. *防护林科技*, 2007, (1): 53~54, 57.
- [18] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I. α 多样性的测度方法(下). *生物多样性*, 1994, 2(4): 231~239.
- [19] 刘灿然, 马克平, 吕延华, 等. 生物群落多样性的测度方法 IV. 与多样性测度有关的统计问题. *生物多样性*, 1998, 6(3): 229~239.
- [20] 邬建国. *景观生态学-格局, 过程, 尺度与等级*. 北京: 高等教育出版社(第二版), 2007. 108.