

千岛湖岛屿化对植物多样性的影响初探^{*}卢剑波^{1,*} 丁立仲¹ 徐高福²⁽¹⁾ 浙江大学生命科学院农业生态研究所, 杭州 310029; ⁽²⁾ 浙江省淳安县新安江开发总公司, 淳安 311700)

【摘要】 选取千岛湖典型破碎化区域, 研究了水库形成后引起的岛屿化对植物物种多样性的影响。在 18 个大中小型岛屿和一处陆地对照中设立了 26 个样方, 调查乔木和灌木的种类和数量。乔木物种丰富度的单因素方差分析显示: $F=13.055$, $P=0.000$, 说明各类岛屿间乔木物种差异极显著。多重比较发现大岛上乔木物种丰富度显著高于小岛和中岛, 与对照陆地差别不大; 灌木的分析显示: $F=1.315$, $P=0.295$, 说明小、中、大岛和对照陆地灌木物种丰富度差异不显著。Spearman 相关性分析显示乔木物种与岛屿面积显著相关, 随岛屿面积增大而增加, 而灌木物种相关性不显著。Shannon 多样性指数分析表明, 无论乔木还是灌木其多样性都是大岛最大, 陆地次之, 而小岛上灌木多样性指数大于中岛。Simpson 优势度和 Pielou 均匀度分析显示, 乔木样地中大岛的物种分布均匀性最好, 优势种的优势度最低, 而灌木样地中小岛的均匀度最高, 优势种的优势度最不明显。

关键词 千岛湖 景观破碎化 生物多样性 乔木 灌木

文章编号 1001-9332(2005)09-1672-05 **中图分类号** Q948.158;S812.05 **文献标识码** A

Effects of islanding on plant species diversity in Thousand-island Lake region. LU Jianbo¹, DING Lizhong¹, XU Gaofu² (¹ Institute of Agroecology, College of Life Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; ² Xinan River Development Corporation, Chun'an 311700, China). *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2005, 16(9): 1672~1676.

In this paper, the typical area of fragmentation in Thousand-island Lake region was selected to study the effects of islanding on plant species diversity after reservoir built. 26 quadrates were installed on 18 small, medium and large islands to investigate the species and number of trees and shrubs, with inland as the control. One-way variance analysis (ANOVA) showed that the species richness of trees was significantly different ($F=13.055$, $P=0.000$) among all kinds of islands, which was significantly higher on large islands than on small and medium ones, but not significantly different from that on inland. The species richness of shrubs was not significantly different among all kinds of islands and inland. Spearman correlation analysis showed that the species richness of trees was significantly positively correlated with island area, while the correlation between species richness of shrubs and island area was not significant. Shannon-Wiener Index (H) analysis suggested that the diversity of both trees and shrubs on large islands was the highest, followed by on inland, but the diversity of shrubs was larger on small than on medium islands. The analysis of Simpson index and Pielou index showed that the species evenness of trees was the highest, but the dominance was the lowest on medium and large islands, while the species evenness of shrubs was the highest on medium and small islands, but the dominance was the lowest on small islands.

Key words Thousand-Island Lake, Landscape fragmentation, Biodiversity, Tree, Shrub.

1 引言

景观生态学强调系统的等级结构、空间异质性、时空尺度效应以及人类活动影响。而人类活动的加剧导致了景观破碎化对生物多样性的影响日趋严重。景观破碎化是指由于自然或人为因素干扰所导致的景观由简单趋向于复杂的过程^[12,21,23], 主要表现为斑块数量增加和面积缩小、斑块形状趋向不规则、内部生境面积缩小、廊道被隔断以及斑块彼此隔离。景观破碎化会对其中生存的物种带来一系列的影响, 如种群的大小和灭绝速率、扩散和迁入、种群遗传和变异、种群存活力等; 改变生态系统中的一系

列重要关系, 如捕食者-食物、寄生物-寄主、传粉者-植物以及共生关系等^[2,6,7,9,10,27]。因此, 景观破碎化是生物多样性丧失的重要原因之一^[8,23]。

人类活动造成景观破碎化的形式多样, 由于修建大坝形成的水库蓄水而造成的景观破碎化是其中的一种, 也可以称之为岛屿化。这种大强度人为破碎化造成的物种多样性变化已引起学者们强烈关注^[20,25,26]。委内瑞拉的 Guri 湖是 1986 年修建大坝而形成的, 在湖中的小岛 ($<1 \text{ hm}^2$) 上 15 年内迅速

* 国家自然科学基金资助项目 (30030030)。

** 通讯联系人。

2005-01-04 收稿, 2005-04-19 接受。

丧失了 75% 的物种,所有岛上 4 年内丧失了顶级食肉动物.在 1931 年建坝的 Gatun 湖的大岛上($>150\text{ hm}^2$),50 年内丧失了 45% 的鸟类物种^[4,20].已有研究主要集中于景观破碎化(岛屿化)对动物多样性的影响,而对植物多样性的影响则很少关注.千岛湖蓄水之前,库区森林几乎破坏殆尽,荒山是整个景观中的主导斑块;水库形成后,当地政府采取了多种措施促进库区植被的恢复^[5,11].本研究选取千岛湖典型破碎化(岛屿化)区域,研究了水库形成后引起的景观破碎化对植被恢复过程中植物种类多样性的影响,弥补了破碎化(岛屿化)对生物多样性影响研究的不足,可以为大型水利工程或大范围人为干扰工程的规划与实施提供参考,为淹没区域的生物保护提供科学依据.

2 研究区域与研究方法

2.1 研究区概况

新安江大坝位于钱塘江上游的新安江段(浙江省境内).大坝建成于 1959 年,是我国自行设计与建造的第一座大型水库,坝高 108 m,建坝后形成的水库水域面积 573 km^2 (98% 在浙江省淳安县境内),库容量达 17.8 km^3 ,最大库容量为 22 km^3 ,因湖内有 $2\,500\text{ m}^2$ 以上岛屿 1 078 个,故称千岛湖.千岛湖介于 $118^{\circ}34'\sim 119^{\circ}15'\text{E}$, $29^{\circ}22'\sim 29^{\circ}50'\text{N}$ 之间,东西长 60 km,南北宽 50 km,正常水位 108 m(黄海高程),水库回水到安徽省歙县,最深处达 97 m,平均水深 34 m,多年入湖流量 9.45 km^3 ,出境水量 9.107 km^3 ,平均径流量 4.85 km^3 ,流域面积 $10\,442\text{ km}^2$ (60% 在安徽省境内).境内主要河流有新安江、武强溪、富强溪等 20 余条,自四周向中间汇集于千岛湖,经铜官大坝泄洪,东流建德与兰江合流,汇入钱塘江.现建有千岛湖国家森林公园,是我国著名的风景旅游区.

2.2 研究方法

2.2.1 野外调查 调查在 2004 年春季进行,即岛屿形成(水库形成)后 45 年.调查中根据 John Terborgh 等^[20]的研究方法,结合研究区域实际状况,将千岛湖内岛屿按面积大小分为 3 个等级:小型岛屿($0.01\text{ hm}^2<S\leq 1\text{ hm}^2$)、中型岛屿($1\text{ hm}^2<S\leq 50\text{ hm}^2$)和大型岛屿($S>50\text{ hm}^2$)^[11].选择了 6 个小型岛屿、7 个中型岛屿和 5 个大型岛屿作为样地,选择群落结构相同的同纬度湖区边缘陆地作为对照.在岛屿和陆地分别选取 $20\text{ m}\times 20\text{ m}$ 的样方,调查乔木种类和数量^[19,28].将乔木样方分为 16 个 $5\text{ m}\times 5\text{ m}$ 的小样方,随机选择一个调查其中灌木的种类和数量.根据岛屿的面积大小确立样方数量,在每个小岛和中岛设立 1 个样方,在每个大岛和对照陆地设立 2~3 个样方,共设立了乔木样方和灌木样方各 26 个.样地选取以生境条件的相似性为标准.用全球定位系统(GPS)实地测量每个样地岛屿的面积.

2.2.2 资料分析与计算 选取了物种丰富度指数、多样性指

数、优势度指数和均匀度指数,对取样方内的物种种类(乔木和灌木物种)与岛屿面积的关系进行统计分析,建立回归数学模型.

物种丰富度: $S = \text{出现在样地的物种数}$ (1)

Shannon-Wiener 多样性指数: $H = -\sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i)$ (2)

Simpson 优势度指数: $D = \sum_{i=1}^s P_i^2$ (3)

Pielou 均匀度指数: $J = \left[-\sum_{i=1}^s (P_i \ln P_i) \right] / \ln S$ (4)

式中, P_i 为第 i 种的个体数 N_i 占有所有个体总数的比例,即 $P_i = N_i / N$, $i = 1, 2, 3, \dots, S$, S 为样地中的物种数量^[1,14,16,24].

通过对样地调查的各项指标计算,得到表 1.

3 结果与分析

3.1 物种丰富度变化

对所取大小岛屿和陆地样地中的乔木种类进行以面积为因子的单因素方差分析,结果表明, $F(3, 22) = 13.055$, $P = 0.000$,说明组间存在极显著差异.用 LSD 法进行多重比较发现,小岛和中岛、中岛和陆地以及大岛和陆地之间物种丰富度差异不显著(P 值分别为 0.141、0.231 和 0.052),小岛和陆地之间差异显著($P = 0.026$),小岛和大岛、中岛和大岛之间差异极显著.说明小岛上乔木物种数量显著低于大岛和陆地,与中岛没有显著差别;中岛的乔木物种显著低于大岛,而与陆地没有显著差异;大岛上乔木物种显著高于小岛和中岛,与对照陆地差别不大.对灌木样方进行单因素方差分析, $F(3, 22) = 1.315$, $P = 0.295$,各组之间差异不显著,说明灌木物种丰富度在不同面积的岛屿和对照陆地上没有显著差异.

对样方内的乔木和灌木物种数量与岛屿面积进行 Spearman 秩相关性分析,发现乔木物种与岛屿面积呈极显著正相关($r = 0.773$, $P = 0.000$),灌木物种与岛屿面积相关性不显著($r = 0.345$, $P = 0.107$).对岛屿面积和样方内乔木物种的数量分布采用幂函数曲线进行回归分析,拟合决定系数 $R^2 = 0.561$, $F(1, 21) = 26.85$, $P = 0.000$,拟合曲线和调查数据的相符性极显著(图 1).根据拟合曲线建立的岛屿面积与乔木物种数量的数学模型为 $S = 7.3263 A^{0.0786}$ (S 为物种数量, A 为岛屿面积).这个模型符合 MacArthur 和 Wilson 岛屿生物地理学理论的种-面积关系模型($S = CA^z$),但是该模型 z 值的变化范围通常是 0.18 ~ 0.35,而本研究的 z 值为 0.0786^[24].

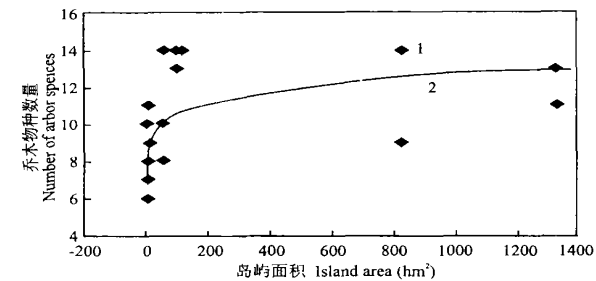


图1 岛屿面积与样方内乔木物种数量的关系
Fig.1 Relationship between tree species number in samples and islands areas.
1)物种丰富度 Observed; 2)幂曲线 Power.

3.2 物种多样性

计算各样地乔木和灌木物种的 Shannon 多样性指数,其中乔木物种在小岛、中岛、大岛和对照陆地的平均多样性指数分别为 1.066、1.427、1.903 和 1.645,说明乔木物种多样性的大小顺序为小岛<中岛<陆地<大岛.灌木物种多样性指数在小岛、中岛、大岛和对照陆地中分别为 1.792、1.653、1.872 和 1.832,其大小顺序为中岛<小岛<陆地<大岛,说明无论乔木还是灌木种类,其物种多样性都是在 大岛上最大,对照陆地其次,而最小的在乔木中是小岛,在灌木中则是中岛.乔木物种多样性在各组间差别较大(最大最小值差为 0.837),而灌木差异则相对乔木小得多(最大最小值差为 0.219)(表 1).各组

平均的多样指数并不代表每组中所有样地的指数都低于或高于另一组,比如小岛样地中 4 号样地乔木多样性指数为 1.827,显著高于大岛某些样地的水平.

3.3 物种优势度和均匀度

对各样地中乔木和灌木的种类和数量进行 Simpson 优势度和 Pielou 均匀度指数分析(表 2),结果表明,乔木各组的平均优势度中以小型岛屿为最大($D = 0.517$)、大型岛屿为最小($D = 0.223$);灌木各组的平均优势度中以中型岛屿为最大($D = 0.276$)、小型岛屿为最小($D = 0.214$).乔木各组的平均均匀度最大的是大型岛屿($J = 0.755$),小型岛屿最小($J = 0.594$);灌木中以小型岛屿为最大($J = 0.854$),中型岛屿最小($J = 0.757$),说明小岛上一种或几种乔木的优势最明显,物种均匀度最差,而灌木中则均匀度最好,物种分布均匀且少有优势种类;大岛上乔木的均匀性最好,优势种的优势度最不明显,而灌木种类的均匀性略低于小岛和陆地.中型岛屿的灌木物种均匀性最小,优势种的优势地位明显.岛屿上物种高的优势度和低的均匀度表明了物种种类的单一性和数量不均衡性,说明小岛上乔木物种少,优势乔木种在数量上占很大优势,而非优势种的数量比大岛要少得多.

表 1 各类岛屿样地和陆地样地物种多样性指数比较
Table 1 Diversity indexes of species in all types of islands and land samples

样地位置 Sample	岛屿面积 Area (hm ²)	物种丰富度 Species number		Simpson 指数 Simpson index (<i>D</i>)		Shannon 指数 Shannon index (<i>H</i>)		Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index (<i>J</i>)	
		乔木 Tree	灌木 Shrub	乔木 Tree	灌木 Shrub	乔木 Tree	灌木 Shrub	乔木 Tree	灌木 Shrub
耙坞 Pawu	0.31	6	10	0.473	0.880	0.971	1.881	0.542	0.960
猴岛 Houdao	0.32	6	8	0.337	0.768	0.742	1.628	0.414	0.783
耙坞 Pawu	0.45	6	8	0.323	0.830	0.747	1.889	0.417	0.908
猴岛 Houdao	0.58	10	9	0.784	0.808	1.827	1.867	0.794	0.898
耙坞 Pawu	0.64	7	8	0.510	0.549	1.140	1.278	0.586	0.615
耙坞 Pawu	1.00	6	10	0.473	0.880	0.971	2.211	0.542	0.960
孤岛 Gudao	1.53	7	8	0.621	0.588	1.257	1.340	0.646	0.644
祝业坞 Zhuyewu	1.57	7	8	0.602	0.722	1.307	1.548	0.672	0.744
祝业坞 Zhuyewu	2.25	7	12	0.576	0.689	1.286	1.711	0.661	0.689
小金山 Xiaojinshan	5.06	8	10	0.621	0.753	1.455	1.744	0.700	0.757
梅峰 Meifeng	6.33	11	8	0.769	0.815	1.887	1.879	0.787	0.904
祝业坞 Zhuyewu	9.1	9	8	0.615	0.726	1.263	1.627	0.574	0.782
下汪 Xiawang	49.4	8	9	0.464	0.725	1.044	1.591	0.502	0.724
		10	9	0.807	0.777	1.914	1.781	0.831	0.811
孔雀岛 Kongquedao	55	14	10	0.862	0.821	2.232	1.919	0.846	0.833
梅峰 Meifeng	96.54	13	11	0.841	0.887	2.150	2.282	0.838	0.952
		16	11	0.784	0.842	2.019	2.087	0.728	0.870
神龙岛 Shenlongdao	105.7	14	8	0.856	0.658	2.272	1.515	0.861	0.729
姥山岛 Laoshandao	825	9	10	0.678	0.637	1.439	1.506	0.655	0.654
		9	9	0.757	0.821	1.657	1.941	0.754	0.883
		14	9	0.724	0.776	1.670	1.757	0.633	0.780
界首岛 Jieshoudao	1320	11	9	0.657	0.639	1.524	1.498	0.635	0.682
		13	14	0.832	0.875	2.165	2.347	0.844	0.889
陆地 1 Land 1		10	10	0.291	0.161	1.628	2.029	0.707	0.881
陆地 2 Land 2		9	9	0.331	0.331	1.585	1.439	0.721	0.655
陆地 3 Land 3		11	10	0.272	0.161	1.722	2.029	0.718	0.881

表 2 各组岛屿和对照陆地样地平均物种多样性指数比较
Table 2 Mean diversity indexes of species in all types of islands and land samples

岛屿类型 Island type	平均物种数 Species number		Simpson 指数 Simpson index (D)		Shannon 指数 Shannon index (H)		Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index (J)	
	乔木 Tree	灌木 Shrub	乔木 Tree	灌木 Shrub	乔木 Tree	灌木 Shrub	乔木 Tree	灌木 Shrub
小岛 Small island	6.8	8.8	0.517	0.214	1.066	1.792	0.549	0.854
中岛 Midium island	8.4	9	0.366	0.276	1.427	1.653	0.672	0.757
大岛 Large island	12.6	10.1	0.223	0.227	1.903	1.872	0.755	0.808
陆地 Land	10	9.7	0.298	0.218	1.645	1.832	0.715	0.806

4 讨 论

小型岛屿中乔木物种的丰富度、多样性和均匀度都小于大型岛屿和陆地样地,中型岛屿的丰富度、多样性和均匀度小于大型岛屿,表明严重的破碎化(岛屿化)导致了小斑块上乔木物种多样性的降低;在植被恢复过程中,破碎化(岛屿化)严重的区域乔木物种多样性的恢复受到抑制.灌木物种的丰富度在大中小型岛屿以及对照陆地的差异都不显著,多样性、优势度和均匀度指数的差异也比乔木之间小得多,说明灌木物种的多样性受到破碎化(岛屿化)的影响并不明显,其植被恢复的进程没有受到影响.分析其原因有以下几方面:1)景观的破碎化导致物种多样性的降低.在小型岛屿上,种群数量的低水平效应导致岛屿上群落结构的简单和功能的不完善、种群内基因交流的阻断、种群更新过程的中断等,将威胁到岛屿上现存物种的生存,以致物种多样性的进一步降低^[2].2)岛屿面积越小,岛屿上可供植物种群生存的适宜生境越少^[15,18].乔木物种由于需要的生境面积较大而受影响大,随岛屿面积的减小,乔木物种数量呈减少趋势;灌木物种生存需要的最小面积相对乔木小,受破碎化影响较小,很多灌木物种的生境面积甚至小于 0.1 hm².在面积小于 0.1 hm²的小岛上发现有灌木种群,而乔木则只有幼苗,没有成株.3)岛屿化造成植物种群在不同岛屿之间隔离程度的增加,水体的分割作用使岛屿间植物种群扩散受阻严重,灭亡危险增加,尤其是雌雄异株的植物种群灭亡的机率更大.在所调查的 5 个大岛上都发现了大型乔木黄连木(*Pistacia chinensis*),而 6 个小型岛屿上的所有样地中均未发现.此外,动物多样性的丧失和植物的更新演替也是植物多样性丧失的重要原因.水面隔离对于植物物种种子传播的影响机制还需要进一步探索.4)景观破碎化引起斑块边缘环境的剧烈变化,从而导致边缘效应^[13,17,22].斑块的减小和隔离给有些灌木物种的生存带来了更适宜的物理和气候条件,比如边缘生境的形成、通风和光

照的改善等.这说明景观破碎化对于植物多样性的影响不能仅从生境面积的变化和隔离程度的变化来分析,还应考虑破碎化所带来小气候和物理因子的变化.

本研究发现,大型岛屿的乔木和灌木种类无论从种类数量、物种多样性,还是物种丰富度上都和陆地样地无显著差异,表明在植被恢复过程中,一定程度的破碎化没有对乔木和灌木种类的多样性带来影响.而小型岛屿上的乔木物种数量与陆地的差异却比较大,说明严重的破碎化影响了植物物种的恢复和生存.本研究中大型岛屿的面积为 1 320 hm²,而小型岛屿的面积则小于 0.5 hm².图 1 和表 1 表明,乔木物种的数量随着岛屿面积的增加呈增加趋势.可以预见,对于不同的物种,一定有一个最小的面积保证生存于其中的物种不至灭绝.这将为植物物种尤其是濒危物种的保护和防止物种灭绝提供对策.

参考文献

1 Bekker RM, Verweil GL, Smith EN, et al. 1997. Soil seed bank in European grassland: Does land use affect regeneration perspectives? *J Appl Ecol*, **34**, 1293~1310

2 Chen L-Z (陈灵芝). 1993. Status and Conservation Measures of Biodiversity of China. Beijing: Science Press. (in Chinese)

3 Debinski MD, Holt DR. 2000. A survey and overview of habitat fragmentation experiments. *Cons Biol*, **14**(2), 342~355

4 Diamond JM. 2001. Dammed experiments. *Science*, **294**, 1847~1848

5 Ding L-Z (丁立仲), Lu J-B (卢剑波), Xu G-F (徐高福), et al. 2004. Effects of ecological protection and development on landscape pattern in the Thousand-Island lake region, Zhejiang Province. *Bio-div Sci* (生物多样性), **12**(5), 473~480 (in Chinese)

6 Han X-G (韩兴国). 1994. Island biogeography and biological conservation. In: Qian Y-Q (钱迎倩), Ma K-P (马克平), eds. Principles Methodologies in Biodiversity Studies. Beijing: China Science and Technology Press. 83~103 (in Chinese)

7 Harris LD. 1984. The Fragmented Forest. Chicago: The University of Chicago Press.

8 Hanski I. 1998. Metapopulation dynamics. *Nature*, **369**, 41~49

9 Harrison S. 1991. Local extinction in a metapopulation context: An empirical evaluation. *Biol J Linn Soc*, **42**, 73~78

10 Hou J-H (侯继华), Zhou D-W (周道玮), Jiang S-C (姜世成). 2002. The effect of hill-building activities of ants on the species diversity of plant communities in Songnen grassland. *Acta Phytocool Sin* (植物生态学报), **26**(3), 323~329 (in Chinese)

11 Jiang P-K (姜培坤), Qian X-B (钱新标), Yu S-Q (余树全), et al. 1999. Investigation and analysis on litter and soil under natural secondary forests in Thousand-Island Lake area. *J Zhejiang For Coll*

- (浙江林学院学报), **16**(3): 260~264(in Chinese)
- 12 Laurance WF, Lovejoy TE, Vasconcelos HL, *et al.* 2002. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: A 22-year investigation. *Cons Biol*, **16**: 605~618
 - 13 Liu J-F(刘金福), Hong W(洪伟), Li J-Q(李俊清). 2003. Gap edge effect of *Castanopsis kawakamii* community. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **14**(9): 1421~1426(in Chinese)
 - 14 Ma K-P(马克平). 1994. Measurement of biodiversity. In: Qian Y-Q(钱迎倩), Ma K-P(马克平), eds. Principle and Methods of Biodiversity Studies. Beijing: China Science & Technology Press. 141~165(in Chinese)
 - 15 Nilsson SG, Bengtsson JAS. 1988. Habitat diversity or area per se? Species richness of woody plants, carabid beetles and land snails on islands. *J Animal Ecol*, **57**: 685~704
 - 16 O'Neill RV, Krummel JR, Gardner RH. 1988. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecol*, **1**: 153~162
 - 17 Peng S-L(彭少麟). 2000. Studies on edge effect of successional communities and restoration of forest fragmentation in low subtropics. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **20**(1): 1~8(in Chinese)
 - 18 Rydin H, Borgegard SO. 1988. Plant species richness on islands over a century of primary succession; Lake Hjälmaren. *Ecology*, **69**: 916~927
 - 19 Shen Z-H(沈泽昊), Fang J-Y(方精云). 2001. Niche comparison of two *Fagus* species based on the topographic patterns of their populations. *Acta Phytocol Sin*(植物生态学报), **25**(4): 392~398(in Chinese)
 - 20 Terborgh J, Lopez L, Nunez P, *et al.* 2001. Ecological meltdown in predator-free forest fragments. *Science*, **294**: 1923~1926
 - 21 Wang X-L(王宪礼), Bu R-C(布仁仓), Hu Y-M(胡远满), *et al.* 1996. Analysis on landscape fragment of Liaohe delta wetlands. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **7**(3): 299~304(in Chinese)
 - 22 Woodruffe R, Ginsberg JR. 1998. Edge effects and the extinction of populations inside protected areas. *Science*, **280**: 2126~2128
 - 23 Wu J-G(邬建国). 1992. Natural conservation and natural conservation biology: Concepts and modelings. In: Liu J-G(刘建国) ed. Advances in Modern Ecology. Beijing: China Science and Technology Press. 174~186(in Chinese)
 - 24 Wu J-G(邬建国). 2000. Landscape Ecology-Pattern, Process, Scale and Hierarchy. Beijing: Higher Education Press. 100~110(in Chinese)
 - 25 Wu JG, Huang JH, Han XG, *et al.* 2003. Three-Gorges Dam-Experiment in habitat fragmentation. *Science*, **300**: 1239~1240
 - 26 Wu JG, Huang JH, Han XG. 2004. The Three Gorges Dam: An ecological perspective. *Frontiers Ecol Environ*, **2**(5): 241~248
 - 27 Xiao D-N(肖笃宁), Wang X-L(王宪礼), Bu R-C(布仁仓). 1999. Analysis on landscape elements and fragmentation of Yellow River delta. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **10**(3): 321~324(in Chinese)
 - 28 Zhang L(张林), Luo T-X(罗天祥), Deng K-M(邓坤枚), *et al.* 2004. Biomass and net primary productivity of secondary evergreen broad-leaved forest in Huangmian Forest Farm, Guangxi. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **15**(11): 2029~2033(in Chinese)

作者简介 卢剑波, 男, 1963年生, 博士, 副教授. 主要从事景观生态学、生物多样性、生态安全和生物入侵的研究, 发表论文 40 余篇, 出版教材和著作 6 部. Tel: 0571-86959912; E-mail: jianbo.lu@zjuem.zju.edu.cn
