

Spatial-Temporal Dynamics of Land Use and Land Cover Change from 1996 to 2006 in the Coastal Zone, USA*

Xianghong Di^{1,2,3,4}, Xiyong Hou^{1,2,3}

¹Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai

²Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes, Chinese Academy of Sciences, Yantai

³Shandong Provincial Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes, Yantai

⁴Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing

Email: xhdi@yic.ac.cn

Received: Jul. 4th, 2011; revised: Jul. 9th, 2011; accepted: Jul. 12th, 2011.

Abstract: Human activities have impacted on the coastal zone profoundly; one of the most important aspects was the land use and land cover change that happening on multi-spatial-temporal scales. In this paper, based on the land cover data in 1996, 2001 and 2006 derived from NOAA Coastal Services Center, the spatial-temporal characters of land use and land cover change in USA's coastal zone were studied. It's divided into five sub-regions which are: Great Lakes Coast (LC), West Coast (WC), Gulf Coast (GC), Northeast Coast (NC) and Southeast Coast (SC). Statistical methods and GIS techniques were used to analyze the spatial-temporal characters of LUCC. We found that, there're extensive land-use activities accompanied with substantial shrinkage of forest area in all the five sub-regions as well as significant decreasing of wetland in SC sub-region, and the change of land areas in 1996-2001 was more dramatic than in 2001-2006. Forest land, wetland and cultivated land were the dominant land use types in most area of coastal zone in USA, however, the grassland spread much wide in WC sub-region. From 1996-2001 to 2001-2006, the changing speed was mitigated markedly, therefore the land cover structure was relatively stable in coastal areas and WC was the most stable. Interchanges between forest and grassland were much common process in coastal zone; moreover, interchanges between wetland and forest were significant in SC sub-region. The land use degree was high overall coastal zone in USA and, from the perspective of land use degree index, LC sub-region has the most intensive human activities while WC sub-region, the least.

Keywords: LUCC; Spatial-Temporal Dynamics; Coastal Zone; USA

1996~2006年美国海岸带土地利用/土地覆被变化时空动态研究*

邸向红^{1,2,3,4}, 侯西勇^{1,2,3}

¹中国科学院烟台海岸带研究所, 烟台; ²中国科学院海岸带环境过程重点实验室, 烟台

³山东省海岸带环境过程重点实验室, 烟台; ⁴中国科学院研究生院, 北京

Email: xhdi@yic.ac.cn

收稿日期: 2011年7月4日; 修回日期: 2011年7月9日; 录用日期: 2011年7月12日

摘要: 人类活动深刻影响着美国海岸带地区, 其中一个很重要的方面表现为多时空尺度的土地利用/覆被变化。本文基于 NOAA Coastal Services Center 提供的 1996 年、2001 年和 2006 年土地覆被数据, 将美国本土海岸带分为五个子区域: 五大湖沿岸区(LC)、西海岸区(WC)、墨西哥湾海岸区(GC)、东北海岸区(NC)和东南海岸区(SC), 对其土地利用/土地覆被变化的时空特征进行研究。结果表明, 研究期内美国海岸带地区林地持续大幅减少同时在 SC 和 GC 湿地数量明显下降, 而且 1996~2001 年较 2001~2006 年土地面积变化更为剧烈。除了在 WC 最主要的三种用地类型为林地、草地和耕地, 其他 4 个子区则均为林地、湿地和耕地。自 1996~2001 年到 2001~2006 年, 土地变化幅度明显放慢, 用地结构较稳定, 其中美国西海岸用地结构最稳定。林地和草地的相互转化在海岸带区域比较普遍, 在 SC 还发生了明显的湿地与林地间的相互转换。美国海岸带的土地利用程度整体较高, 其中以 LC 数值最高、人类活动程度最强, 而 WC 则最小。

关键词: LUCC; 时空动态; 海岸带; 美国

1. 引言

海岸带是海洋与陆地之间相互交接、相互作用并具有一定宽度的带状区域,淡水与海水交汇于此,因此具有特殊的生态和经济价值。海岸带不但为众多鱼类、鸟类、贝类和其他野生动物提供食物,还是其繁殖和栖息地,同时海岸带还广泛分布着一种重要的生态系统类型——湿地,具有着其他多种生态系统所不可替代的生态功能。全世界 60% 的人口居住在这个狭小,但具有高生产力和高生态经济价值、脆弱又动态变化的地带^[1]。在人口压力、城市化、渔业发展、旅游业开发等因素的影响下,海岸带发生着巨大变化并承受巨大压力,出现了海岸侵蚀、水环境恶化、湿地丧失等一系列问题,因此,近年来众多学者聚焦海岸带地区,从不同学科领域出发进行多方面的研究^[2-4]。

自从人类社会产生以来,就不断以各种方式改变着地表的土地覆被形式,开始了土地利用的历史。土地利用是指人类在一定的社会经济目的下,根据土地自然属性的特点,对土地进行的开发利用活动,如商业用地、农业用地、放牧用地等都是属于土地利用的范畴;土地覆被反映的是自然或人为引起的地球表层的覆盖状况,如森林、草地、各种土壤等都属于土地覆被的范畴。因为土地利用变化对环境产生的影响主要是通过改变土地覆被形式产生的,二者有着密切的关系,所以土地利用与土地覆被两个名词经常联系在一起^[5]。土地利用/土地覆被变化(LUCC)研究计划是 20 世纪 90 年代以来全球变化研究中的重要组成部分和核心问题之一^[6],对海岸带区域 LUCC 的研究更成为各方关注的前沿与热点,例如,同样为全球变化研究重要组成部分和核心问题之一的海岸带海陆相互作用(LOICZ)研究计划在其新一期的执行目标中特别强调了海岸带 LUCC 及其环境效应的研究,并希望藉此将原本以自然科学研究为主体的 LOICZ 研究推向以自然科学与人文科学的有机交融为基本特征之一^[7,8]。美国是当今全球最发达的国家之一,其 LUCC 具有非常典型的代表性,本文以美国本土海岸带地区作为研究区,在前人研究成果的基础上^[9-14],基于 GIS 技术分析多时空尺度下的 LUCC 特征,研究将有助于增进对美国海岸带 LUCC 特征、趋势及相关问题的了解,

*基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向项目(No. kzcx2-yw-224)、国家自然科学基金项目(No. 40801016)。

并对我国海岸带土地利用与生态保护及海岸带综合管理具有较好的指示和参考价值。

2. 研究区概况和数据源

2.1. 美国本土海岸带

美国本土位于北美洲中部,南靠墨西哥湾,东濒大西洋,西临太平洋,其领土还包括北美洲西北部的阿拉斯加和太平洋中部的夏威夷群岛等。作为一个海陆兼备的国家,美国有全长 22,680 km 的海岸线,虽然其海岸带区域只占本土面积的 17%,但超过 53% 的人口居住于此^[15],同时其海岸带地区拥有众多世界上重要的港口,是全球海洋经济最发达的国家之一。

2.2. LUCC 数据

所用数据为 NOAA Coastal Services Center 共享的全美海岸带 LUCC 数据,时间跨度为 1996~2006 年,分为 3 个时相:1996 年、2001 年和 2006 年。该中心将美国海岸带分为 6 个子区域:五大湖沿岸区(LC)、西海岸区(WC)、墨西哥湾海岸区(GC)、东北海岸区(NC)、东南海岸区(SC)和非本土海岸区(包括阿拉斯加、夏威夷和岛屿领土),本文重点分析本土海岸带区域的 LUCC 特征,数据以州为单位存贮和提供下载,分辨率为 30 m,原始信息源以 Landsat TM 影像为主,对 3 个时相的数据进行镶嵌,得到 5 个子区域的完整数据。该数据库的分类体系包含 24 种类型^[16],为突出重点,本文进行一定的归并处理,确定 11 种类型作为研究对象(表 1)。

3. 研究方法

3.1. 土地利用结构动态度

土地利用结构动态度是指某一区域在一定时段内某种土地利用类型的比重结构变化情况^[5],其表达式为:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

其中 U_b 为研究末期某一土地利用类型所占百分率, U_a 为研究初期该土地利用类型百分率, T 为研究时段,当 T 设为年时, K 值即为此种类型的年变化率。

3.2. 土地利用转移矩阵

土地利用类型转移是在一定的时期内同一位置的
土地类型转变为另一种类型, 如将林地树木砍伐种植
果树, 即使林地转化为耕地。土地利用类型的转换必
然导致土地覆被类型的变化, 二者紧密相关。转移矩
阵的数学表达式为:

$$S_{ab} = \begin{bmatrix} s_{11} & \cdots & s_{1m} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ s_{m1} & \cdots & s_{mm} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, S 为土地类型面积, a, b 分别为研究初、
末期土地利用类型, m 为总土地利用类型数量。

3.3. 土地利用多样性指数

多样性指数描述了土地类型的结构、功能随时间
变化的多样性, 反映出土地利用类型复杂性和丰富程
度^[17]。数值越大, 表明土地利用类型复杂度越高。

$$H = -\sum_{i=1}^m (P_i \log_2 P_i) \quad (3)$$

式中, H 为研究地区的土地利用多样性指数, P_i
为研究地区第 i 级土地利用类型所占百分率, m 为土
地利用类型数量。

3.4. 土地利用程度综合指数

土地利用程度反映了土地利用的广度和深度, 它
不仅反映出在土地利用过程中土地自身的自然属性,
也是对人为因素与自然环境因素综合作用机理的反
映。刘纪远等将土地利用程度按照土地自然综合体在
社会经济因素作用下的自然平衡状态分为 4 级^[18], 本
文参考其基本原理以及美国海岸带土地利用的分类系
统特征, 重新定义分级指数(表 2), 得到更适合于美国
情形的土地利用综合指数模型和土地利用程度变化模
型。

土地利用程度综合指数的计算公式如下:

$$L = 100 \times \sum_{i=1}^n A_i \times C_i, \quad L \in [100, 800] \quad (4)$$

式中, L 为所研究地区的土地利用程度综合指数,
 A_i 为研究地区第 i 级土地利用程度分级指数, C_i 为
研究地区内第 i 级土地利用程度的面积百分率, n 为土
地利用程度分级数。土地利用程度变化模型的计算公
式为:

$$\Delta L_{b-a} = L_b - L_a = 100 \times \left[\sum_{i=1}^n (A_i \times C_{ib}) - \sum_{i=1}^n (A_i \times C_{ia}) \right] \quad (5)$$

式中, ΔL_{b-a} 为土地利用程度变化量, L_b 和 L_a
分别为 b 时间内和 a 时间内的区域土地利用程度综合
指数, A_i 为第 i 级土地利用程度分级指数, C_{ib} 和 C_{ia}
分别为 b 时间内和 a 时间内第 i 级土地利用程度的面
积百分率, n 为土地利用程度分级指数。当 $\Delta L_{b-a} > 0$ 时,
该研究区土地利用处于发展时期, 否则就是处于调整
期或衰退期。

4. 研究结果与分析

4.1. 土地利用结构分析

4.1.1. 研究区不同时段面积变化

对美国海岸带各子区 LUCC 数据进行统计, 得到
1996~2001 年和 2001~2006 年的面积变化信息(图
1), 图中类型名称同表 1 编码相同。

1) 1996~2006 年间 GC 的高、中强度开发区、空
地开发区和耕地面积略有增长, 草地始终大量增长。
林地面积持续大幅减少, 广义湿地减少也较明显, 牧
草地也略有减少。剩余类型面积无明显变化。2) 10 年
间 LC 的高、中、低强度开发区、空地开发区和其他
用地面积连续少量增长, 林地和耕地面积少量减少,
其余类型呈波动式变化。3) 研究期内 NC 的高、中、
低强度开发区和其他用地面积保持连续少量增加。其
中 1996~2001 年草地面积少量增长, 在下一时间段有
了较为明显的增长。林地面积则连年小幅减少, 其他
类型面积出现波动变化。4) 1996~2006 年 SC 的高、
中、低强度开发区、空地开发区、草地和其他用地面
积始终少量增长。尤其在 1996~2001 年间耕地明显增
加后下一时期小幅下降, 波动明显。林地和广义湿地
的面积在 10 年间持续大量减少, 其余类型面积小幅
波动变化。5) 10 年间 WC 的高、中、低强度开发区、
空地开发区和其他用地面积持续少量增加。草地面积始
终明显下降。其中 1996~2001 年期间林地面积出现少
量增长后下降, 到 2006 年降至 1996 年水平以下。剩
余土地类型呈小幅波动变化。

总的来说, 全美海岸带区域林地面积最多。在人
口较密集, 活动影响更剧烈的高、中、低强度开发区
和空地开发区面积始终保持不同程度的增长。虽然在

Table 1. Coastal types of LUCC, USA
表 1. 美国海岸带 LUCC 类型

名称	编码	含义
高强度开发区	1	不透水面达到总覆盖面积的 80%~100%，如飞机场，大型仓库
中强度开发区	2	包括建筑和植被混合区，不透水面达到 50%~79%
低强度开发区	3	建筑与植被混合区，不透水面占 21%~49%
空地开发区	4	建筑混合区，最主要植被类型是草坪草，不透水面小于 20%
耕地	5	指一年生农作物生产区，以农作物为植被类型面积占总植被面积的 20% 以上，也包括正在耕作中的土地，如种植农作物、果园和葡萄园等
牧草地	6	指用于牲畜放牧的草、豆类及草豆科植物混合种植地区，及在常年循环不耕种时使农作物产生种子和干草的地区，牧草地和干草作为植被占总植被面积 20% 以上
草地	7	以草本植物为主的地区，一般占总植被面积的 80% 以上，此地区不受如耕作区一样的密集管理，只用于放牧，土地覆被类型如草原、草甸等
林地	8	指落叶林、常绿林、混交林和灌木，树木面积占总植被覆盖面积 20% 以上
广义湿地	9	所有潮汐、非潮汐湿地和深海栖息地，总植被覆盖度在 20% 以上，还包括松散岸滩
水体	10	指开阔水域，一般植被或土壤覆盖面积不超过 25%
其他用地	11	荒地、苔原冻土

Table 2. Grade index of LUCC
表 2. LUCC 分级指数

土地利用类型	其他用地	水体	广义湿地	林地	草地	牧草地	耕地	空地开发区	低强度开发区	中强度开发区	高强度开发区
分级指数	1	2	2	2	3	4	4	5	6	7	8

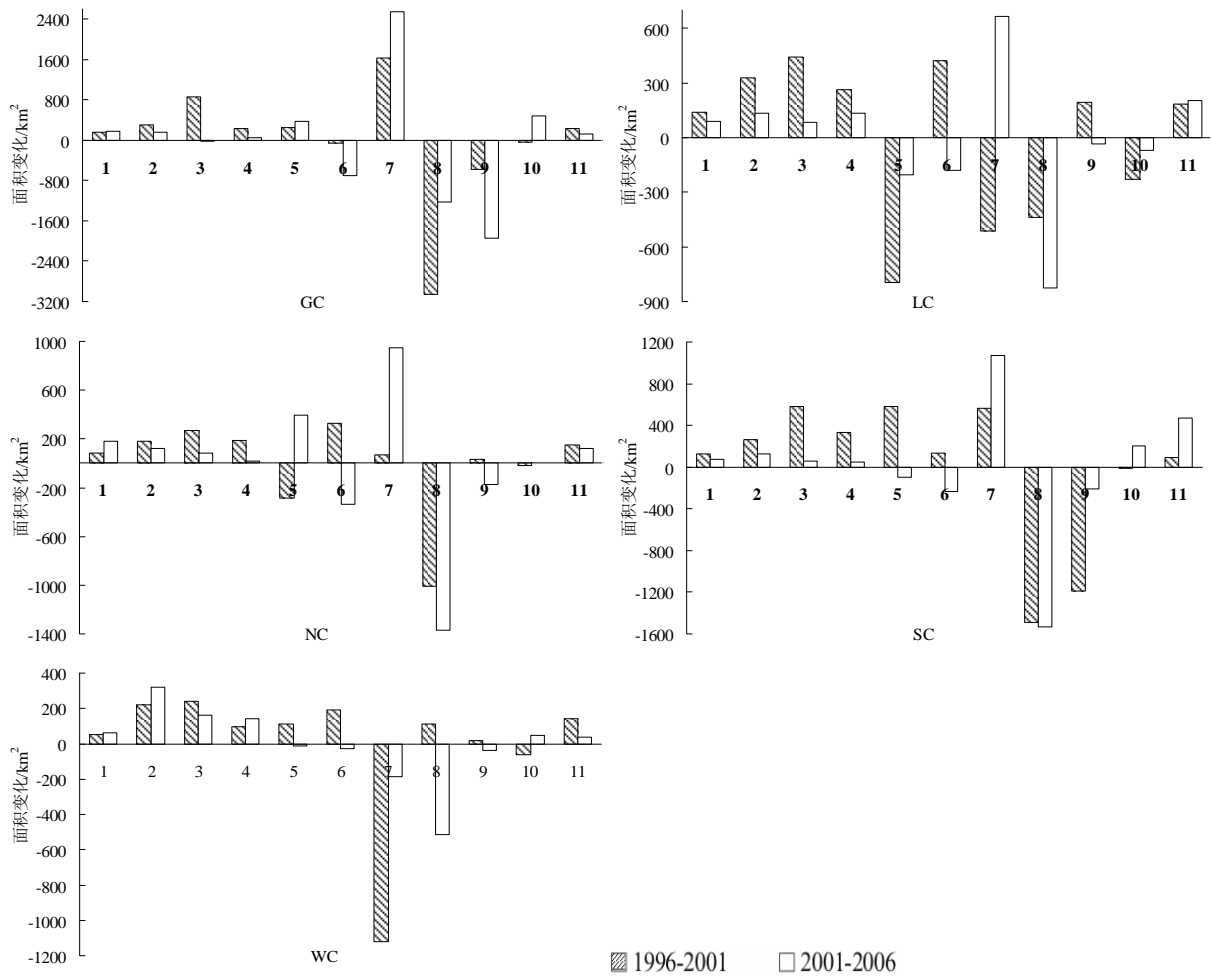


Figure 1. Area changes of land types at different times
图 1. 各种土地类型不同时段面积变化

5个子区域程度不同,但林地面积10年间减少趋势明显。在SC和GC广义湿地面积有较为明显的减小。除草地在各子区域变化情况各异,其他类型总面积10年间都无明显增减。1996~2001和2001~2006年两个时间段内各LUC面积变化量差异显著,前一时段变化量明显高于后者。

4.1.2. 土地利用结构变化

总结全美海岸带土地利用结构有如下特点:1) 研究时段内虽然LUC面积发生变化,但GC总体用地结构未发生改变,各类型比例由大到小依次为林地 > 广义湿地 > 牧草地 > 耕地 > 草地 > 水体 > 低强度开发区 > 中强度开发区 > 空地开发区 > 高强度开发区 > 其他用地。2) 1996年LC各土地类型面积由大到小依次为林地 > 耕地 > 广义湿地 > 牧草地 > 水体 > 低强度开发区 > 草地 > 中强度开发区 > 空地开发区 > 高强度开发区 > 其他用地,但到2001年和2006年随着低强度开发区面积的增长,土地利用结构略有变化,低强度开发区所占比重超过水体上升到第五位。3) 1996~2006年间NC用地结构未发生改变,各类型比重从大到小依次为林地 > 广义湿地 > 耕地 > 牧草地 > 低强度开发区 > 水体 > 空地开发区 > 中强度开发区 > 高强度开发区 > 草地 > 其他用地,虽然林地的面积逐年减少,但其比重仍很高始终保持在60%以上。4) 1996~2001年,SC各土地类型比重从大到小依次为林地 > 广义湿地 > 耕地 > 牧草地 > 草地 > 水体 > 低强度开发区 > 空地开发区 > 中强度开发区 > 高强度开发区 > 其他用地。但到2001~2006年期间其他用地面积增长较

多,所占比重超过了高强度开发区。5) WC用地结构始终一致,各类型比例从大到小依次为林地 > 草地 > 耕地 > 牧草地 > 其他用地 > 低强度开发区 > 水体 > 广义湿地 > 中强度开发区 > 空地开发区 > 高强度开发区,而且本地区的林地比重是全美海岸带地区最高达到66%以上。

总的来说,全美海岸带土地利用结构较稳定,无明显变化,同时又存在空间差异性。所有子区域中,林地所占比重都是最高,但GC、LC、NC和SC中林地、广义湿地和耕地是三种最主要的土地覆被形式,WC最重要的用地类型则为林地、草地和耕地。而且在东海岸分布面积较大的广义湿地在西海岸所占比例很小只有2%左右。美国东、西海岸带土地利用结构存在明显差异。LC和SC在1996~2001和2001~2006年两个时间段用地结构略有变化,其他地区保持一致。

4.1.3. 土地利用结构动态度变化

通过表3进一步对各子区土地利用结构进行分析。表中的正值代表面积比例上升,负值表示面积比重的下降。负值主要集中在林地、广义湿地和牧草地三种土地覆被类型,表现出它们的面积比重始终处于下降趋势。 T_1 时段土地利用结构动态度普遍高于 T_2 时段,说明1996~2001年土地类型面积比重变化程度较2001~2006年更为强烈。除WC的其他海岸带区域中,其他用地面积比重增长最剧烈,高、中强度开发区和草地比例呈快速增长趋势,其余类型都属于缓慢变化型。WC在两个研究时段内各土地利用类型结构动态度都很小,表明美国西海岸土地利用结构最为稳定。

Table 3. The sub-regional land-use structure dynamic degree (%)
表3. 各子区土地利用结构动态度(%)

土地利用类型	GC		LC		NC		SC		WC	
	T_1	T_2	T_1	T_2	T_1	T_2	T_1	T_2	T_1	T_2
1	1.95	2.00	1.12	0.68	0.58	1.15	2.23	1.15	0.54	0.58
2	1.30	0.59	1.07	0.42	0.57	0.37	1.73	0.76	0.66	0.93
3	1.61	-0.03	0.52	0.10	0.45	0.14	1.45	0.14	0.56	0.37
4	1.14	0.23	0.86	0.42	0.46	0.04	1.43	0.20	0.48	0.69
5	0.13	0.19	-0.16	-0.04	-0.24	0.33	0.27	-0.04	0.15	-0.02
6	-0.02	-0.26	0.18	-0.08	0.33	-0.33	0.17	-0.28	0.38	-0.06
7	1.19	1.76	-1.01	1.38	0.67	0.08	1.11	2.01	-0.49	-0.08
8	-0.39	-0.16	-0.04	-0.08	-0.11	-0.15	-0.31	-0.32	0.01	-0.05
9	-0.11	-0.37	0.05	-0.01	0.02	-0.12	-0.27	-0.05	0.05	-0.10
10	-0.03	0.45	-0.27	-0.08	-0.04	0.01	-0.03	0.41	-0.16	0.13
11	3.57	1.53	2.99	2.86	2.58	1.82	2.10	9.86	0.31	0.09

注: T_1 指1996~2001年; T_2 指2001~2006年; 土地利用类型编码同表1。

4.2. 土地利用转移分析

在 ArcGIS 9 平台下, 经过叠加处理后, 得到各子区 1996~2001 年和 2001~2006 年 2 个时间段的土地利用类型转换矩阵。

4.2.1. 1996~2001 年土地利用转移

1) GC 林地转化为草地 5160 km², 有 3624 km² 草地转化为林地, 二者相互转换趋势明显而且数量巨大。其次林地大量转化为牧草地、广义湿地、低强度开发区和其他用地。广义湿地与林地、草地、牧草地和水体发生明显相互转化。四种开发区中除有少量空地开发区转换为低强度开发区、中强度开发区转化为高强度开发区外, 开发区域都没有转化为其他类型, 但有不同程度的其他土地类型转换而来, 其中林地的转化数量最大, 造成四种开发区面积不断增长。综合以上因素, 这些转换直接导致林地面积锐减。2) LC 草地向耕地转化 630 km², 耕地转回 431 km², 二者转换面积最大。其次林地与草地间的转化情况突出。水体和林地都向着广义湿地转化, 使其面积增长。非开发区土地类型都有一定面积数量向四种开发区转化, 其中数量最大的为耕地向低强度开发区的转换, 但四种开发区都未发生逆向转换, 因此面积稳步增加。几种开发区内部遵循由低到高层次的规律转换, 尤其是低强度向中强度开发区转化数量最多。3) NC 土地类型转移数量最大的是林地转向草地 576 km², 草地转回 402 km²。其次耕地转向牧草地数量较大。再次是林地向其他用地的转移。四种开发区土地面积都小幅增长, 贡献率最高的是林地向它们的大量转化, 其次有部分耕地向其转化。4) SC 耕地向草地转化 3646 km², 草地基本转向耕地相同面积数量。其次广义湿地与林地间存在数量较大的相互转换。部分林地还转换成耕地和牧草地, 另有广义湿地与草地发生不同程度的相互转化, 耕地和牧草地向各强度开发区转换明显。通过各土地覆被类型的转化, 林地和广义湿地面积大量下降, 耕地面积大幅增长, 四种开发区类型小幅增加。5) WC 草地向林地转化 2985 km², 林地转回 2188 km², 同时林地与其他用地也发生了一定数量的相互转化, 林地面积在全美海岸带地区首次出现增加。其次各强度开发区面积的增加主要是草地转换而来, 部分草地又转化为耕地, 因此这个时间段内草地数量明显减少。

4.2.2. 2001~2006 年土地利用转移

1) GC 林地转向草地 4935 km², 草地转回 3356 km², 二者之间仍然维持大面积互相转换。其次林地与牧草地, 与其他用地间也保持一定数量的相互转化。广义湿地面积下降明显, 部分转化为草地、林地和水体, 却少有其他类型转换为广义湿地。大量中、低强度开发区转化为高强度开发区, 其他土地类型面积不同程度向剩余三种开发区转化。2) LC 最主要的土地类型转化是林地向草地转换 863 km²。其次牧草地与耕地相互转化数量较大。开发区域由于其他土地类型的转化面积保持增长趋势。3) NC 林地向草地转化数量继续增大达到 1125 km², 草地转回极少, 草地面积迅速增长。其次牧草地向耕地转移数量也达到 691 km², 耕地相应转回 309 km²。低级向高级强度开发区变化的趋势明显, 它们其余面积的增长主要来自于林地和耕地。4) SC 林地约有 3968 km² 转化为草地, 只有 2794 km² 草地转回, 同时林地还向其他用地和各强度开发区转换, 造成林地面积继续大幅下降, 而其他用地面积则增加。部分广义湿地转为了水体其面积逐年减少。不同程度开发区内部转化也同其他地区一致遵循由低到高层次的规律, 其中中强度向高强度开发区转化面积最多。5) WC 林地向草地转化 2360 km², 草地转回面积基本相同。林地大面积转换为其他用地, 草地部分转换为各强度开发区和其他用地, 因此到 2006 年, 林地面积又下降到 1996 年水平以下, 草地数量仍继续下降, 开发区和其他用地数量有所增长。

比较两个时期的变化表明, 全美海岸带地区的总体趋势是林地和草地的相互转化明显, 数量最多。在个别区域, 如 SC 广义湿地与林地间也存在为数不少的相互转换。高、中、低强度开发区和空地开发区未转换为其他类型, 又多由林地和草地等持续转化而来, 面积稳步增长。而且以上四种开发区常存在由低向高层次用地类型转化的趋势, 属于内部结构调整。同时各子区域在两个时间段内, 土地利用转移数量、趋势和程度具有各自特征。通过分析研究区土地利用转移矩阵, 也可以进一步阐明 1996~2006 年间海岸带地区 LUCC 面积变化过程。

4.3. 土地利用多样性分析

多样性指数大小取决于研究区内土地类型复杂度

和各类型面积的均匀度^[17]。由图 2 可知, 1996~2001 年和 2001~2006 年虽然全美海岸带区域的土地利用多样性指数变化量都很少, 但不难看出呈现增长趋势。指数越高, 各土地利用类型在空间分布越均匀, 多样性程度越高, 美国海岸带 LUCC 趋于缓慢复杂化。5 个子区域中, GC 多样性指数最高, 其次是 SC、LC 和 NC, WC 指数最低, 体现出土地利用类型丰富度的空间差异性。GC 各土地类型面积比重差异最小, 其分布具有均质性, 用地结构复杂度最高。在 WC 林地是占绝对主导地位的土地覆被类型, 其他土地类型比重远远低于林地, WC 用地结构相对单一, 因此多样性指数最小。

4.4. 土地利用程度特征

根据土地利用程度综合指数模型, 各子研究区计算结果如图 3 所示。本文中土地利用程度综合指数分布在 100 到 800 的区间内, 数值越高土地利用程度越强烈, 人类活动影响越大。美国海岸带地区土地利用程度综合指数持续升高, 到 2006 年平均值超过 270, 整个海岸带土地利用程度较高, 体现出强烈的人为活动改造力度。由于林地和草地等不断转化为开发区, 造成土地分级指数小的用地类型面积减少, 分级指数大的用地类型面积增加, 这是导致土地利用程度指数不断提高的直接原因。

同时全美海岸带土地利用程度具有一定的地域差异性, 从综合指数来看 LC 最高超过 285, 其次是 SC, GC 与 NC 比较接近, 而 WC 远低于其他地区。LC 由于便利的交通和丰富的资源促使其周围发展起庞大的

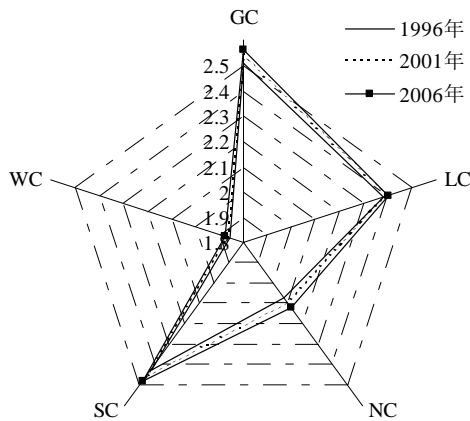


Figure 2. Diversity index of land use
图 2. 土地利用多样性指数

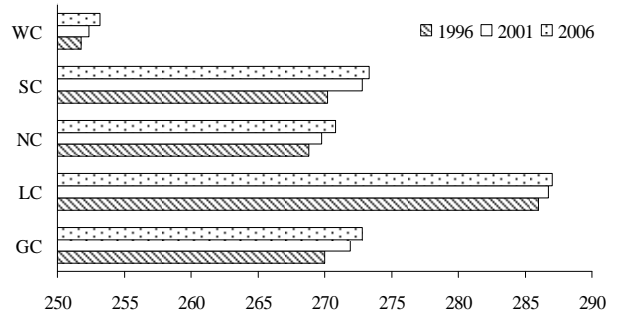


Figure 3. The composite index of land use
图 3. 全美海岸带土地利用程度综合指数

工业带和巨大的都市带, 而且人口在继续增长中, 这些因素都直接导致本地区的土地利用程度日益加深。SC 是美国开发历史比较悠久, 人口稠密的海岸地区, 土地利用水平很高。WC 具有全美海岸带最高的林地比重, 其余土地类型所占比重都较小, 人为活动影响稍弱, 因此土地利用程度最低。

土地利用程度变化是各种土地类型相互转换的结果, 使用土地利用程度变化指数可以定量表述研究区土地利用的综合水平和发展趋势。图 4 中 5 个子区域 2 个时间段的所有变化指数都为正值, 表明 1996~2006 年期间全美海岸带地区始终处于发展状态, 但不同区域又有各自的特点。SC 在 1996~2001 年间土地利用程度变化量达到 2.58, 居美国海岸带地区之首, 土地利用开发活跃处于高度发展期; 2001~2006 年变化量下降明显幅度最大, 说明本区发展速度变慢。2001 年前 GC 变化指数约 1.95 左右, 2001~2006 年间迅速下降到 0.85, 表明本区的发展速度放缓。LC 虽然土地利用程度最高, 但其程度变化量是全美海岸带最低并且还在不断降低, 表明本地区土地利用活跃程度变化很小处于缓慢发展期。WC 虽然土地利用程度变化量不大,

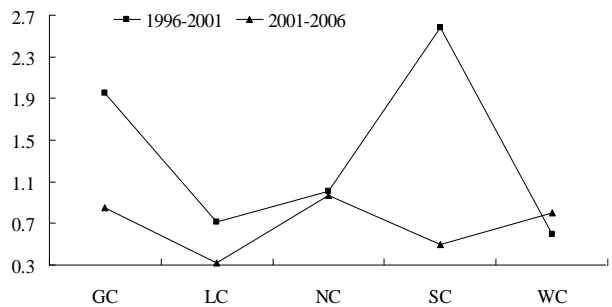


Figure 4. The index of land use change
图 4. 全美海岸带土地利用程度变化指数

但2001年后有所上升,说明本地区处于加快的慢速发展期。同时WC是全美海岸带土地利用程度变化指数唯一升高的地区,在其他地区发展变缓的背景下,本地区土地利用开发活动有逐渐活跃的趋势。

5. 结语

1) 美国本土海岸带地区林地面积持续减少趋势明显,而高、中、低强度开发区和空地开发区面积始终保持不同程度的增长。在SC和GC广义湿地面积有较为明显的减小。其他土地类型面积10年间都呈波动式变化,总量无明显增减。1996~2001和2001~2006年两个时间段内LUC面积变化量有显著差异,前一时段变化量明显高于后者、变化更为剧烈。

2) 美国海岸带土地利用结构总体较稳定。除了在WC最主要的三种类型为林地、草地和耕地外,其他子区域则主要为林地、广义湿地和耕地。广义湿地在东海岸分布面积较大,但在西海岸所占比例很小,美国东、西海岸带土地利用结构差异明显。LC和SC在不同时段内用地结构略有变化,其他子区域则基本保持一致。自1996~2001年至2001~2006年,海岸带土地变化的幅度明显趋于减缓。林地、广义湿地和牧草地面积比重始终处于下降趋势,同时高、中强度开发区和草地比例则出现快速增长。WC在每个研究时段的结构动态度都很小,表明美国西海岸土地利用结构最为稳定。

3) 美国海岸带地区土地利用转移的主要趋势是林地和草地相互转化。在个别区域,如SC,广义湿地与林地间也出现了数量较大的相互转换。高、中、低强度开发区和空地开发区主要由林地和草地转换而来,同时开发区内部存在由低向高程度转化的规律。同时全美海岸带区域土地利用多样性在缓慢提高,其中GC土地利用复杂度最高,WC最低。

4) 美国海岸带地区土地利用程度综合指数表明土地利用程度整体较高,但也具有一定的地域差异性。LC由于剧烈的人类活动改造力度,土地利用程度最高,其次是SC,再次是NC与GC程度相似,WC最低。1996~2006年间美国海岸带地区土地利用程度始终处于发展状态,但不同区域在不同时间段的发展速率和发展趋势又各不相同。只有WC缓慢推进的土地利用开发活动有逐渐活跃的趋势,其他地区发展速度

都在放缓。

5) 就美国本土海岸带整体而言,湿地、林地、草地、水体等生态型土地利用/覆被类型广泛分布,而且自2001年之后各种变化的幅度总体趋缓,这在一定程度上指示了美国为应对全球气候变化背景下海岸带区域的一系列环境与生态问题而采取的政策与措施^[19,20]起到了较为显著的成效。我国海岸带区域人口密集,而且近年来众多的沿海发展战略相继得以实施,海岸带区域的环境和生态面临严峻的挑战。研究美国海岸带土地利用/覆被的时空动态,了解其发展的过程和特征以及相关的开发与管理的经验与措施等,可有助于我国各级政府部门加以借鉴,从而有力地指导我国海岸带区域的土地利用以及海岸带综合管理实践等。

6. 致谢

本研究得到了中国科学院知识创新工程重要方向项目(No. kzcx2-yw-224)、国家自然科学基金项目(No. 40801016)的资助;同时,感谢香港王宽诚教育基金会资助本文作者之一到美国Duke University进行学术访问和交流,从而促成了本文研究。

参考文献 (References)

- [1] J. G. Field, G. Hempel, and C. P. Summerhayes. *Ocean 2020: Science, Trends and the Challenge of Sustainability*. Washington DC: Island Press, 2002.
- [2] D. Mao, K. A. Cherkauer. Impacts of land-use change on hydrologic responses in the Great Lakes region. *Journal of Hydrology*, 2009, 374(1-2): 71-82.
- [3] 邢伟, 王进欣, 王今殊等. 盐城海岸带湿地土地覆盖变化及其生态效应研究[J]. *海洋湖沼通报*, 2011, 1: 122-130.
- [4] R. Sardá, C. Avila, and J. Mora. A methodological approach to be used in integrated coastal zone management processes: The case of the Catalan Coast (Catalonia, Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2005, 62(3): 427-439.
- [5] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. *地理科学进展*, 1999, 18(1): 81-87.
- [6] IGBP & HDP. *Land use and land cover change: Science/research plan*. International Geosphere-Biosphere Programme and International Human Dimensions Programme, 1995.
- [7] 马万栋, 张渊智, 施平等. 海岸带土地利用/土地覆被变化研究进展[J]. *地理科学进展*, 2008, 27(5): 87-94.
- [8] 伊飞, 张训华, 胡克. 海岸带陆海相互作用研究综述[J]. *海洋地质前沿*, 2011, 27(3): 28-34.
- [9] K. Jones, X. Pan, A. Garza, et al. Multi-level assessment of ecological coastal restoration in South Texas. *Ecological Engineering*, 2010, 36(4): 435-440.
- [10] J. Spurgeon. The socio-economic costs and benefits of coastal habitat rehabilitation and creation. *Marine Pollution Bulletin*, 1999, 37(8-12): 373-382.
- [11] G. Xian, C. Homer, and J. Fry. Updating the 2001 National Land Cover Database land cover classification to 2006 by using Landsat imagery change detection methods. *Remote Sensing of*

- Environment, 2009, 113(6): 1133-1147.
- [12] C. Homer, J. Dewitz, J. Fry, et al. Completion of the 2001 national land cover database for the conterminous United States. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2007, 73(4): 337-341.
- [13] J. D. Wickham, S. V. Stehman, J. H. Smith, et al. Thematic accuracy of the 1992 National Land-Cover Data for the western United States. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 91(3-4): 452-468.
- [14] J. Smith, S. Stehman, J. Wickham, et al. Effects of landscape characteristics on land-cover class accuracy. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 84(3): 342-349.
- [15] United States Environmental Protection Agency (USEPA). *The National Coastal Condition Report II*. Washington DC: United States Environmental Protection Agency, 2005: 1-198.
- [16] Coastal Services Center, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Coastal NLCD Classification Scheme [URL]. http://www.csc.noaa.gov/crs/lca/tech_cls.html.
- [17] 龚建周, 夏北成. 1990 年以来广州市土地覆被景观的时空梯度分异[J]. *地理学报*, 2007, 62(2): 181-190.
- [18] 刘纪远, 张增祥, 庄大方等. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化的遥感时空信息研究[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [19] C. Neill. The challenge of managing disturbance regimes, terrestrial communities and rare species in a suburbanizing region: The northeastern US coastal sandplain. *Biological Conservation*, 2007, 136(1): 1-3.
- [20] C. L. Shafer. National park and reserve planning to protect biological diversity: Some basic elements. *Landscape and Urban Planning*, 1999, 44(2-3): 123-153.