

杭州市区土地利用景观格局演变及驱动力分析^①

黄木易¹, 岳文泽², 杜娟¹

(1 安徽建筑工业学院环境与能源工程学院, 合肥 230601; 2 浙江大学东南土地管理学院, 杭州 310029)

摘要: 基于遥感影像应用景观生态学及相关定量分析方法, 剖析了杭州市区 1991—2005 年来的快速城市化阶段的土地利用景观格局演变特征, 并引入典范对应分析 (canonical correspondence analysis, CCA) 方法进行驱动力机制分析。研究表明: ①杭州市近 15 年来土地利用景观结构发生了较大的变化, 主要表现为农业景观与水体景观大量减少, 并成为建设景观增加的主要来源, 其中农业景观占建设景观来源的 43.85%; ②景观水平格局特征表现为斑块总数的增加、景观多样性的上升、景观破碎化程度呈现上升趋势、斑块优势在下降, 说明大斑块对整个景观的控制作用随土地利用变化呈减弱趋势; ③CCA 排序结果清晰展现了杭州市 8 个区的景观格局指数与驱动因子的相互关系及空间特征。

关键词: 景观格局演变; 驱动机制; 典范对应分析 (CCA); 杭州市区

中图分类号: Q149; P901

城市化是人类社会经济发展的自然规律, 随着城市化、工业化进程的不断推进, 人口增长与经济发展使得城市土地利用与景观格局发生一系列变化, 而城市景观的空间配置及其时间演变是产生各种城市生态环境问题的前提之一^[1]。利用“3S”技术和景观生态学方法进行土地利用与景观格局变化、生态环境效应和驱动机制等问题的探讨已成为当前研究热点^[2-8]。加强城市景观格局演变的特征和驱动机制研究是理解和解决城市生态环境问题的关键之一, 而定量化的驱动因子分析是认识城市土地景观格局演变原因的重要手段。

目前, 大多数关于土地利用变化驱动力研究多为基于线性相关的假设^[9]并主要侧重于自然环境因素的分析^[10]和社会经济因子的定性描述^[11]。但实际上, 土地景观变化与社会经济的关系并非都是线性的, 科学家们均已认识到人类活动是影响土地利用变化的主要驱动力, 在建立分析模型时受到各种限制, 尚不能成功地将社会经济因子的驱动力贡献加以定量分析和模拟^[12]。而选择较小时空尺度下, 进行社会经济因素对土地景观变化的驱动机制研究将能更准确地把握景观格局变化的作用规律。典范对应分析 (canonical correspondence analysis, CCA) 是生物学中的主要分析方法, 目前, CCA 排序广泛应用于植物群落与环境因子关系^[13-14], 土壤、水及养分与环境关系^[15-16]等研究方

面, CCA 分析应用于区域水平上的土地利用及景观格局变化的驱动机制研究近年来不断增多^[17-19], 而将该方法应用于城市景观格局特征的变化驱动机制研究鲜有报道。CCA 分析可以较好地展示物种变化与环境因子间的空间对应关系, 本文将引入 CCA 方法对城市景观格局变化的驱动机制进行定量分析, 这将有助于对驱动因子作用的直观认识与理解。

1 材料与方法

1.1 研究区域

杭州是浙江省省会, 全国重点风景旅游城市和历史文化名城, 副省级城市。杭州地处长江三角洲南翼, 杭州湾西端, 钱塘江下游, 京杭大运河南端, 是长江三角洲重要中心城市和中国东南部交通枢纽。杭州市区中心地理坐标为 30°16'N、120°12'E。地貌类型多样, 地势西高东低, 西部、中部和南部属浙西中低山丘陵, 东北部是浙北平原。世界上最长的人工运河—京杭大运河和以大涌潮闻名的钱塘江穿城而过。本研究的区域为杭州市城区范围, 研究对象为杭州市 8 个区, 即上城区、下城区、西湖区、江干区、拱墅区、滨江区、余杭区与萧山区。

1.2 资料来源及处理

本文选用 1991、1996、2002 和 2004 年共 4 景 Landsat TM 遥感影像, 轨道号为 119/39; 还有 2004

①基金项目: 国家自然科学基金项目 (40701177) 和安徽省教育厅人文社会科学研究基金项目 (SK2012B111) 资助。

作者简介: 黄木易 (1978—), 男, 安徽芜湖人, 博士, 讲师, 主要从事土地管理与 3S 技术应用研究。E-mail: huangyang78@163.com

年杭州市区土地利用现状图（1:10 万）、杭州市交通分布图、杭州市行政边界矢量图及其他要素图；另外还有相关社会经济统计数据。

首先利用城区范围的矢量边界图裁剪整景遥感影像得到研究区范围。然后基于 Erdas8.7 平台对研究区遥感影像采用监督分类方法进行土地利用分类。考虑到影像分辨率并结合研究区状况，并参照相关分类标准（基于中分辨率卫星影像的“国家级土地利用与覆被分类系统”、《浙江省土地分类（过渡期间适用）》），本研究进行 I 级土地利用类别分类。研究区的解译结果分为 5 类，分别为耕地、园地、林地、建设用地和水体类型。

1.3 研究方法

景观指数指反映景观格局结构和空间配置的定量指标^[20]，被广泛地应用于城市化过程中的土地利用景观格局演变研究。本文将采用斑块数量（NP）、景观多样性指数（SHDI）、优势度（D）与景观破碎度指数（FN₁）进行景观水平格局特征的分析研究，其中景观多样性（SHDI）是对景观中不同类型单元按其占总面积的比例进行的统计，它是基于信息论基础之上，对景观的丰富程度和复杂程度的反映，是景观丰富度和组合复杂程度的综合体现。一般来说，多样性大小取决于景观类型的数目以及各类斑块所占比例的均衡性，多样性越大，其面积比率分布越均匀；景观破碎化指数（FN₁）表示的是景观被分割的程度。各指数公式参见 Fragstats3.3。

典范对应分析（canonical correspondence analysis, CCA）是一种揭示两组多元随机变量之间相关关系的统计模型方法，最早由 Hotelling 于 1936 年在《生物统计》期刊上提出。它是基于非线性的对应分析（CA）基础上发展而来的，揭示的是两组多元随机变量之间的关系。这两组多元随机变量中一组是物种变量（本研究中的景观格局指数），另一组是环境变量（本研究中的社会经济因子），它将对对应分析与多元回归分析结合，每一步计算均与环境因子进行回归，又称环境约束对应分析或多元直接梯度分析^[20]。典范对应分析的基本思路是，在对应分析的迭代过程中，每次得到的样方排序坐标值均与环境因子进行多元线性回归，使之直接反映环境因子对排序结果的影响^[21]，即：

$$x_i = b_0 + \sum_{j=1}^q b_j z_{ij} \quad (1)$$

式中， x_i 是第 i 个样方的排序值， b_0 是截距， b_j ($j = 1, 2, \dots, q$, q 为环境因子数) 是样方与第 j 个环境因子之间

的回归系数， z_{ij} 是第 j 个环境因子在第 i 个样方中的观测值。

本文应用国际通用软件 Canoco for windows 对景观变异驱动力进行分析探讨。文中的样本单元为杭州市 8 个区（上城区、下城区、西湖区、江干区、拱墅区、滨江区、余杭区与萧山区）。具体应用软件进行 CCA 分析时，首先对各研究样方的景观格局指数与社会经济数据按最大值法进行标准化处理，然后将景观格局指数作为物种变量，将社会经济指标作为环境变量，把各景观特征指标在研究期间的变化量建立物种因子数据矩阵，将所选择的社会经济指标在对应期间的变化量建立环境因子数据矩阵。最后，在国际通用软件 Canoco for windows 的 WcanoImp 中，将 CCA 分析所需要的景观格局指数与社会经济数据分别生成 Canoco 分析所需要的物种数据和环境数据格式保存，对 Canodraw 分析后的数据采用物种-样方与环境因子变量双序图的生成。具体方法参见 Canoco for windows 软件使用说明。

2 结果与分析

2.1 景观数量变化分析

本文在土地利用类型重编码的基础上进行景观类型结构分析与评价，研究区景观主要分为农业景观、林地景观、水体景观和建设景观 4 大类。景观类型结构变化见图 1 所示。

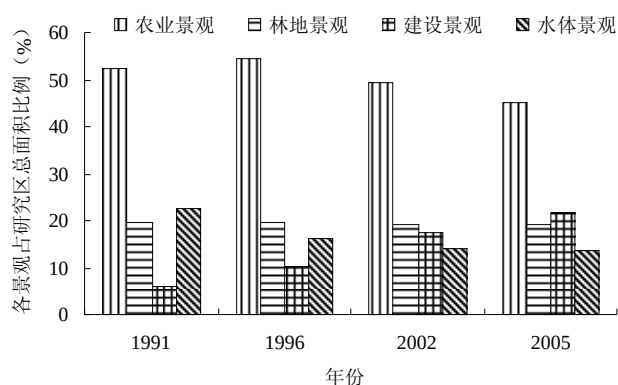


图1 土地利用景观类型结构变化图（1991—2005年）

Fig. 1 Variation of land-use landscape types

为了分析景观类型之间的相互转化情况，本文利用 Erdas8.7 的矩阵功能直接计算出 1991 年与 2005 年间的两期各土地利用景观类型的转换面积，并在此基础上根据相关文献^[2]建立土地景观类型间的转移矩阵，转移矩阵见表 1 所示。

表 1 土地利用景观类型变化转移矩阵 (1991—2005 年)

Table 1 Change matrix of land-use landscape types

土地景观类型	项目	农业景观	林地景观	水体景观	建设景观	总计 (1991 年)
农业景观	面积 (hm ²)	134 119.84	0	7 449.02	32 013.94	173 582.80
	流出率 (%)	77.27	0	4.29	18.44	
	流入率 (%)	89.63	0	16.25	43.85	
林地景观	面积 (hm ²)	1 268.97	63 596.21	0	0	64 865.18
	流出率 (%)	1.96	98.04	0	0	
	流入率 (%)	0.85	100	0	0	
水体景观	面积 (hm ²)	14 253.37	0	38 399.39	21 652.23	74 304.99
	流出率 (%)	19.18	0	51.68	29.14	
	流入率 (%)	9.52	0	83.75	29.65	
建设景观	面积 (hm ²)	0	0	0	19 350.03	19 350.03
	流出率 (%)	0	0	0	100	
	流入率 (%)	0	0	0	26.50	
总计 (2005 年)		149 642.20	63 596.21	45 848.41	73 016.20	332 103.00
变化率		-0.137 9	-0.019 6	-0.383 0	2.773 4	

注: ①表中某一土地景观类型的面积指该土地景观类型由 1991 年到 2005 年转变为各种土地景观类型的面积; ②流出率表示该土地景观类型由 1991 年到 2005 年转变为其他土地景观类型的比例; 流入率表示该土地景观类型 2005 年的面积由各土地景观类型自 1991 转变而来的比例; ③总计分别表示 1991 年和 2005 年各土地景观类型的总面积; ④变化率 = (2005 年值-1991 年值)/1991 年值。

由表 1 可以看出杭州市近 15 来的土地利用变化过程, 其中农业景观和水体景观面积下降明显, 面积分别由 173 582.80 hm² 和 74 304.99 hm² 减少到 149 642.20 hm² 和 45 848.41 hm², 净减少 23 940.60 hm² 和 28 456.58 hm²。建设景观面积显著增加, 面积由 19 350.03 hm² 增加到 73 016.20 hm², 净增加 53 666.17 hm²。从农业景观的转出类型看, 农用地主要转变为建设景观和水体景观。水体景观主要转变为农业景观与建设景观。林地面积变化平稳。建设景观面积增加主要来源于农业景观与水体景观, 其中来源于农业景观的面积占总流入量的 43.85%。

2.2 景观水平格局特征分析

景观水平的格局特征是各类景观类型相互作用的结果。影响基本生态过程的空间格局参数主要有斑块大小、斑块形状、斑块密度及斑块的分布构型^[22]。景观特征可以用数量化的景观指数方法和空间统计学方法来计算和描述, 从而反映景观生态的结构、功能与过程, 数量化的景观指数即景观格局指数。景观异质性是许多基本生态过程和物理环境过程在空间和时间尺度连续体上共同作用的产物^[23]。作为景观结构的一个重要特征, 景观异质性对景观的功能过程具有显著影响。可以说, 景观异质性是景观根本属性, 景观异质性的变化受到景观类型要

素数量、景观类型要素的斑块数量、景观类型要素的分布情况及不同类型的各斑块分布情况的影响。对杭州市区 1991—2005 年的景观水平的格局指数计算表明, 在近 15 年里, 杭州市区景观结构发生了明显的变化。

由表 2 可以看出, 斑块数量 (NP) 呈显著上升趋势, 如 1991 年, NP 为 11 245, 而 2005 为 24 831, 年增加 1 000 左右。这种变化趋势在很大程度上是由于人为活动对土地利用的强烈干扰所造成的。在总面积不变的情况下, 斑块总数的增加, 表明景观趋于复杂。研究表明, 整个研究区景观多样性指数由 1991 年 0.402 上升到 2005 年的 0.551, 如表 2 所示。这种变化说明杭州市区随着城市化进程中的土地开发利用强度不断加大, 建设用地面积在不断地增加, 而原农用地景观类型的优势斑块面积逐渐减少, 导致区域内各景观类型面积差异减小, 各类斑块的均衡性增加, 故表现为景观多样性的上升。由表 2 可以看出, 杭州市区景观优势度指数 (D) 由 1991 年的 0.316 下降到 2005 年的 0.203, 表明随着农用地不断转变为建设用地, 农用地原有的斑块优势在下降, 由此造成其对整个景观的控制作用减弱。景观破碎化指数 (FN₁) 表示的是景观被分割的程度, 如表 2 所示, 研究区景观破碎化程度呈现上升趋势。

表2 杭州市区景观水平格局指数特征

Table 2 Changes of landscape pattern indices at landscape level in Hangzhou city

年份	斑块数量 (NP)	景观多样性 (SHDI)	优势度 (D)	景观破碎度 (FN ₁)
1991年	11 245	0.402	0.316	0.138
1996年	15 172	0.445	0.282	0.141
2002年	22 018	0.537	0.225	0.157
2005年	24 831	0.551	0.203	0.163

2.3 景观格局变化的 CCA 驱动机制分析

本文选择的指标包括景观格局指数与社会经济指标。景观格局指数包括景观类型斑块数量 (NP)、景观多样性指数 (SHDI)、优势度指数 (D) 及景观破碎度 (FN₁)。社会经济数据包括总人口、国民生产总值、房地产当年完成总投资、交通道路密度与财政收入等指标。以下对 Canoco 自动处理的数据结果与双序图进行定量分析。

2.3.1 环境因子与排序轴之间相关性分析 CCA 分析结果表明, 排序轴总特征值为 0.735, 排序轴与景观格局指数变化和社会经济发展变化之间相关性达到显著水平。在所有排序轴中前两个排序轴的特征值分别为 0.371 和 0.266, 累计百分比分别为 50.5% 和 86.7%, 说明两个排序轴集中了全部轴所反映的物种与环境因子变化相关关系的绝大部分信息, 且景观指数变化与驱动因子变化之间关系主要体现在第一排序轴上, 物种与环境因子排序轴的相关系数高达 0.923 和 0.955, 说明排序图能够较好地表达环境因子与排序轴的关系。由表 3 可知, 在 CCA 排序轴中, 与第 1 轴 (水平) 的相关性最大的环境因子为财政收入和国民生产总值, 与第 2 轴 (垂直) 相关性最大的环境因子为房地产当年完成总投资和国民生产总值, 从第 1、2 排序轴可以看出, 财政收入和房地产投资对景观格局特征指数有明显的影

2.3.2 CCA 排序分析 CCA 要求两个数据矩阵, 一个是物种数据矩阵, 一个是环境数据矩阵。物种矩阵经过标准化转换后按录入成 *.spe 文件; 环境矩阵转换后录入成 *.env 文件, 然后应用国际标准通用软件 Canoco for windows 4.5 运算, 将生成的数据文件 *.sol 应用 Canodraw 生成的排序图, 排序结果用物种-环境因子关系的双序图表示^[21,24]。因为 CCA 的计算结果以二维平面图的形式直观地展示了分析样本、物种变量和环境变量之间的对应关系, 所以尽管这种方法不能从机理上剖析景观格局变异与社会经济活动之间的相互影响机制, 但可以揭示景观格局变异与社会经济活动的重要关系。如图 2 所示, Canodraw 排序图中有箭头的线段表示环境因子, 圆圈表示样方, 三角形表示物种因子; 而箭头的方向表示该环境因子的变化趋势, 箭头线段的长度表示物种或样方与环境因子的关系大小, 箭头连线与排序轴的夹角表示该社会经济指标变化与排序轴相关性的大小, 箭头之间的夹角代表两种指标之间的相关关系; 圆圈之间的距离表示各区之内景观格局指数变化的相似性; 三角形之间的距离表示景观格局指数变化之间的相似性。

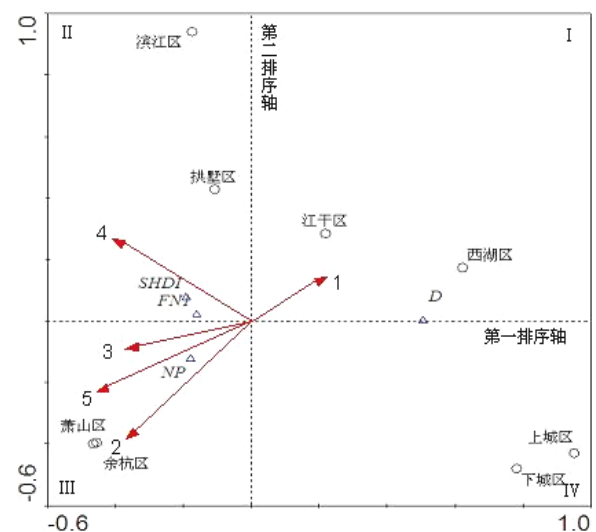


图2 杭州市8个区的景观格局指数与社会经济指标的 CCA 二维排序图

Fig. 2 CCA biplot of landscape pattern indices and socio-economic indices at 8 districts in Hangzhou city

CCA 分析结果表明: ①样方排序的空间分布结果显示, 8 个区的景观格局指数变化在空间上存在一定的差异, 8 个城区分别排列于 CCA 排序轴的 4 个象限, 其中江干区与西湖区位于第 I 象限, 拱墅区与滨江区位于第 II 象限, 萧山区与余杭区位于第 III 象限, 而上

表3 环境变量与 CCA 排序轴之间的相关系数

Table 3 Correlations between environmental variables and axes

环境因子名称	代码	排序轴	
		第一排序轴	第二排序轴
总人口	1	0.226	0.173
房地产当年完成总投资	2	-0.353	-0.368
交通道路密度	3	-0.341	-0.089
国民生产总值	4	-0.392	0.253
财政收入	5	-0.437	-0.216

城区与下城区则位于第 IV 象限,不同城区在各象限内的组合,也说明区与区之间的景观格局指数变化具有一定的相似性与差异性;②物种变量(景观格局指数的变化)排序的结果显示,景观多样性(SHDI)与破碎度(FN₁)的变化位于第 II 象限,而斑块总数(NP)位于第 III 象限,结合物种与样方的双序轴的二维分布的结果可以看出,拱墅区、滨江区与景观多样性、破碎度指数相关性较大,余杭、萧山区与景观斑块数量的变化关系密切;③物种因子与环境因子之间的二维分布特征显示,国民总产值与交通密度是景观多样性(SHDI)和破碎度(FN₁)变化的主要驱动因子;而财政收入和房地产投资是斑块数量(NP)增加的主要原因。因此,景观格局驱动因子的 CCA 分析非常清楚地表明,随着杭州市城市化进程不断推进、经济发展水平不断提高,交通设施的完善、房地产投资规模的扩大是景观格局特征变化的重要推动力。

3 结论与讨论

(1) 景观格局特征分析表明,杭州市区的景观斑块总数增加、景观多样性上升、景观破碎化程度呈现上升趋势、斑块优势在下降说明大斑块对整个景观的控制作用随土地利用变化呈减弱趋势。景观类型转移分析结果表明,杭州市区近 15 年来,土地利用结构也发生了较大的变化,主要表现为农用地景观与水体景观大量减少,并成为城市建设景观增加的主要来源。

(2) 基于生物学典范对应分析方法的景观格局变化的驱动因子分析表明,CCA 二维排序显示,国民总产值与交通密度是景观多样性(SHDI)和破碎度(FN₁)变化的主要驱动因子;而财政收入和房地产投资是斑块数量(NP)增加的主要原因。CCA 排序较好地展示了研究区域的景观格局变化与驱动因子的相互关系,也提供了不同景观格局指数变化的组合,并对发生变化的区域进行分组,体现了变化类型的共性与差异性,有利于探索各景观指数变化与区域分异的关系及定量地分析与驱动因子之间的相互关系。

(3) 由于县区级相关统计数据收集具有一定的困难,因此,本文选择的社会经济因子指标偏少,关于多指标的驱动因子 CCA 定量分析将会在今后的研究中进一步加强。

致谢: 感谢美国北卡罗来纳大学城市规划系终身教授宋彦博士对本文中相关软件的提供及使用中所给予的指导与帮助!

参考文献:

- [1] 岳文泽,徐建华,徐丽华.基于遥感影像的城市土地利用生态环境效应研究—以城市热环境和植被指数为例.生态学报,2006,26(5):1450-1460
- [2] 潘竟虎,刘普幸,赵军.黑河下游土地利用与景观格局时空特征分析.土壤,2008,40(2):306-311
- [3] 彭冬梅,赵成义,孙栋元,闫映宇,李菊艳,魏恒,李子良.近 15 年台兰河流域土地利用变化及其生态效应研究.土壤,2010,42(1):136-141
- [4] 张佩,张建英,陈英旭,朱荫湄.基于土地利用变化的杭州市绿地生态服务价值 CITYgreen 模型评价.应用生态学报,2006,17(10):1918-1922
- [5] 吴晓青,胡远满,贺红士,布仁仓,郝凤明.沈阳市城镇扩展时空格局及其驱动力.应用生态学报,2007,18(10):2282-2288
- [6] 卜心国,王仰麟,吴健生.深圳快速城市化中地形对景观垂直格局的影响.地理学报,2008(1):75-82
- [7] 邓劲松,李君,余亮,王珂.快速城市化过程中杭州市土地利用景观格局动态.应用生态学报,2008,19(9):2003-2008
- [8] 李富程,王青,李国蓉.绵阳官河河流域土地利用/覆被变化特征及驱动力分析.农业现代化研究,2009,30(6):727-730
- [9] 张惠远,赵昕奕.喀斯特山区土地利用变化的人类驱动机制研究:以贵州省为例.地理研究,1999,18(2):136-142
- [10] 毕晓丽,周睿,刘丽娟,洪军,王兮之,王辉,索安宁,葛剑平.泾河沿岸景观格局梯度变化及驱动力分析.生态学报,2005,25(5):1041-1047
- [11] 王运思,张增祥,周全斌,刘斌,王长有.中国土地利用格局及其影响因子分析.生态学报,2003,23(4):649-656
- [12] 张明,朱会义,何书金.典型相关分析在土地利用结构研究中的应用—以环渤海地区为例.地理研究,2001,20(6):761-767
- [13] 李斌,张金屯.黄土高原地区植被与气候的关系.生态学报,2003,23(1):82-89
- [14] 栾青杉,孙军,宋书群,沈志良,俞志明.长江口夏季浮游植物群落与环境因子的典范对应分析.植物生态学报,2007,31(3):445-450
- [15] 邱扬,傅伯杰.黄土丘陵小流域土壤水分时空分异与环境关系的数量分析.生态学报,2000,20(5):741-747
- [16] 刘世梁,郭旭东,连纲,傅伯杰,王静.黄土高原土壤养分空间变异的多尺度分析—以横山县为例.水土保持学报,2005,19(5):105-108
- [17] 路鹏,苏以荣,牛铮,吴金水.湖南省桃源县县域景观格局变化及驱动力典型相关分析.中国水土保持科学,2006,4(5):71-76
- [18] 孔祥丽,王克林,陈洪松,张继光,张明阳.广西河池地区土

- 地利用变化与社会经济发展水平关系的典范对应分析. 自然资源学报, 2007, 22(1): 131-140
- [19] 陈文波, 郑蕉, 鄢帮有. 鄱阳湖区土地利用景观格局特征研究. 农业工程学报, 2007, 23(4): 79-83
- [20] 索安宁, 洪军, 林勇, 葛剑平. 黄土高原景观格局与水土流失关系研究. 应用生态学报, 2005, 16(9): 1719-1723
- [21] Braak C.J.F. Canonical correspondence analysis: A new eigenvector method for multivariate director gradient analysis. Ecology, 1986, 67: 1167-1179
- [22] 肖笃宁, 李秀珍, 高峻. 景观生态学. 北京: 科学出版社, 2003: 31-52
- [23] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 王仰麟. 景观生态学原理及应用. 北京: 科学出版社, 2001: 58
- [24] Ng S.L., Sin F.S. A diatom model for inferring sea level change in the coastal waters of Hong Kong. Journal of Paleolimnology, 2003, 30(4): 427-440

Analysis on Land Use Landscape Pattern Changes and Driving Force in Hangzhou City

HUANG Mu-yi¹, YUE Wen-ze², DU Juan¹

(1 Department of Environmental Engineering, Anhui University of Architecture, Hefei 230601, China;

2 College of Southeast Land Management, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: Based on the interpretation of TM images, the theory of landscape-ecology and the method of quantitative analysis, the characteristics and changes of landscape pattern in Hangzhou city during the past 15 years (1991—2005) were analyzed and meanwhile the driving force of landscape changes were discussed based on canonical correspondence analysis (CCA) method. The results showed: (1) The land-use landscape pattern changed greatly, mainly the area of farming landscape and water landscape declined significantly, but the area of building landscape increased, which of 43.85% came from farming landscape; (2) Number of patches (NP) and Shannon's diversity index (SHDI) and fragmentation (FN_1) increased, however, the dominance (D) decreased. These results showed that landscape pattern would become smaller and smaller; (3) CCA method clearly demonstrated the correlations and spatial feature between landscape pattern indices and driving forces at eight districts in Hangzhou city.

Key words: Landscape changes, Driving force, Canonical correspondence analysis (CCA), Hangzhou city