

千岛湖生态保护与建设对景观格局的影响研究

丁立仲^{1*} 卢剑波¹ 徐高福² 邬建国³

1 (浙江大学生命科学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)

3 (School of Life Sciences, Arizona State University, Tempe, AZ 85287, USA)

摘要: 生态保护和生态建设过程对景观格局产生影响并使之发生变化, 这种变化又会影响景观的生态过程。应用 3S 技术和景观指数分析了 39 年(1964-2003 年)内千岛湖区土地利用和土地覆盖格局的变化。结果显示, 斑块总数和景观破碎度基本保持不变, 但是各斑块类型的斑块数量、面积和优势度变化非常显著。最优势斑块类型由荒山(占陆地面积的 47.44%) 演变为马尾松(*Pinus massoniana*) 林(占陆地面积的 52.81%), 研究区域内森林植被覆盖率增加。研究还发现景观多样性指数略微下降。景观多样性是对土地利用和覆盖类型丰富度和均匀度的概要度量, 并不一定总是和景观功能呈正相关关系。上述变化归因于多项生态保护措施的实施使得自然演替得以实现。景观格局的优化使生态系统的生态功能得到提高, 包括生境恢复、生物多样性增加、水土流失减少。森林植被恢复以后, 马尾松林斑块的单一化趋势应在今后的生物多样性保护、生态规划和可持续发展中得到重视。

关键词: 千岛湖, 景观格局, 土地利用和土地覆盖变化, 生态保护

中图分类号: Q149 文献标识码: A 文章编号: 1005-0094(2004)05-0473-08

Effects of ecological protection and development on landscape pattern in the Thousand-Island Lake region, Zhejiang Province

DING Li-Zhong^{1*}, LU Jian-Bo¹, XU Gao-Fu², WU Jian-Guo³

1 Agro-Ecology Institute, College of Life Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China

2 Xin'an River Development Corporation, Chun'an County, Zhejiang Province, Chun'an 311700, China

3 School of Life Sciences, Arizona State University, Tempe, AZ 85287, USA

Abstract: Actions of ecological protection and development shape the pattern of a landscape, which in turn affects ecological processes in the landscape. Changes of the fragmented Thousand-Island Lake landscape, formed by the construction of a large dam in 1959, provide an outstanding example. We analyzed the changes in land use and land cover pattern in this region for a period of 39 years (1964-2003) using landscape metrics and 3S technology. Our results showed that the total number of patches and the degree of fragmentation basically remained the same, whereas the patch number, patch area, and dominance of each patch type changed significantly. The most dominant patch type changed from treeless barrens (47.44% of the terrestrial land) in 1964 to the *Pinus massoniana* forest (52.81% of the terrestrial land) in 2003. We also found that the value of landscape diversity decreased slightly. It is important to note that landscape diversity, a synoptic measure of the richness and evenness of all land use and land cover types, is not always positively related to landscape functioning. The slight decrease in landscape diversity was a result of the dynamics of all existing patches in the study region. Our results suggest that the forest vegetation on the area has improved in terms of coverage since 1964 (i. e., 5 years after the dam construction). These changes may be attributed to the many measures of ecological protection in this region which allowed natural succession to take its course. The improved landscape pattern enhanced ecological functioning of the island ecosystems, including restoration of habitats, increased biodiversity, and reduction in soil erosion. While the forest vegetation has been recovering, the increasing dominance by

the structurally simple *Pinus massoniana* forest in this region should be considered in future efforts of biodiversity conservation, ecological planning, and sustainable development.

Key words: Thousand-Island Lake, landscape pattern, land use and land cover change, ecological protection

生物多样性保护是现代生态学研究的三大热点之一(Noss, 1990; 马克平, 1993)。景观破碎化造成的生境丧失和生境退化是生物多样性丧失的最主要原因之一(Aunders *et al.*, 1991; Hanski, 1998; Wu *et al.*, 2003)。对破碎化的景观进行生态保护、生态恢复与建设是现代生态学领域中引人注目的主题(Brown & Lugo, 1994; 关文彬等, 2003)。格局与过程一直是景观生态学研究的核心, 生态保护和建设过程对景观格局产生的影响、格局变化对生态过程的作用以及格局变化的生态意义是非常重要的生态学问题(Wu & Richard, 2002; 邬建国, 2000; 张永民和赵士洞, 2003)。

大型水利工程如大坝的修建造成了景观格局的变化和生态系统的改变, 从而显著地影响水生和陆生生物的多样性, 这种影响已经在国际学术界引起了广泛重视(Dynesius & Nilsson, 1994; Diamond, 2001; Terborgh *et al.*, 2001; Wu *et al.*, 2003)。实施生态保护和建设工程是改善这类景观格局的重要途径, 但是对于在人为生态保护条件下景观格局变化的研究开展较少。浙江千岛湖是 1959 年因新安江大坝修建而形成的人工湖泊, 已经有 45 年的历史。大坝建成以前, 该地区是以陆地为基础的景观。建坝后, 由于水体的淹没、隔离和分割作用, 原来的陆地变成了破碎化的岛屿和半岛。自千岛湖形成以来, 封山育林、退耕还林等生态保护工程在该地相继实施。这些生态保护工程的实施是一个相当长的过程, 在这个过程中, 该地区的景观格局与土地覆盖发生了怎样的变化, 对景观的生态功能产生了怎样的影响, 是本研究的核心内容。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

千岛湖原名新安江水库, 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 之间, 是 1959 年 9 月 21 日新安江大坝建成蓄水后形成的人工湖泊, 因湖内

有 2500 m² 以上的岛屿 1078 个而得名。湖区东西长 60 km, 南北宽 50 km, 正常高水位(黄海基面) 108 m, 库容量 178.4 亿 m³, 最大水深 97 m, 平均水深 34 m, 水域面积 583 km² (约 98% 在浙江省淳安县境内)。湖内岛屿面积 409 km², 森林覆盖率达到 68%。1982 年被国务院确定为国家级风景名胜区。

本研究选取了千岛湖景观破碎化典型地区小金山林场作为研究区域。该林场位于千岛湖库区的中部, 中心湖区北侧, 东西长 13 km, 南北宽 12 km, 由 106 个大小岛屿及附近陆地组成, 总面积 4000 hm²。区域内有 10 个行政村, 总人口 2844 人, 2002 年人均收入为 3197 元。该林场在水库形成后景观格局发生了很大变化, 原来的陆地(主要是山地)被水面取代, 残存的陆地形成了岛屿和半岛, 景观的变化涉及到斑块、廊道和基质, 即整个景观格局体系都发生了很大变化。20 世纪 60 年代以来, 在研究区域内相继实施了封山育林、退耕还林、人工造林、林相改造(即针叶林阔叶化)、小流域治理和建立三防体系(防乱砍滥伐、防火灾和防森林病虫害)等生态保护和建设工程。景观格局在原来破碎化景观的基础上发生了新的变化(图 1)。

1.2 数据获取与研究方法

1.2.1 数据获取

基本数据源自:(1)浙江省林业厅林业勘测设计队 1964 年绘制的比例尺为 1:20 000 的千岛湖小金山林场土地利用总图;(2)根据 1997 年航片绘制的比例尺为 1:5000 的千岛湖小金山林场各林区土地利用图。以后者为底图, 2003 年调查了林区内的斑块分布和土地利用情况, 形成了 2003 年的土地利用图。部分斑块(岛屿)采用 GPS(全球定位系统)实地定位测量。

用 GIS(地理信息系统)软件将地图数字化后进行拼接处理和分析。

本研究中 GPS 采用美国 Trimble 公司的 GeoExplorer 3 系统, 地理信息系统软件采用北京大学的 Citystar 4.0 软件。

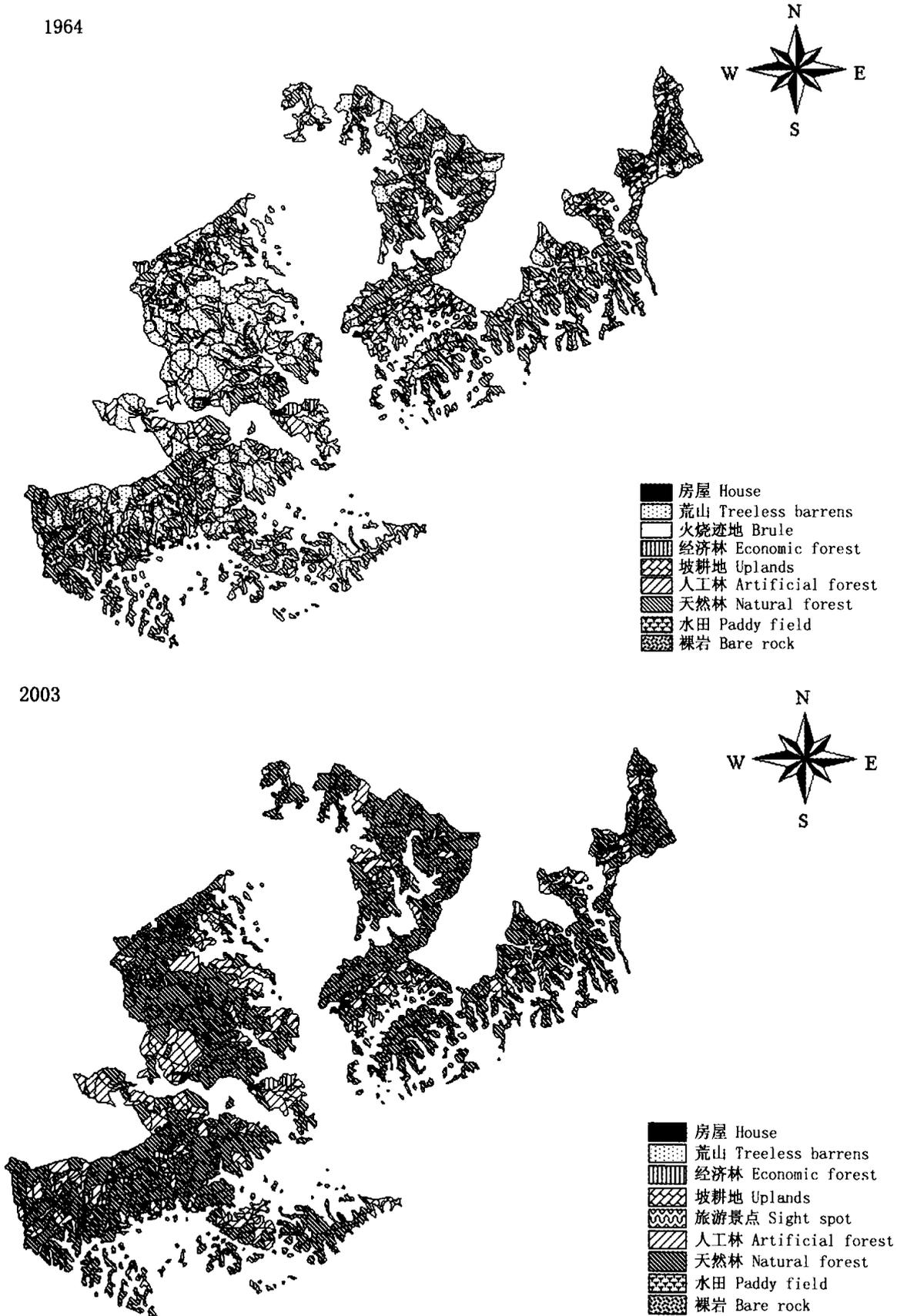


图 1 1964 和 2003 年千岛湖小金山林场土地利用和土地覆盖变化

Fig. 1 Land use and land cover map of the Xiaojinshan Forestry Farm in the Thousand-Island Lake region in 1964 and 2003

1.2.2 数据分析方法

对于获得的数据,用多个景观指标对研究区域景观格局的动态变化进行了分析。所采用的景观格局分析指标如下:

(1) 基本统计指标: 斑块类型数、斑块数量和斑块面积。

(2) 类型格局指标:

平均斑块面积:

$$MPS_i = A_i/n_i \quad (1)$$

斑块优势度:

$$D_0 = n_i/2n + A_i/2A \quad (2)$$

(3) 景观破碎度指标:

$$C = n/A \quad (3)$$

以上各式中, A 为景观类型的面积, i 为景观类型, n 为景观内斑块总数, MPS_i 表示 i 类型的平均斑块面积。景观优势度 (D_0) 反映斑块在景观中的地位及其对景观格局形成和变化的影响。景观破碎度 (C) 反映景观的破碎化程度 (王根绪等, 2002; 张永民和赵士洞, 2003)。

(4) 景观多样性指标

Shannon 多样性指数:

$$H = - \sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i) \quad (4)$$

优势度指数:

$$D = H_{\max} + \sum_{i=1}^m P_i \ln P_i \quad (5)$$

均匀度指数:

$$E = H/H_{\max} \quad (6)$$

以上各式中, P_i 表示斑块 i 在景观中所占的面积比例, m 为景观中斑块类型的总数, A 为景观面积。 H_{\max} 为研究区各类型景观所占比例相等时, 景观拥有的最大多样性指数 (Romme, 1982; O'Neill et al., 1998; 邬建国, 2000), 其数学表达式为: $H_{\max} = \ln S$, 其中 S 为景观类型的数量。多样性指数是景观中各类斑块的复杂性和变异性的量度, 通常, 随着 H 的增加, 景观结构组成成分的复杂性也趋于增加。优势度指数是多样性指数的最大值与实际计算值之差, 通常, D 值越大, 一个或少数几个斑块类型在景观中的主导地位就越强。均匀度指数描述景观中不同景观要素在面积分配上的不均匀程度 (邬建国, 2000)。

根据北亚热带的景观特点、斑块类型、研究区域的具体状况和当地专家的经验, 将研究区域的斑块划分为 17 种类型, 通过地理信息系统得到各斑块类型的数量、类型面积以及单个斑块平均面积 (表 1)。

表 1 1964 和 2003 年千岛湖区小金山林场不同斑块类型的数量、面积及优势度
Table 1 The number, size, and dominance of different patch types in the study area in 1964 and 2003

	数量 Number (n)		总面积 Total area (A , hm^2)		平均斑块面积 Mean patch area (MPS , hm^2)		斑块优势度 Patch dominance	
	2003	1964	2003	1964	2003	1964	2003	1964
1 马尾松林 <i>Pinus massoniana</i> forest	527	243	1657.0	571.9	3.2	2.7	0.464	0.178
2 马尾松疏林 <i>P. massoniana</i> sparse forest	28	237	78.0	630.3	2.8	2.4	0.023	0.185
3 天然阔叶林 Natural broad-leaved forest	248	4	473.6	10.6	1.9	2.6	0.170	0.003
4 天然阔叶疏林 Natural sparse broad-leaved forest	44	2	23.0	4.4	0.5	2.2	0.020	0.001
5 针阔混交林 Mixed broad-leaved and coniferous forest	89	21	296.7	58.5	3.3	2.8	0.081	0.017
6 人工柏木林 Artificial <i>Cupressus funebris</i> forest	78	8	231.7	21.2	3.1	2.7	0.066	0.006
7 人工杉木林 Artificial <i>Cunninghamia lanceolata</i> forest	107	21	213.0	53.9	2.0	2.6	0.075	0.016
8 人工麻栎林 Artificial <i>Quercus acutissima</i> forest	19	22	104.8	62.7	5.5	2.9	0.024	0.018
9 经济林 Economic forest	42	57	27.4	94.8	0.7	1.7	0.020	0.036
10 灌木林 Shrub	14	16	5.2	40.2	0.4	2.5	0.006	0.012
11 房屋 House	46	40	13.0	11.6	0.3	0.3	0.020	0.017
12 水田 Paddy field	42	137	14.3	95.5	0.3	0.7	0.018	0.066
13 坡耕地 Uplands	3	36	0.9	79.6	0.3	2.2	0.001	0.026
14 荒山 Treeless barrens	18	469	4.3	1536.8	0.3	3.3	0.008	0.409
15 裸岩 Bare rock	5	9	0.5	5.5	0.1	0.6	0.002	0.004
16 火烧迹地 Brule	0	7	0	16.4	0	2.4	0	0.005
17 旅游景点 Sight spot	6	0	2.2	0	0.4	0	0.003	0

表 2 1964 年和 2003 年千岛湖小金山林场景观格局指数比较

Table 2 Comparison of landscape metric values between 1964 and 2003 for the Xiaojinshan Forestry Farm in the Thousand-Island Lake region

年 Year	斑块数量 No. of patches	斑块类型数 No. of patch types	平均斑块面积 Mean patch size (hm ²)	景观破碎度 Fragmentation index	最优势斑块(数量,面积) The most dominant patch (number, area)
1964	1329	16	2.48	0.4035	荒山 Treeless barrens (469, 1536.8 hm ²)
2003	1316	16	2.50	0.3995	马尾松林 <i>Pinus massoniana</i> forest (527, 1657 hm ²)

2 结果与分析

2.1 总体格局变化分析

对比 1964 年和 2003 年的景观格局指数(表 2), 斑块数量由 1329 变为 1316, 减少了 1%; 平均斑块面积由 2.48 hm² 增加到 2.50 hm²; 斑块类型数有发生变化; 景观破碎度指数由 0.4035 减小为 0.3995; 最优势斑块(所有斑块类型中优势度最大的斑块类型)类型由荒山(占陆地面积的 47.44%, 斑块优势度为 0.409) 演变为马尾松林(占陆地面积的 52.81%, 斑块优势度为 0.464)。上述总体格局指数特征说明景观基本形态格局未发生显著变化。

2.2 斑块类型消长变化分析

斑块类型数都是 16 种, 但是到 2003 年已经有 1 种斑块类型(火烧迹地)消失, 1 种新的斑块类型(旅游景点)产生。除了人工麻栎(*Quercus acutissima*)林、房屋和经济林斑块外, 其他 12 类斑块的面积、数量和优势度都发生了显著变化。最优势斑块由荒山演变为马尾松林; 荒山斑块由 1964 年的 469 块 1536.8 hm² 下降为 2003 年的 18 块 4.3 hm², 平均斑块面积由 3.3 hm² 下降为 0.3 hm², 由优势度最大的斑块类型演变为优势度最小($D_0 = 0.008$)的类型之一, 仅是原来优势度水平的 0.02 倍。裸岩的数量和面积也分别由 9 块 5.5 hm² 下降为 5 块 0.5 hm²; 1964 年火烧迹地有 7 个斑块 16.4 hm², 2003 年该斑块类型完全消失; 水田和坡耕地的斑块数量、面积和优势度也分别下降, 其中坡耕地的优势度下降到最小(表 1)。

与上述斑块类型数量、面积和优势度下降相对应的是马尾松(*Pinus massoniana*)纯林、常绿阔叶林、稀疏常绿阔叶林、针阔混交林、人工柏木(*Cupre-*

ssus funebris)林和人工杉木(*Cunninghamia lanceolata*)林对应数据的增加(表 1, 图 2、3)。阔叶林斑块的面积比例由原来的 0.68% 增加到 15.84%; 斑块优势度由 0.003 增加到 0.170, 是原来的 57 倍, 在所有斑块类型中变化倍数最大。天然阔叶疏林的数量由 2 块增加到 44 块, 面积由 4.4 hm² 增加到 23.0 hm², 其斑块优势度在 1964 年最小, 仅为 0.001, 2003 年达到 0.020(表 1, 图 2、3)。

上述变化说明研究区域景观类型和土地覆盖的实质发生了很大变化。针叶林斑块(马尾松林、人工杉木林和柏木林)和阔叶林斑块(天然阔叶林和人工麻栎林)的生态服务功能远高于荒山、裸岩和火烧迹地等斑块(秦国峰, 2001), 研究区域景观的功能得到了优化。

2.3 景观多样性变化分析

虽然景观多样性指数、优势度指数和均匀度指数的变化幅度都较小(表 3), 但还是能反映出一些问题。多样性指数的大小取决于两方面的信息: 一是斑块类型的多少(即丰富度), 二是各斑块类型在面积上分布的均匀程度。从 1964 年到 2003 年, 研究区域景观的 Shannon 多样性指数由 1.6557 下降为 1.6151, 说明本区域内景观结构趋于简单; 均匀度指数由 0.5972 下降为 0.5825, 说明斑块分布趋于不均匀; 斑块的优势度指数则略微上升, 由 1.1169 到 1.1574, 表明一种或者几种斑块的优势地位增加(表 3)。最优势斑块数量、面积与斑块优势度的变化也说明了这一点(表 1)。

多样性、均匀度和优势度 3 项指标的对比都显示出本地区 2003 年的景观多样性指数低于 1964 年, 表明景观多样性平稳中略有下降, 单一性略微上升(表 3)。

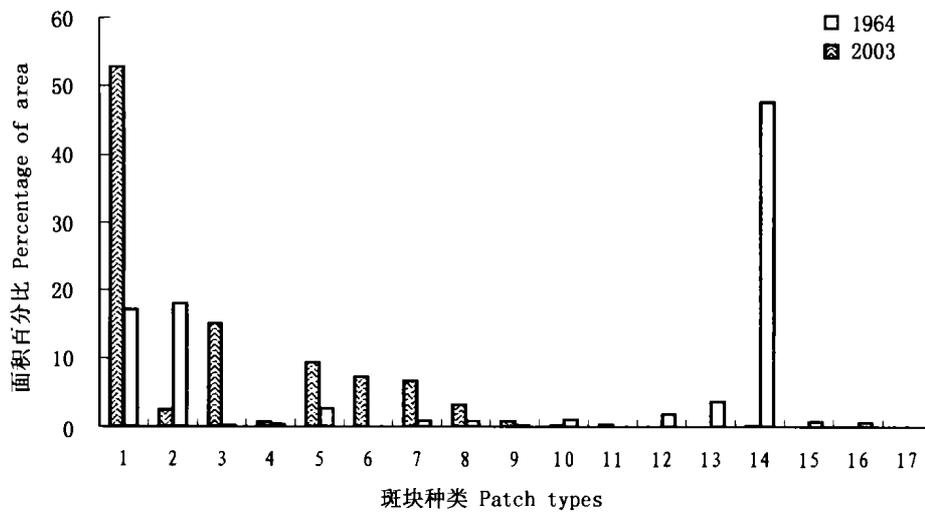


图2 1964年和2003年千岛湖库区小金山林场斑块面积百分比变化

横轴序号类型同表1。

Fig. 2 Changes in the total area of each patch type (% of the total study area) in the Xiaojinshan Forestry Farm of the Thousand-Island Lake region in 1964 and 2003. The numbers of X-axis are same with Table 1.

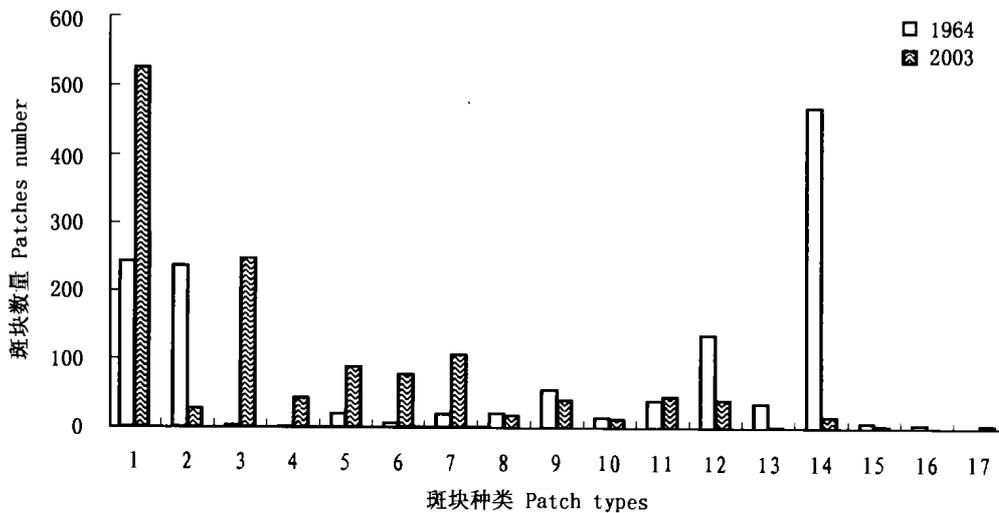


图3 1964年和2003年千岛湖库区小金山林场斑块数量

横轴序号类型同表1。

Fig. 3 Changes in the number of patches for each patch type in the Xiaojinshan Forestry Farm of the Thousand-Island Lake region in 1964 and 2003. The numbers of X-axis are same with Table 1.

表3 1964到2003年间千岛湖小金山林场景观多样性变化

Table 3 Changes in landscape diversity between 1964 and 2003 in the study area

年 Year	Shannon 多样性指数 Shannon diversity index (<i>H</i>)	优势度指数 Dominance index (<i>D</i>)	均匀度指数 Evenness index (<i>E</i>)
1964	1.6557	1.1169	0.5972
2003	1.6151	1.1574	0.5825

3 讨论与结语

景观演化趋势和景观格局的变化研究表明, 研究区域内的景观质量明显改善。这不仅仅是自然演替的结果, 生态保护和生态工程建设起了关键性的作用。自从 20 世纪 60 年代新安江开发总公司成立以来, 封山育林、退耕还林、林相改造和人工造林等多项措施在湖区岛屿和陆地相继实施, 使原来由于水体淹没造成的破碎化景观得到有力保护和迅速恢复, 不良景观要素得到控制和缩小。荒山、火烧迹地、裸露岩石和灌木林等斑块的数量、面积和优势度急剧减小, 其中有的斑块种类甚至已经消失。1964 年荒山斑块占总面积的 47.44%, 有 413 个斑块, 而 2003 年几乎消失, 仅占总面积的 0.14%; 而针叶林、阔叶林和针阔混交林斑块的面积和斑块数量都明显增加, 其中针叶林面积和数量增加最大。上述土地覆盖变化也说明本地区植被属于演替中期, 符合亚热带植被演替的一般规律。

景观格局的变化使研究区域景观的生态过程发生了改变, 景观的生态功能得到恢复和提高: (1) 水源涵养功能。经过调查测定, 湖区生态有林地比无林地蓄水量每年每公顷多 5000 m³, 增加 30%, 洪峰期可减少 40% 的洪水入库, 枯水期可增加 25% 水量入库(徐高福, 1999)。(2) 水土保持功能。荒山、火烧迹地、坡耕地的急剧减少和各种有林地斑块的增加显著减少了水土流失和营养物质流失, 改善了生态系统物质和能量循环。(3) 生物多样性维持功能。景观质量的改善提高了生态系统的稳定性, 物种多样性得到保护, 一些濒临灭绝的动植物如竹叶楠(*Phoebe bournei*)、白颈长尾雉(*Syrnaticus ellioti*) 得到恢复和繁衍(徐高福, 1999)。(4) 小气候改善功能。生态保护工程形成的森林植被与千岛湖水体调温的综合效应, 形成了春暖早、秋寒迟的特殊小气候, 无霜期达到 263 d, 使原来不适宜种植的柑桔能够良好生长(Lu et al., 2004)。

景观的过度破碎化和过度单一化对于景观功能的稳定都是不利的, 在一定尺度内景观应该保持适度的多样性和破碎化程度(Han & Mark, 2002)。但景观多样性高, 并不能说明景观的格局就更优化, 景观的生态功能就更完善和稳定(傅伯杰和陈利顶, 1996)。本研究区域内, 通过生态保护和建设工程的实施, 景观多样性发生了一定程度的下降, 但是景

观质量却得到了一定程度的提高, 景观的生态功能得到了恢复。说明小尺度内景观质量的改善对景观的生态功能非常重要。景观多样性是对土地利用和覆盖类型丰富度和均匀度的概要度量, 并不总是和景观功能确切相关, 认识到这一点是非常重要的。本研究中景观多样性的轻微下降是研究区域所有斑块动态变化的结果。

森林植被覆盖恢复以后, 马尾松林斑块的单一化是值得注意的问题。这个斑块类型在 39 年内(1964 - 2003) 斑块数量由 243 增加到 527, 斑块面积由 571.9 hm² (占陆地面积的 17.24%) 增加到 1657 hm² (占陆地面积的 52.81%) (表 1)。2003 年马尾松林已经是研究区域内的主导斑块类型。另外, 针阔混交林中马尾松也是群落的优势种, 再加上马尾松疏林, 三者的面积占景观总面积的 64.77%。为了避免景观类型过度单一带来的诸多问题, 比如外来物种入侵、病虫害蔓延等, 应采取对策控制单一化趋势。当地林业部门已经采取了营造人工林等措施来进行调整。例如, 1964 - 2003 年, 人工杉木林和人工柏木林的斑块数量由 22 和 8 增加到 107 和 78, 斑块面积分别由 53.9 和 21.2 hm² 增加到 213.0 和 231.7 hm² (表 1)。林相改造即通过种植阔叶林或者间伐马尾松促进天然阔叶树种生长的方法加速群落演替, 从而改善景观格局, 是一种可以尝试的措施; 但是人工加速演替的方法、机制和适宜程度还需要进一步研究。

参考文献

- Aunders, D. A., Hobbs, R. J. and Margules, C. R. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology*, 5: 18 - 32.
- Brown, S. A. and Lugo, A. E. 1994. Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining development. *Restoration Ecology*, 2: 97 - 111.
- Diamond, J. M. 2001. Dammed experiments. *Science*, 294: 1847 - 1848.
- Dynesius, M. and Nilsson, C. 1994. Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world. *Science*, 266: 753 - 762.
- Fu, B. J. (傅伯杰) and Chen, L. D. (陈利顶). 1996. Landscape diversity types and their ecological significance. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 51: 454 - 463. (in Chinese with English abstract)
- Guan, W. B. (关文彬), Xie, C. H. (谢春华), Ma, K. M. (马

- 克明), Niu, J. Z. (牛健植), Zhao, Y. T. (赵玉涛) and Wang, X. L. (汪西林). 2003. A vital method for constructing regional ecological security pattern: landscape ecological restoration and rehabilitation. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **23**: 64 - 73. (in Chinese with English abstract)
- Han, O. and Mark, E. R. 2002. Fragmented nature: consequences for biodiversity. *Landscape and Urban Planning*, **58**: 83 - 92.
- Hanski, I. 1998. Metapopulation dynamics. *Nature*, **369**: 41 - 49.
- Lu, J. B., Ding, L. Z. and Zhao, X. Z. 2004. Landscape ecological changes of large dams and reservoir in China. *Korean Journal of Ecology*, **27**(1): 9 - 13.
- Ma, K. P. (马克平). 1993. On the conception of biodiversity. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **1**: 20 - 22. (in Chinese)
- Noss, R. F. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology*, **4**: 355 - 364.
- O'Neill, R. V., Krummel, J. R. and Gardner, R. H. 1988. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*, **1**: 153 - 162.
- Qin, G. F. (秦国峰). 2001. Study on hydro-ecological benefits of evergreen broad-leaved forest at the Qiandao Lake region. *Forest Research* (林业科学研究), **14**: 595 - 602. (in Chinese with English abstract)
- Romme, W. H. 1982. Fire and landscape diversity in subalpine forest of Yellowstone Park. *Ecological Monographs*, **52**: 199 - 221.
- Terborgh, J., Lopez, L., Nunez, P., Rao, M., Shahabuddin, G., Orihuela, G., Riveros, M., Ascanio, R., Adler, G. H., Lambert, T. D. and Balbas, L. 2001. Ecological meltdown in predator-free forest fragments. *Science*, **294**: 1923 - 1926.
- Wang, G. X. (王根绪), Guo, X. Y. (郭晓寅) and Cheng, G. D. (程国栋). 2002. Dynamic variations of landscape pattern and the landscape ecological functions in the source area of the Yellow River. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **22**: 1587 - 1599. (in Chinese with English abstract)
- Wu, J. G. and Hobbs, R. 2002. Key issues and research priorities in landscape ecology: an idiosyncratic synthesis. *Landscape Ecology*, **17**: 355 - 365.
- Wu, J. G. (邬建国). 2000. *Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Hierarchy* (景观生态学——格局、过程、尺度与等级). Higher Education Press, Beijing, 100 - 110. (in Chinese)
- Wu, J. G., Huang, J. H., Han, X. G., Xie, Z. Q. and Gao, X. M. 2003. Three-Gorges Dam—experiment in habitat fragmentation. *Science*, **300**: 1239 - 1240.
- Xu, G. F. (徐高福). 1999. Elementary report on benefits of forest protection and management during 40 years in Thousand-Island Lake regions. *Forest Resources Management* (林业资源管理), **21**(5): 27 - 29. (in Chinese)
- Zhang, Y. M. (张永民) and Zhao, S. D. (赵士洞). 2003. Land use and landscape change under ecological protection in Naiman banner. *Resources Science* (资源科学), **25**(6): 43 - 51. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 周玉荣)