

基于遥感的杭州余杭森林景观格局变化

郭 徵¹, 江 洪^{1,2}, 陈 健¹, 程苗苗¹, 江子山², 余树全¹, 李土生³

(1. 浙江林学院 国际空间生态与生态系统研究中心, 浙江 临安 311300; 2. 南京大学 国际地球系统科学研究所, 江苏 南京 210093; 3. 浙江省林业厅 生态中心, 浙江 杭州 310020)

摘要: 森林作为重要的景观组分, 在城市化过程中受到强烈影响。杭州市余杭区位于沪嘉杭地区, 对今后众多内陆中小城市发展有一定的预示性。以余杭区 1978 年陆地资源卫星 Landsat / MSS, 1990 年 Landsat / TM 和 2003 年的 Landsat / ETM 假彩色合成影像为原始数据, 由地理信息系统(GIS)软件的辅助并结合地面资料进行处理, 利用景观格局分析系统 Fragstats 3.3 计算景观格局指数, 以此对研究区的森林资源的景观格局和变化进行研究。研究结果表明, 人类活动主要影响森林景观破碎度以及森林覆盖面积。森林景观破碎度表现为先增后减, 森林覆盖面积表现为先减后增。经济林受人类活动影响最为明显。人类活动对于城郊森林景观结构的变化起了重要的作用。图 2 表 8 参 22

关键词: 森林生态学; 森林景观; 景观格局; 遥感

中图分类号: S718.5 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2010)01-0036-08

Forest landscape analysis with remote sensing data for Yuhang, Zhejiang Province

GUO Zheng¹, JIANG Hong^{1,2}, CHEN Jian¹, CHENG Miao-miao¹, JIANG Zi-shan²,
YU Shu-quan¹, LI Tu-sheng³

(1. International Research Center of Spatial and Ecosystem Ecology, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2 International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China; 3. Ecological Management Center, Forestry Department of Zhejiang Province, Hangzhou 310020, Zhejiang, China)

Abstract: Forests, which have been strongly influenced during the process of urbanization, are an important component of the landscape. Yuhang District of Hangzhou, Zhejiang Province was selected as a case study to help understand the development of middle- and small-size towns in China. Remote sensing data from Landsat / MSS in 1978, Landsat / TM in 1990, and Landsat / ETM in 2003 of landscape pattern changes for forests in Yuhang District were studied using GIS and Fragstats software. Seven landscape types includes bamboo plantation, non-timber forest, coniferous forest, broad-leaved forest, building lot, farmland, waterbody. Results showed that human activities were the primary factors affecting forest landscape fragmentation and forest coverage. During the period of 1978 to 2003, landscape fragmentation changed from high to low and forest coverage went from low to high. Also, human activities had a strong influence on non-timber forest. The results suggested that human activities played an important role in structural changes of the suburban forest landscape. [Ch, 2 fig. 8 tab. 22 ref.]

Key words: forest ecology; forest landscape; landscape pattern; remote sensing

收稿日期: 2008-12-08; 修回日期: 2009-05-12

基金项目: 科学技术部数据共享平台建设项目(2006DKA32300-08); 科学技术部国际合作项目(200073819); 科学技术部基础性工作专项(2007FY110300-08)

作者简介: 郭徵, 从事环境生态研究。E-mail: iamguozheng@yahoo.com.cn。通信作者: 江洪, 教授, 博士生导师, 从事生态系统生态学、生态模型与模拟、遥感与地理信息系统等研究。E-mail: hongjiang.china@gmail.com

森林生态系统作为陆地生态系统的主体, 是人类和多种生物赖以生存和发展的基础。它具有丰富的生物多样性, 复杂的结构和生态过程, 对改变和影响区域气候、水资源分布、涵养水源、净化水质、保持水土、抵御各种自然灾害, 都起到重要作用^[1-6]。林地作为一种重要的自然景观组分, 在城市用地规模快速膨胀过程中, 森林受到强烈的分割和转化。近 30 a 以来, 中国长江三角洲地区快速城市化过程导致景观结构发生了剧烈变化^[7]。总体变化趋势表现为城市用地规模不断扩大, 农业和自然景观组分类型面积不断萎缩^[8]。城郊森林作为该地区森林生态系统的重要组成部分, 研究其景观格局变化过程, 对于保护城市化过程中城郊森林乃至整个森林生态系统都具有重要的现实意义^[9]。近年来, 浙江省杭州市余杭区经济突飞猛进, 城镇快速发展, 规模不断扩大, 已成为中国高速城镇化地区的典型代表, 人为活动对于森林景观的破碎化影响尤为明显。为此, 本研究选定余杭区作为研究区域, 运用有效的遥感信息处理方法准确地获取研究区土地利用变化信息, 并利用景观格局指数和转移矩阵, 分析森林景观格局的演化过程及特征, 对城镇化过程中城郊森林景观格局的演变进行探讨, 旨在认识城市化过程中余杭区森林景观的变化规律, 为合理保护利用生物多样性资源, 有效发挥森林生态服务功能提供理论基础。

1 研究区概况

研究区域为浙江省杭州市北部余杭区(图 1), 地理坐标 $30^{\circ}10' \sim 30^{\circ}34' N$, $119^{\circ}40' \sim 120^{\circ}20' E$, 处于杭嘉湖平原和浙西山地丘陵过渡地带, 地势西高东低。总面积为 $1\ 228.8\ km^2$, 其中林业用地面积约占总面积的 39.8%, 全区森林覆盖率为 37.4%。气候属于亚热带南缘季风气候, 冬夏长春秋短, 光温水配合良好, 年均气温为 $16.0\ ^{\circ}C$, 年降水量为 $1\ 150 \sim 1\ 550\ mm$ 。该区森林土壤主要为红壤, 约占山地土壤面积的 89.0%, 另外, 黄壤、岩性土、潮土和水稻土等也有分布。地带性植被类型为常绿阔叶林, 现有常绿阔叶林、针叶林、针阔混交林和竹林及灌木林等, 竹林和松林最多, 其中竹林经济价值较高, 与农民收入紧密相关。选取本研究区域对于研究城市化过程中亚热带森林景观格局变化具有典型的代表意义。

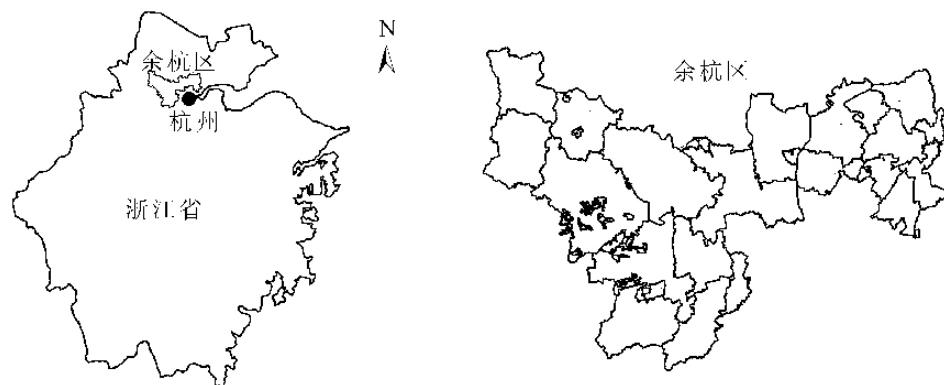


图 1 余杭区位置示意图

Figure 1 Situation of Yuhang District, Hangzhou City, Zhejiang Province

2 研究方法

2.1 资料的收集

研究区域的地形图、数字高程模型(DEM)数据、土地利用数据、行政图和有关的文字资料, 以及相关年份的 3 期遥感影像资料, 包括质量较好的 1978 年 Landsat / MSS, 1990 年 Landsat / TM 和 2003 年 Landsat / ETM。

2.2 空间数据的处理

以研究区域1978年的Landsat / MSS, 1990年Landsat / TM和2003年的Landsat / ETM影像为基础数据, 图像预处理之后, 利用图像原始信息量损失最小的立体卷积法将所有遥感图像重采样为30 m分辨率, 同时在1:1万地形图几何纠正基础上进行图像间的配对纠正, 结合研究区域的地形图、DEM数据、土地利用数据、行政图以及有关的文字资料, 在ERDAS IMAGE 9.1, ARCVIEW3.3, ARCGIS 9.2等软件的支持下, 采用决策树方法进行景观分类与制图。确定了7种景观类型(图2): 1竹林, 2经济林, 3针叶林, 4阔叶林, 5建筑用地, 6农田, 7水体, 并编制了该区域的景观类型图。然后对3期遥感图像的分类结果进行精度检验(每幅景观类型图中产生检验点200个), Kappa系数均达到0.75以上, 符合应用要求。

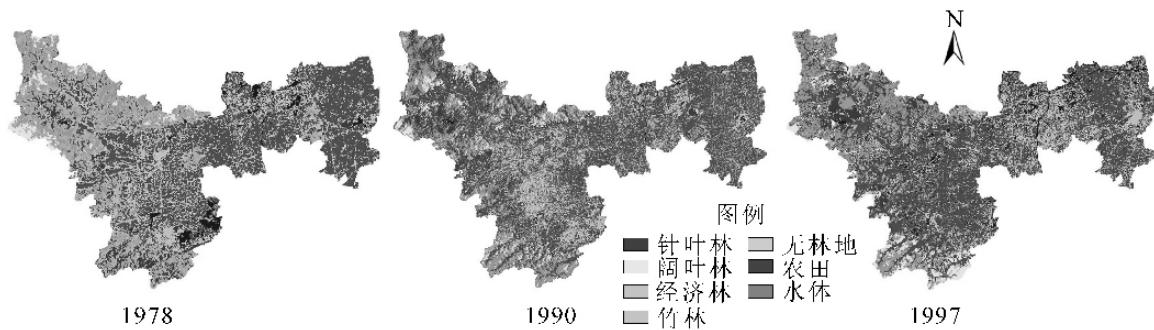


图2 1978年, 1990年和2003年研究区森林景观类型图

Figure 2 Landscape pattern of the research area in 1978, 1990 and 2003

2.3 景观格局指数的选取

景观指数指能反映景观格局结构和空间配置的定量指标, 被广泛地应用于城市化过程中土地利用格局研究。在斑块类型水平上, 针对该研究区景观格局和斑块类型的特征, 笔者从边缘(斑块数量、边缘密度和斑块周长), 形状(聚集度指数、相似与邻接百分比和面积加权的平均形状指数), 面积(斑块密度和平均斑块面积)3个方面选取不同类型的景观指数来分析和认识城市化过程中城郊森林的基本格局变化特征和规律^[10-13]。在景观水平上, 选取如总面积、总边界长度、斑块数等景观固有属性指数来分析研究区域的景观格局特征^[14-17], 并且分析了该研究区的景观异质性情况。

2.4 转移矩阵的计算

转移矩阵指通过对不同状态的初始概率及其状态之间转移概率的研究来确定状态的变化趋势, 从而达到对未来进行预测的目的^[18]。转移矩阵模拟景观从一种状态向另一状态转移的动态过程, 是一系列特定的时刻间隔下, 一个亚稳定系统由一个时刻状态向下一个时刻转化的一系列过程。无论其初始状态如何, 总存在一个由转移概率矩阵唯一确定的稳定状态^[19]。笔者运用转移矩阵来研究森林景观类型之间的相互转化与稳定性。

3 结果分析

3.1 景观格局指数分析

3.1.1 景观结构边缘指数分析 由于本研究主要分析余杭区森林景观结构的变化, 但建筑用地、农田、水体作为该地区不可分割的景观类型, 仍然被作为重要的组成部分列出。由表1可以看出斑块数量在1990年出现激烈的增长, 是1978年的近10倍, 而在2003年有所下降, 但与1978年相比较仍然有不小的增长; 从边缘密度和斑块周长来分析, 同样可以得到与斑块数量相似的结果。从中可以发现, 1990年与1978年相比, 该研究区的森林景观结构破碎化程度增大, 而在2003年破碎化程度有所减小。

3.1.2 景观结构形状指数分析 从表2可以看出, 除了阔叶林的形状指数在1990年下降外, 其他林

表 1 边缘景观格局指数分析

Table 1 Spatial analysis of landscape edge pattern

景观类型	斑块数量/个			边缘密度/(m·hm ⁻²)			斑块周长/m		
	1978	1990	2003	1978	1990	2003	1978	1990	2003 年
竹林	337	2 630	818	12.94	42.39	23.94	1 590 300	5 209 002	2 942 169
经济林	247	2 381	1 384	22.52	11.55	12.47	2 767 179	1 418 958	1 531 932
针叶林	462	5 761	2 250	9.74	46.25	30.65	1 196 601	5 683 356	3 766 446
阔叶林	147	1 684	1 153	3.46	13.35	14.82	424 992	1 640 973	1 821 093
建筑用地	1 168	7 458	2 384	40.73	75.40	59.39	5 005 683	9 265 692	7 297 596
农田	774	4 377	1 444	39.78	102.77	63.09	4 888 320	12 629 661	7 753 083
水体	286	1 748	1 352	4.86	7.57	20.32	596 790	930 126	2 496 885

分均表现为 1990 年比 1978 年上升, 在 2003 年又下降。这表明, 在 1978–1990 年内人类对于森林景观的影响导致了景观的形状复杂化。聚集度指数表明了同种斑块类型之间的自然衔接程度^[20]。从聚集度指数来看, 余杭区的景观类型之间相互干扰较小, 同种景观类型存在较好的连接, 但可以发现, 各景观类型聚集度指数均在 1990 年降低而在 2003 年有所升高, 这可以充分说明人类干扰对于森林景观结构变化的影响。

表 2 形状景观格局指数分析

Table 2 Spatial analysis of landscape shape pattern

景观类型	面积加权的平均形状指数			相似于邻接百分比/%			聚集度指数/%		
	1978	1990	2003	1978	1990	2003	1978	1990	2003 年
竹林	4.24	11.06	7.97	89.70	79.80	86.98	97.66	98.26	98.45
经济林	10.82	1.74	2.19	90.87	71.86	76.64	99.24	84.35	89.65
针叶林	2.70	7.38	4.31	88.57	66.56	79.81	95.88	95.59	95.44
阔叶林	3.08	2.58	3.09	90.60	80.39	82.35	97.05	92.60	94.44
建筑用地	15.23	35.13	17.93	86.691	73.70	76.28	99.21	99.33	98.76
农田	15.77	50.32	33.23	92.77	83.88	89.43	99.62	99.76	99.76
水体	2.69	3.07	10.88	90.50	65.79	75.49	96.57	89.15	97.84

3.1.3 景观结构面积指数分析 由表 3 可以看出, 1990 年的景观情况破碎化严重。首先各种景观类型斑块密度指数比 1978 年明显增大, 到 2003 年时有所降低, 但是与 1978 年相比较, 该指数依然较高。从平均斑块面积指数也可以得到一致的结论, 但是最大斑块指数的变化情况较为复杂, 各种林分之间没有一致的规律性。单个林分纵向比较可以发现, 竹林和阔叶林的最大斑块指数逐年增大, 说明这两种林分类型所受大斑块支配的程度逐渐加大; 经济林的最大斑块指数、斑块密度和平均斑块面积的变化趋势一致, 这更加说明了经济林作为城乡交界处一个活跃的景观类型, 受到人类活动干扰最为明显。

3.1.4 景观水平指数分析 表 4 是景观水平的指数分析, 我们用另外一个指数——分维数来衡量人类活动对于景观结构的影响程度, 该指数越大表明该地区的景观结构越复杂。1978–1990 年, 分维数增大, 表明该研究区内的景观结构总体趋向于复杂和不规则, 1990–2003 年, 分维数值减小表明该研究区的景观结构有所好转。

3.1.5 景观异质性分析 对景观异质性指标进行分析(表 5), 1978–2003 年的斑块丰富度没有发生变化, 是由于在这一时间段内研究区内没有新的景观类型出现。景观均匀度指数和景观多样性指数

表3 面积景观格局指数分析

Table 3 Spatial analysis of landscape area pattern

景观类型	斑块密度/(个·hm ⁻²)			最大斑块指数/%			平均斑块面积/hm ²		
	1978	1990	2003	1978	1990	2003	1978	1990	2003
竹林	0.27	2.14	0.67	0.73	1.02	1.35	32.64	6.99	19.69
经济林	0.20	1.94	1.13	2.95	0.05	0.11	87.38	1.51	3.38
针叶林	0.38	4.69	1.83	0.39	0.71	1.06	16.15	2.10	5.91
阔叶林	0.12	1.37	0.94	0.66	0.26	0.51	21.93	3.54	6.38
建筑用地	0.95	6.07	1.94	7.15	8.61	2.74	22.94	3.37	9.20
农田	0.63	3.56	1.18	11.92	17.13	24.40	62.27	12.75	36.20
水体	0.23	1.42	1.10	0.42	0.12	1.80	15.65	1.11	5.37

先减小后增大，并且2003年大于1978年的水平，说明在着整个研究时间段内，余杭区的景观优势度进一步降低，破碎化程度加深，丰富程度和复杂程度加大，这说明了人类的活动对于景观结构具有深刻影响。

表4 景观水平格局指数分析

Table 4 Spatial analysis of landscape-level

年份	斑块密度/(个·km ⁻²)	最大斑块指数/%	边缘密度/(m·hm ⁻²)	平均斑块面积/hm ²	分维数
1978	3.20	11.92	69.42	31.23	1.38
1990	21.25	17.13	151.58	4.71	1.50
2003	8.78	24.40	114.22	11.39	1.48

表5 景观异质性格局指数分析

Table 5 Spatial analysis of landscape heterogeneity

年份	斑块丰富度	景观多样性指数	景观均匀度指数
1978	0.006 5	1.615	0.776 7
1990	0.006 5	1.512	0.727 1
2003	0.006 5	1.638	0.787 7

3.2 余杭区景观格局时空变化分析

3.2.1 景观类型总面积变化分析 由表6可以看出，在3个不同时期，余杭区的森林覆盖率各有不同，其中1978和1990年的森林覆盖率基本持平并略有下降趋势，分别为35.21%和32.58%，余杭区2003年的森林覆盖率有所上升，占到全区总面积的33.71%。这说明随着城市化进程的不断加快与人口压力的不断增大，余杭区森林景观正受到人类活动更加深入的影响。纵向分析(表6)可以看出，各种森林景观在3个不同时期内均有变化，其中经济林的面积下降明显。此外，从表6可以看出竹林在该地区的各种林分当中占有较大的比例，这说明了竹林在该地区属于优势群落。其余各种林分景观呈

表6 各景观类型面积、百分比统计

Table 6 Area and percentage statistic of landscape types

景观类型	1978年		1990年		2003年	
	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%
竹林	11 001.28		18 371.80		16 105.29	
经济林	21 584.08		3 592.59		4 673.28	
针叶林	7 461.82	35.21	12 107.72	32.58	13 292.71	33.71
阔叶林	3 223.01		5 963.05		7 353.38	
建筑用地	26 794.26		25 098.20		21 922.47	
农田	48 196.88	64.79	55 801.01	67.42	52 278.60	66.29
水体	4 474.77		1 937.22		7 259.81	

现了不规律的变化, 这一点在余杭区当年的统计年鉴上也得到了证实。从景观类型的面积变化值来看, 建筑用地面积处于不断下降过程中, 这可能与人类居住方式由平面化向空间立体化转变有关。其次是针叶林和阔叶林在 1978 到 2003 的这个时间段内面积呈现上涨的趋势, 并且经济林面积呈现明显下降的趋势。

3.2.2 景观类型面积转移矩阵 表 7 为 1978 – 1990 年余杭区各景观版块类之间的面积变化率转移矩阵, 由表中可以看出, 1978 – 1990 年间, 竹林、经济林、阔叶林、针叶林等 4 种森林景观类型中最为稳定的斑块类型是竹林, 保持了自身面积的 54.20% 没有发生变化, 并且有 35.32% 的经济林、35.37% 的阔叶林、49.43% 的针叶林转化为竹林。而竹林只有 0.4% 面积变成了经济林。可见, 经济林与竹林的相互转化打破了原有的平衡。从转移矩阵中还可以看到经济林只有 1.02% 保持了原来的类型, 大部分经济林转化为竹林、阔叶林与针叶林, 还有 22.26% 转化成了农田, 结合 1978 – 1990 年的经济林的面积变化情况, 与转移矩阵得到的结果是一致的。针叶林与阔叶林面积变化并不是很剧烈, 虽然有部分面积转换为竹林, 但其他景观类型转化多少弥补了这一空缺。

表 7 1978 – 1990 余杭区景观类型面积变化转移矩阵

Table 7 Translation matrix of classes (1978–1990)

年份	景观类型	至 1990 年转化的景观类型/%					
		竹林	经济林	针叶林	阔叶林	建筑用地	农田
1978	竹林	54.20	0.40	25.52	15.58	0.30	3.62
	经济林	35.32	1.02	27.72	12.33	0.85	22.26
	针叶林	35.37	0.37	30.77	3.84	1.92	25.96
	阔叶林	49.43	0.37	11.93	34.49	0.57	2.25
	建筑用地	0.59	2.07	1.00	0.21	35.34	58.64
	农田	0.49	5.58	0.55	0.16	26.05	65.85
	水体	0.02	0.34	0.24	0.00	62.19	18.97

表 8 是余杭区 1990 – 2003 年的各景观类型斑块之间的面积变化转移矩阵。可以看出, 在竹林、经济林、阔叶林、针叶林等 4 种森林景观类型中, 竹林仍然保持了最高的稳定性, 在这一时间段内, 竹林保持了 43.31% 的面积没有发生转移, 并且有相当一部分的针叶林与阔叶林转化为竹林, 但是我们可以看到, 与 1978 – 1990 年这一时间段的竹林转换相比较, 1990 – 2003 年时期竹林稳定性有所下降。经济林在该时期的森林类型中仍然是最不稳定的类型, 只保留了 11.56% 的面积没有发生变动, 而有 67.23% 的面积转化为了农田, 但由于有阔叶林与针叶林的转入, 结合面积变化分析, 2003 年经济林的面积与 1990 年相比较有了一定的增加。针叶林与阔林木面积稳定性介于竹林和经济林之间。

表 8 1990 – 2003 余杭区景观类型面积变化转移矩阵

Table 8 Translation matrix of classes(1990 – 2003)

年份	景观类型	至 2003 年转化的景观类型/%					
		竹林	经济林	针叶林	阔叶林	建筑用地	农田
1990	竹林	43.31	3.62	28.15	19.93	1.38	3.35
	经济林	1.73	11.56	0.92	0.80	13.87	67.23
	针叶林	34.96	4.93	37.12	13.01	1.67	8.23
	阔叶林	35.92	9.10	26.77	20.54	2.16	5.50
	建筑用地	0.22	0.70	0.13	0.13	36.42	49.13
	农田	2.96	4.05	3.44	1.49	20.25	63.43
	水体	2.84	1.94	3.45	1.97	18.73	12.53

4 结论与讨论

研究区森林景观主要由竹林、针叶林、阔叶林和经济林组成，属于典型的亚热带植被区。在各个研究时段内，竹林面积与其他林分面积相比均为最大，说明竹林在该研究区森林资源中占据优势。研究区森林景观破碎度较高。在1978–2003年，破碎度总体趋势表现为先增大后减小。其中竹林、阔叶林和针叶林的斑块数量、边缘密度及斑块周长等景观格局指数都呈现先增大后减小的过程。经济林的景观指数变化情况有明显不同。尽管经济林在余杭区森林景观中的比例很小，无法直接对多样性指数、优势度指数和均匀度指数产生深刻影响，而且人类活动造成的破碎化程度的加大短期内也不会直接影响到林种和植被结构的变化，但是经济林作为城区与郊区的连接处来研究十分必要，成为该连接处最为活跃的景观成分^[20–21]。

各种林分在不同年代有不同程度的内部转移，但保持了总比例的基本稳定。只有在经济林与农田之间发生了森林与外部景观类型的剧烈转移，大面积的经济林向农田转移。这说明，在这段时期内，城市化的进程影响到了森林景观的分布，并且随着当地政策的变化，森林景观与其他景观类型之间的关系也在发生变化。但总体来讲，在该时段内余杭区的森林覆盖率保持了很好的稳定性^[22]。这一点从余杭区的统计资料上得到了验证。

本研究着重于对余杭区森林景观的分析，由于植被光谱的相似性以及缺乏更加可靠的当时林相图的参考，因此存在“混分”的现象，影响了分类的精度。另外，本研究对景观格局的变化原因未作深入探讨，只从定性角度提到人类活动对研究区景观的影响，基础建设投资加大、城市扩张、人口增加压力等原因使当地的森林景观受到了一定的影响，因此，建议当地政府在制定发展计划时要对森林予以足够的重视，保护和建设大型森林斑块，规划生态保护区。

参考文献：

- [1] 杨洪晓, 吴波, 张金屯, 等. 森林生态系统的固碳功能和碳储量研究进展[J]. 北京师范大学学报：自然科学版, 2005, **41** (2): 172–177.
YANG Hongxiao, WU Bo, ZHANG Jintun, et al. Progress of research into carbon fixation and storage of forest ecosystems [J]. *J Beijing Nor Univ Nat Sci*, 2005, **41** (2): 172–177.
- [2] 肖笃宁, 李秀珍. 景观生态学的学科前沿与发展战略[J]. 生态学报, 2003, **23** (8): 1615–1621.
XIAO Duning, LI Xiuzhen. Fronts and future strategies of landscape ecology [J]. *Acta Ecol Sin*, 2003, **23** (8): 1615–1621.
- [3] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J]. 自然资源学报, 2004, **19** (4): 480–491.
ZHAO Tongqian, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al. Forest ecosystem services and their valuation in China [J]. *J Nat Resour*, 2004, **19** (4): 480–491.
- [4] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 应用生态学报, 1999, **10** (5): 635–640.
OUYANG Zhiyun, WANG Rusong, ZHAO Jingzhu. Ecosystem services and their economic valuation [J]. *Chin J Appl Ecol*, 1999, **10** (5): 635–640.
- [5] 李少宁, 王兵, 赵广东, 等. 森林生态系统服务功能研究进展—理论与方法[J]. 世界林业研究, 2004, **17** (4): 14–17.
LI Shaoning, WANG Bing, ZHAO Guangdong, et al. Advance in researches on forest ecosystem services-theory and method [J]. *World For Res*, 2004, **17** (4): 14–17.
- [6] 余新晓, 鲁绍伟, 靳芳, 等. 中国森林生态系统服务功能价值评估[J]. 生态学报, 2005, **25** (8): 2096–2102.
YU Xinxiao, LU Shaowei, JIN Fang, et al. The assessment of the forest ecosystem services evaluation in China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2005, **25** (8): 2096–2102.
- [7] 曾辉, 郭庆华, 刘静艳. 东莞市景观生态演化特征的分析[J]. 中国环境科学, 1997, **17** (5): 422–425.
ZENG Hui, GUO Qinghua, LIU Jingyan. Analysis of landscape ecological changing characteristics of Dongguan City [J].

- China Environ Sci*, 1997, **17** (5): 422 – 425.
- [8] 曾辉, 姜传明. 深圳市龙华地区快速城市化过程中的景观结构研究——林地的结构和异质性特征分析[J]. 生态学报, 2000, **20** (3): 378 – 383.
- ZENG Hui, JIANG Chuanming. Landscape structure study of Longhua Area in Shenzhen City during the fast urbanization process structure and heterogeneity analysis of forest land [J]. *Acta Ecol Sin*, 2000, **20** (3): 378 – 383.
- [9] 张涛, 李惠敏, 韦东, 等. 城市化过程中余杭市森林景观空间格局的研究[J]. 复旦学报: 自然科学版, 2002, **41** (1): 83 – 88.
- ZHANG Tao, LI Huimin, WEI Dong, et al. A landscape ecological analysis of forests at different levels of urbanization in Yuhang, Zhejiang Province [J]. *J Fudan Univ*, 2002, **41** (1): 83 – 88.
- [10] 由畅, 周永斌, 于丽芬. 景观破碎化数量分析方法概述[J]. 中国农学通报, 2006, **22** (5): 146 – 151.
- YOU Chang, ZHOU Yongbin, YU Lifen. An introduction of quantitative methods in landscape pattern fragmentation[J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2006, **22** (5): 146 – 151.
- [11] 陈文波, 肖笃宁, 李秀珍. 景观指数分类、应用及构建研究[J]. 应用生态学报, 2002, **13** (1): 121 – 125.
- CHEN Wenbo, XIAO Duning, LI Xiuzhen. Classification, application, and creation of landscape indices [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2002, **13** (1): 121 – 125.
- [12] 郭沫, 夏北成, 刘蔚秋. 地形因子对森林景观格局多尺度效应分析[J]. 生态学杂志, 2006, **25** (8): 900 – 904.
- GUO Li, XIA Beicheng, LIU Weiqiu. Multi-scale effect of topography on forest landscape pattern in Taishan Mountain [J]. *Chin J Ecol*, 2006, **25** (8): 900 – 904.
- [13] 郭晋平, 王俊田, 李世光. 关帝山林区景观要素环境梯度分布趋势的研究[J]. 植物生态学报, 2000, **24** (2): 135 – 140.
- GUO Jinping, WANG Juntian, LI Shiguang. Distribution of landscape elements along environmental gradients in Guandishan forest region [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 2000, **24** (2): 135 – 140.
- [14] AMBROSIO F L, IGLESIAS M L. Land cover estimation in small areas using ground survey and remote sensing [J]. *Remote Sens Environ*, 2000, **74**: 240 – 248.
- [15] TISCENDORF L. Can landscape indices predict ecological processes consistently? [J]. *Landscape Ecol*, 2001, **16**: 235 – 254.
- [16] NAGENDRA H, MUNROE D K, SOUTHWORTH J. Introduction to the special issue from pattern to process: Landscape fragmentation and the analysis of land use / land cover change [J]. *Agric, Ecosys Environ*, 2004, **101**: 111 – 115.
- [17] BRUNS D, IPSEN D, BOHNET I. Landscape dynamics in Germany [J]. *Landscape Urban Plann*, 2000, **47**: 143 – 158.
- [18] 王斌, 刘华, 张硕新, 等. 基于马尔柯夫模型的火地塘林区景观格局变化研究[J]. 中国农学通报, 2005, **21** (9): 124 – 128.
- WANG Bin, LIU Hua, ZHANG Shuoxin, et al. Study of landscape pattern variation based on Markov Model in Huoditang Forest Region [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2005, **21** (9): 124 – 128.
- [19] 蔡小虎, 王启和, 王金锡, 等. 基于马尔柯夫模型的森林景观动态的变化分析[J]. 四川林业科技, 2007, **28** (4): 10 – 15.
- CAI Xiaohu, WANG Qihe, WANG Jinxi, et al. Analysis of dynamic changes of forest landscape based on Markov Model [J]. *J Sichuan For Sci Technol*, 2007, **28** (4): 10 – 15.
- [20] LOFMANS S, KOUKI J. Scale and dynamics of a transforming forest landscape [J]. *For Ecol Manage*, 2003, **175**: 247 – 252.
- [21] PINDER J E, KROH G C, WHITE J D, et al. The relationships between vegetation types and topography in Lassen Vocalic National Park [J]. *Plant Ecol*, 1997, **131**: 17 – 29.
- [22] 邓劲松, 李君, 余亮, 等. 快速城市化过程中杭州市土地利用景观格局动态[J]. 应用生态学报, 2008, **19** (9): 2003 – 2008.
- DENG Jinsong, LI Jun, YU Liang, et al. Dynamics of land use landscape pattern in Hangzhou City during its rapid urbanization [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2008, **19** (9): 2003 – 2008.