

基于灰色模型的贵阳市土地利用/覆被变化的驱动力分析

苏维词^{1,2}, 易武英¹

(1. 贵州科学院 山地资源研究所, 贵州 贵阳 550001; 2. 重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 400047)

摘要: 以 1993, 2000, 2010 年 3 期 TM 遥感影像为基本数据源, 采用 RS 与 GIS 技术、结合统计分析的方法, 提取和分析了贵阳市土地利用/覆被变化信息, 并选取 13 个主要土地利用/覆被变化驱动因子, 运用灰色模型定量地分析不同地类与各驱动因子之间的关联性。结果显示: (1) 研究期间, 贵阳市水田、旱地、灌木林、未利用地面积分别减少了 135.2, 55.4, 80.8 和 98.6 km²; 而水域、有林地、建设用地面积分别增加了 49.1, 128.3 和 183.4 km², 其中建设用地面积增加最大, 水田面积减少最大; (2) 研究时段土地利用综合程度指数呈增大的变化趋势, 1993, 2000 和 2010 年土地利用综合程度指数分别为 301.2, 307.7 和 319.0; (3) 贵阳市土地利用结构信息熵由 1993 年的 0.76 上升到 2001 年的 0.78, 随后下降到 2010 年的 0.77, 表明贵阳市土地利用结构系统的有序性、稳定性呈先增加再减弱的变化趋势; (4) 贵阳市土地利用/覆被变化主导驱动力是人口增长、经济发展及人均资源因素。

关键词: 土地利用/覆被变化; 灰色关联模型; 贵阳市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)06-0256-04

中图分类号: F301.24

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2014.06.052

Analysis on Driving Factors of Land Use/Cover Change in Guiyang City Based on Grey Correlation Model

SU Wei-ci^{1,2}, YI Wu-yi¹

(1. Institute of Mountain Resources, Guizhou Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550001, China;

2. College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China)

Abstract: Based on the integrated technology of RS and GIS, combining the means of statistics and analysis, taking three TM remote sensing images in three periods (1993, 2000 and 2010 year) as the main data source, we analyzed LUCC, and selected thirty chief driving factors of land use and cover change. Then quantitatively analyzed the correlation between different land types and different driving factors by grey correlation model in Guiyang City. The results showed as follows: (1) The area of paddy, dry land, brush and unused land reduced by 135.2, 55.4, 80.8, 98.6 km² respectively; but the area of water area, woodland and construction land increased by 49.1, 128.3, 183.4 km² respectively; (2) The comprehensive land use index was increased 301.2, 307.7, 319.0 in 1993, 2000 and 2010 respectively. (3) The orderliness and stability of land use structure system showed a trend of increase first then decrease, and the information entropy of land use structure raised from 0.76 in 1993 to 0.78 in 2001, then fell to 0.77 in 2010 in Guiyang City. (4) The main driving forces of LUCC in Guiyang City was population growth, economic development and per capita resource status.

Keywords: land use/land cover change; grey correlation model; Guiyang City

贵阳市地处喀斯特发育典型区, 生态环境脆弱, 地貌类型复杂多样。随着城镇化和工业化战略的推进, 该地区土地利用/覆被变化 (LUCC) 深刻, 产生了一系列生态环境负面效应, 如环城林带景观破碎化加剧, 流经市区南明河水质恶化, 环境容量下降等。因

此, 研究贵阳市 LUCC 特征, 揭示其 LUCC 的主导驱动因子, 对于调控和优化贵阳市土地利用结构, 推进贵阳市生态文明建设具有现实意义。目前, 国内外对 LUCC 驱动力研究在于揭示土地利用变化的原因, 内部机制和基本过程, 以便制定相应的调控对策, 实现

收稿日期: 2013-10-08

修回日期: 2013-12-13

资助项目: 国家自然科学基金项目“贵州喀斯特区城市边缘带土地利用/覆盖变化及其环境效应研究”(41261038); 贵州省重大科技专项[黔科合重大专项字(2012)6015]; 贵州科学院青年基金项目[黔科院 J 合字(2014)08 号]

作者简介: 苏维词(1965—), 男(苗族), 湖南省绥宁县人, 硕士, 研究员, 主要从事生态环境与可持续发展研究。E-mail: suweici@sina.com。

土地优化配置^[1-3]。人为因素是导致土地利用/覆被变化的最主要因素^[4-5],随着人口增长,经济发展,工业化,城市化的推进,对土地系统施加压力与日俱增,人地矛盾不断加剧。目前国内众多学者围绕土地利用/覆被变化展开了研究,如土地利用/覆被时空变化研究^[6-8],土地利用/覆被变化驱动机制研究^[9],土地利用/覆被变化模型研究^[10-12]等,并取得了丰硕的研究成果,但目前仍缺乏针对喀斯特这种特殊地貌区城市化过程中 LUCC 规律的研究,特别是对喀斯特地区 LUCC 驱动力的量化研究目前尚属空白。本研究基于 RS 和 GIS 技术手段,以贵阳市 1993, 2000 和 2010 年 3 期 TM 遥感影像为基础数据,结合社会经济统计数据,在分析 LUCC 时空特征的基础上,运用灰色关联模型定量分析贵阳市 LUCC 驱动力,以期对贵阳市土地利用优化配置提供决策参考。

1 研究区概况

研究区包括花溪区、乌当区、白云区、南明区、云岩区、小河区、金阳区 7 个区,位于贵州省中部,喀斯特发育典型,碳酸盐岩出露面积占 84%,以中低山地、丘陵盆地为主,土地总面积 2 043 km²,其中山地面积 4 217.97 km²,丘陵面积 2 842.37 km²,分别为土地总面积的 52.3%和 35.2%。属中亚热带季风湿润气候,冬无严寒,夏无酷暑,年均降水量 1 129 mm,无霜期长。适合建设用的平川坝地少,土地垦殖率高,水土流失、石漠化问题较严重。2011 年总人口约 310 万,地区生产总值约 815 亿元,人均 GDP 为 9 928 元,三大产业所占比重为 5.1 : 40.7 : 54.2。

2 数据来源及处理

遥感影像数据来源于中国科学数据应用中心,首先将影像在 Erdas 9.2 中进行条带修复、几何校正、辐射校正、多波段融合、影像裁剪等处理,再在 Arcview 3.3 中采用分层类法进行解译工作,分层分类解译法能有效提高解译精确度,经检验解译精度在 80%以上。根据遥感影像特征及研究区区域特征,将贵阳市土地利用/覆被划分为水田、旱地、有林地、灌木林、建设用地、水域、未利用地 7 种类型,贵阳市 1993, 2000 及 2010 年土地利用/覆被情况如附图 3 所示。

3 研究方法

3.1 土地利用变化模型

3.1.1 土地利用动态度 土地利用动态度是表征土地利用变化速度的指标^[13],目前主要有单一土地利

用动态度和综合土地利用动态度,本文分析贵阳市单一土地利用动态情况,其计算公式为:

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

式中: U_a, U_b ——研究初期和研究末期某一土地利用类型的面积; T ——研究时段。

3.1.2 土地利用程度综合指数 土地利用程度综合指数是衡量某一地区土地利用程度^[14]强弱的重要指标之一,其值越大,表明土地利用程度越高,反之,则土地利用程度越低,其计算公式如下所示:

$$L_a = \sum_{i=1}^n A_i \times C_i \times 100\% \quad (2)$$

式中: L_a ——研究区土地利用程度综合指数; A_i ——土地利用类型 i 的土地利用程度分级指数(不同土地利用类型的土地利用程度分级情况详见表 1); C_i ——土地利用类型 i 的面积百分比。

表 1 不同土地利用类型的分级赋值情况

一级分类	二级分类	分级指数
建设用地	城镇、交通用地、工矿用地	5
耕地	水田、旱地	4
林地	有林地、疏林地、灌木林	3
水域	河流、湖泊、坑塘	2
未利用地	荒山荒坡	1

3.1.3 土地利用结构信息熵 利用信息熵原理定量刻画贵阳市 LUCC 结构的时序变化程度,土地利用结构信息熵计算公式^[11]为:

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

式中: P_i ——土地利用类型 i 面积占研究区土地总面积的比例; n ——研究土地利用类型数; H ——土地利用结构信息熵。由公式(3)可知,当各种土地利用类型面积相等时,熵值最大($H = \ln N$, N 为土地利用类型总数),因此,土地利用类型越多,且面积相差越小,则熵值越大,土地利用结构越均衡。

3.2 因子分析法^[9]

因子分析法是通过降维手段将多个相关指标简化成少数几个综合指标,目前在地理学得到广泛应用。假设有 p 个指标,用向量表示为 $X = (X_1, X_2, \dots, X_p)$,其中 $X_i = (X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{ni})'$, X_m 代表第 n 个样本在第 i 个($i = 1, 2, \dots, p$)指标上的观测值,那个,第 i 个因子就可以表示为:

$$P_i = a_{1i}X_1 + a_{2i}X_2 + \dots + a_{pi}X_p \quad (4)$$

满足:

- ① $a_{1i2} + a_{2i2} + a_{pi2} = 1$
- ② P_i 与 $P_j (i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, p)$ 不相关
- ③ $\text{var}(P_i) > \text{var}(P_{i+1}) \forall i = 1, 2, \dots, p-1$

第 i 个主成分 P_i 表示 X_1, X_2, \dots, X_p 的一切线性组合中方差第 i 大的, 而对应的系数向量 $(a_1, a_2, \dots, a_{pi})$ 则恰好是 X 的协方差矩阵的第 i 个最大的特征值所对应的特征向量。

3.3 灰色关联模型^[15]

(1) 确定数列的最优向量, 传统灰色关联法最优向量的确定一般是将指标数据原始数据进行标准化处理且都转化为正向指标后, 选择各指标最大值为其最优向量, 公式为:

$$G = (g_1, g_2, \dots, g_n) = (y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1m}, y_{21}, y_{22}, \dots, y_{2m}, y_{n1}, y_{n2}, \dots, y_{nm}) \quad (5)$$

式中: v ——取最大运算符。

(2) 利用灰色关联系数公式计算第 j 个评价指标 Y_j 与最优向量 G 的关联系数 $\xi_i(Y_j, G)$:

$$\xi_i(Y_j, G) = \frac{\min_j |y_{ij} - g_i| + \rho \max_j |y_{ij} - g_i|}{|y_{ij} - g_i| + \rho \max_j |y_{ij} - g_i|} \quad (6)$$

其中, $\min_j |y_{ij} - g_i|$ 和 $\max_j |y_{ij} - g_i|$ ——两级极小差和两级极大差, ρ ——分辨系数, $0 < \rho < 1$, 一般取 $\rho = 0.5$ 。

(3) 计算第 i 个评价对象 y_i 与最优向量 G 的关联度 R :

$$R = \sum_{i=1}^n W_i \times \xi_i(y_i, G) \quad (7)$$

4 结果分析

4.1 贵阳市 LUCC 时空分析

4.1.1 土地利用动态度分析 由公式(1)得出各研究时段不同土地利用类型的土地利用动态度, 当土地利用动态度为正值, 表明研究时段面积增加, 反之, 表明研究时段面积减少。由表 2 可知, 1993—2010 年贵阳市建设用地动态度最大, 其次是水域, 再次是水田, 旱地动态度最小。近 20 a 间水田、旱地、灌木林地、未利用地动态度都为负值, 面积呈减少变化趋势, 分别减少了 135.2, 55.4, 80.8 和 98.6 km², 其中水田面积减少最大, 其次是未利用地; 而水域、有林地、建设用地面积呈增加变化趋势, 分别增加了 49.1, 128.3 和 183.4 km², 其中建设用增加幅度最大, 由于工业化、城市化建设, 建设用的快速扩建, 占用大量良田, 导致耕地面积减少, 建设用地面积增加。

表 2 贵阳市 1993—2010 年土地利用/覆被变化情况

土地利用类型	1993 年		2000 年		2010 年		动态度/%		
	面积/km ²	比重/%	面积/km ²	比重/%	面积/km ²	比重/%	1993—2000 年	2000—2010 年	1993—2010 年
水田	237.7	11.6	189.4	9.3	102.5	5.0	-2.9	-4.6	-3.3
旱地	299.1	14.6	338.3	16.6	243.7	11.9	1.9	-2.8	-1.1
水域	90.1	4.4	127.4	6.2	149.2	7.3	5.9	1.7	3.9
有林地	562.5	27.5	591.7	29.0	690.8	33.8	0.7	1.7	1.3
灌木林地	490.1	24.0	439.3	21.5	409.3	20.0	-1.5	-0.7	-1.0
建用地	75.8	3.7	118.0	5.8	259.2	12.7	8.0	12.0	14.2
未利用地	286.9	14.0	239.1	11.7	188.3	9.2	-2.4	-2.1	-2.0

4.1.2 土地利用综合程度分析 根据公式(2)计算可得, 贵阳市 1993 年土地利用综合程度指数为 301.2, 2000 年 307.7, 2010 年 319.0, 研究时段土地利用综合程度指数呈增大的变化趋势, 2000—2010 年比 1993—2000 年增长幅度大, 表明随着经济的发展, 技术的进步, 加大了土地利用程度。在地势低平, 坡度较小地区, LUCC 较为剧烈, 土地利用程度较强。

4.1.3 土地利用结构的熵值分析 由公式(3)可得, 研究时段贵阳市土地利用结构信息熵变化幅度较小, 土地利用结构信息熵是土地利用结构变化的表征, 表明该时段贵阳市土地利用结构在此期间变化并不显著, 从 1993—2010 年的分析得出, 贵阳市土地利用结构信息熵先增大后减小, 由 1993 年 0.76 上升到 2001

年的 0.78, 再下降到 2010 年 0.77, 表明贵阳市土地利用结构系统的有序性、稳定性呈先增加再减弱的变化趋势。

4.2 贵阳市土地利用/覆被变化驱动力分析

选取人口自然增长率(X_1)、人口密度(X_2)人均粮食产量(X_3)、人均耕地面积(X_4)、城镇化水平(X_5)、农业收入比重(X_6)、人均 GDP(X_7)、第三产业比重(X_8)、GDP(X_9)、第一产业产值(X_{10})、第二产业产值(X_{11})及第三产业产值(X_{12})共 12 个指标, 借助 SPSS 软件, 进行因子分析, 得 3 个主成分因子。由表 3 可知, X_5, X_9 在第一主成分上有较高载荷, 主要反映了经济发展状况; X_3, X_4 在第二主成分上有较高载荷, 主要反映人均资源状况; X_1, X_2 在第三主成分上有较高载荷, 主要反映人口状况。

4.3 贵阳市不同尺度 LUCC 驱动力分析

LUCC 在不同尺度上,主导驱动因素、演变机理与过程存在差异,本研究受资料收集受限,主要从农户、区域 2 种不同的尺度水平上分析贵阳市 LUCC 的时空过程和驱动因子,探讨贵阳市 LUCC 驱动因素的空间尺度效应。

表 3 旋转后的因子载荷矩阵

变量	主成分		
	1	2	3
X_1	-0.223	-0.084	0.902
X_2	0.130	0.725	0.819
X_3	0.093	0.861	0.939
X_4	0.005	0.819	-0.86
X_5	0.851	0.784	-0.347
X_6	-0.311	0.503	-0.234
X_7	0.211	0.474	0.01
X_8	0.979	-0.032	0.09
X_9	0.582	-0.152	0.734
X_{10}	0.212	-0.174	-0.94
X_{11}	0.055	-0.129	0.274
X_{12}	0.106	-0.277	0.151

4.3.1 区域尺度分析 在对贵阳市 LUCC 驱动因素因子分析的基础上,结合研究区区域特征、资料收集情况,从区域尺度,运用灰色关联模型分析贵阳市不同土地利用类型面积变化(重点分析耕地和建设用地)与主导驱动因子的关联性,及贵阳市 LUCC 驱动机理及过程。经计算得,贵阳市不同地类与各驱动因子关联系数差异显著(表 4),关联系数与关联性呈正相关关系,关联系数越大,则关联性越强,反之,则关联性越弱。分析得:(1)耕地变化的驱动因素分析。1993—2010 年,贵阳市耕地面积呈减少的变化趋势,减少的耕地主要转变成建设用地、有林地。随着房地产业发展,城镇化加速推进,建设用地扩张,占用大量

良田,导致耕地剧烈变化。贵阳市城镇化从 2002 年 24%增长到 2010 年的 30%,净增长了 6%。(2)建设用地变化的驱动因素分析。由表 3 可知,城市化率是影响贵阳市建设用地面积变化的最主要驱动力因子是城镇化水平和经济的发展,其关联系数分别为 0.927 和 0.932。随着城市化、工业化进程的推进,建设用地快速扩展,耕地、未利用地等地类大量向建设用地转变。第三产业尤其是房地产产业的发展,导致大城市及小城镇建设用地扩展。(3)其他土地利用类型驱动力分析。在退耕还林政策、森林文明城市建设的推动下,贵阳市有林地面积呈增加的变化趋势。研究区林地面积从 1993 年 562.5 km² 增加到 2010 年的 690.8 km²。贵阳市属于典型喀斯特城市,耕地分布破碎,质量低,人地矛盾突出,2002 年人均耕地面积为 0.0193 hm²,人均粮食拥有量为 511 kg,远低于全国标准水平,随着人口的增长、经济的发展,区域土地系统面临巨大的人口压力及粮食需求压力,导致未利用地大量向耕地、建设用地转变。

4.3.2 农户水平 农户是土地利用的直接参与者,农户的资金储备,个人喜好,自身素质成为 LUCC 重要驱动力。研究时段贵阳市 LUCC 发生了较大变化,主要表现为坡耕地向有林地转变,建设用地大规模扩张,耕地撂荒现象严重。随着改革开放的到来,农民有较多机会向非农产业转移,劳动力大量流失,农村空心化严重,耕地撂荒问题突出,土地资源严重浪费,农村主体弱化。城郊农户由于距离城市近,非农就业成本相对较低,农户为了追求最大经济效益,调整农业结构,以种植经济作物(如蔬菜、水果、花卉等)为主,发展养殖业,导致水田面积减少,旱地、园地所占比重较大;距城市偏远的山区,非农就业成本相对较高,与城郊土地利用结构不同,以种植粮食作物为主,旱地所占比重较大。

表 4 贵阳市主要土地利用类型与主导驱动因子关联度

土地利用类型	水田	旱地	水域	有林地	灌木林	建设用地	未利用地
人口密度	0.722	0.898	0.952	0.975	0.839	0.76	0.801
人口自然增长率	0.777	0.775	0.679	0.714	0.824	0.603	0.843
城镇化水平	0.695	0.83	0.939	0.886	0.786	0.927	0.757
GDP	0.888	0.885	0.642	0.790	0.830	0.932	0.735

5 结论

随着工业化、城镇化加速推进,贵阳市土地利用结构发生了一系列变化,研究期间贵阳市坡耕地主要向林地转变,有林地面积增加,建设用地扩张,耕地面积减少,人地矛盾加剧。

[参 考 文 献]

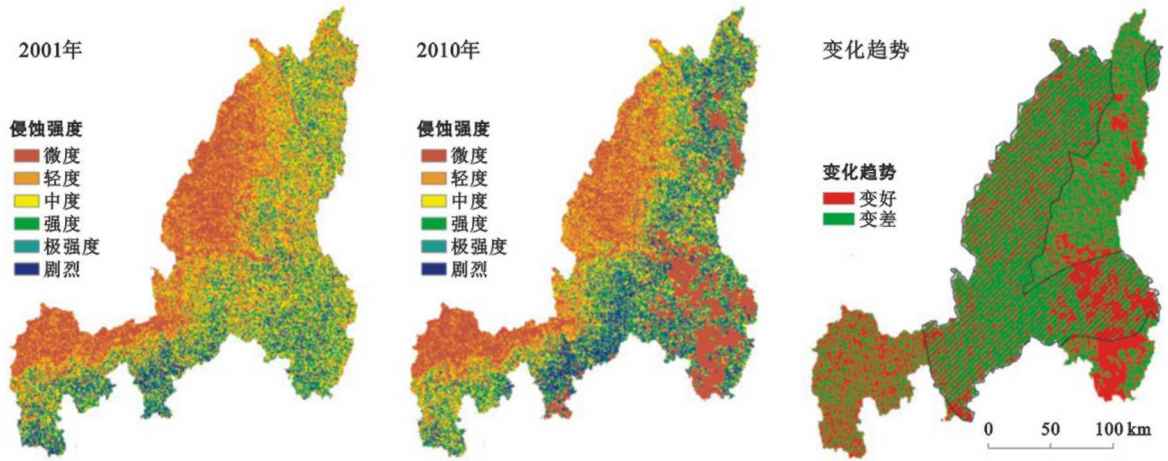
- [1] 宋乃平,张凤荣,王磊,等.我国土地利用/覆被研究的热点与应用发展问题[J].地球信息科学,2008,10(1):60-66.

(下转第 266 页)

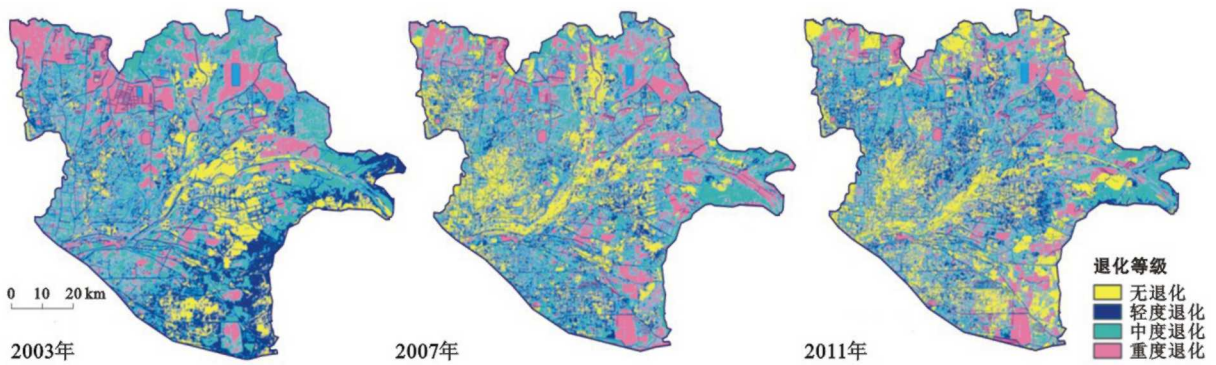
- [16] 王义祥,翁伯琦. 福建省土壤有机碳密度和储量的估算[J]. 福建农业学报, 2005, 20(1): 42-45.
- [17] 许信旺,潘根兴,曹志红,等. 安徽省土壤有机碳空间差异及影响因素[J]. 地理研究, 2007, 26(6): 1077-1086.
- [18] 田玉强,欧阳华,徐兴良,等. 青藏高原土壤有机碳储量与密度分布[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 933-942.
- [19] 于建军,杨锋,吴克宁,等. 河南省土壤有机碳储量及空间分布[J]. 应用生态学报, 2008, 19(5): 1058-1063.
- [20] 陈芳,盖艾鸿,李纯斌. 甘肃省土壤有机碳储量及空间分布[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(11): 176-181.
- [21] 陈仕栋,方晰. 湖南省土壤有机碳库及其空间分布格局[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 31(5): 146-151.
- [22] 傅野思,夏学齐,杨忠芳,等. 内蒙古自治区土壤有机碳库储量及分布特征[J]. 现代地质, 2012, 26(5): 886-895.
- [23] 刘宪锋,任志远,林志慧. 基于 GIS 的陕西省土壤有机碳估算及其空间差异分析[J]. 资源科学, 2012, 34(5): 911-918.
- [24] 孙维侠,史学正,于东升,等. 我国东北地区土壤有机碳密度和储量的估算研究[J]. 土壤学报, 2004, 41(2): 298-300.
- [25] 张勇,史学正,赵永存,等. 滇黔桂地区土壤有机碳储量与影响因素研究[J]. 环境科学, 2008, 29(8): 2314-2319.
- [26] Ni Jian. Carbon storage in terrestrial ecosystems of China: Estimates at different spatial resolutions and their responses to climate change[J]. Climatic Change, 2001, 49(3): 339-358.
- [27] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [28] 李忠,孙波,赵其国. 我国东部土壤有机碳的密度和储量[J]. 农业环境保护, 2001, 20(6): 385-389.
- [29] Pan Genxing, Li Lianqing, Wu Laosheng, et al. Storage and sequestration potential of topsoil organic carbon in China's paddy soils [J]. Global Change Biology, 2004, 10(1): 79-92.
- [30] Song Guohan, Li Lianqing, Pan Genxing, et al. Topsoil organic carbon storage of China and its loss by cultivation [J]. Biogeochemistry, 2005, 74(1): 47-62.
- [31] 傅野思,夏学齐,杨忠芳,等. 内蒙古自治区土壤有机碳储量及分布特征[J]. 现代地质, 2012, 26(5): 886-895.
- [32] Dai Wanhong, Huang Yao. Relation of soil organic matter concentration to climate and altitude in zonal soils of China [J]. Catena, 2006, 65(1): 87-94.
- [33] 陈朝,吕昌河,范兰,等. 土地利用变化对土壤有机碳的影响研究进展[J]. 生态学报, 2011, 31(18): 5358-5371.

(上接第 259 页)

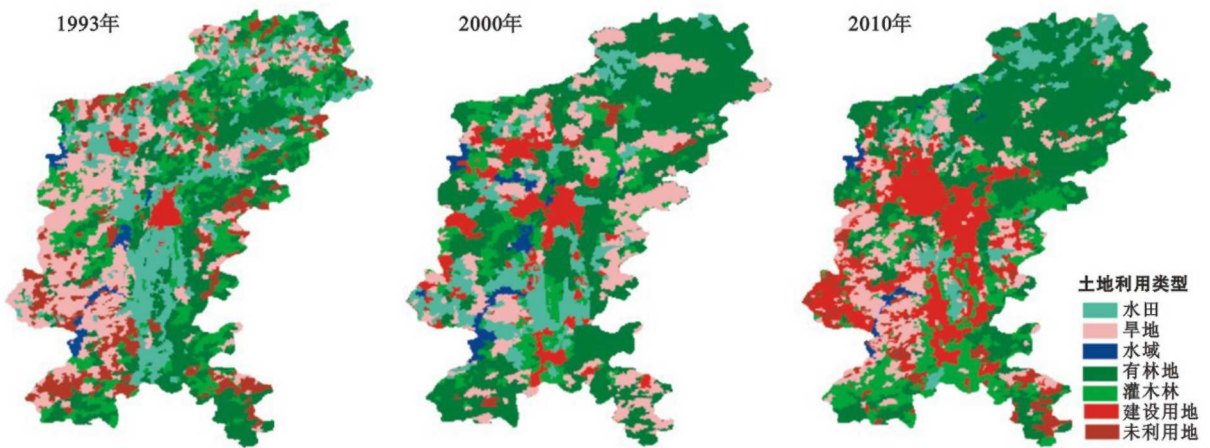
- [2] 何英彬,姚艳敏,唐华俊,等. 土地利用/覆盖变化驱动力机制研究新进展[J]. 中国农学通报, 2013, 29(2): 190-195.
- [3] 贾宝全,王成,邱尔发. 南京市景观时空动态变化及其驱动力[J]. 生态学报, 2013, 33(18): 5848-5857.
- [4] 潘佩佩,杨桂山,苏伟忠. 土地利用变化对土地生产力的影响研究进展[J]. 地理科学进展, 2012, 31(5): 539-550.
- [5] 陈红,吴世新,冯雪力. 基于遥感和 GIS 的新疆耕地变化及驱动力分析[J]. 自然资源学报, 2010, 25(4): 614-624.
- [6] 孙倩,张飞,丁建丽,等. 渭干河—库车河三角洲绿洲土地利用/覆被时空变化遥感研究[J]. 生态学报, 2012, 32(10): 3252-3265.
- [7] 邵怀勇,仙巍,周万村,等. 三峡工程实施十年间库区土地利用/覆被时空变化研究: 以开县为例[J]. 水土保持研究, 2007, 14(3): 241-248.
- [8] 卓静,郭伟,邓凤东,等. 基于 GIS/RS 的榆林市土地利用时空格局动态分析[J]. 水土保持通报, 2013(1): 50-54.
- [9] 董隽,臧淑英. 大庆市城市土地利用变化的驱动机制[J]. 地理研究, 2011, 30(6): 1121-1128.
- [9] 谭雪兰,段建南,朱红梅,等. 长沙市耕地变化的时空特征及其驱动力分析[J]. 中国农学通报, 2012, 28(2): 240-244.
- [10] 冉圣宏,张凯,吕昌河. 延河流域土地利用/覆被变化模型的尺度转换方法[J]. 地理科学进展, 2010, 29(11): 1414-1419.
- [11] 朱利凯,蒙吉军. 国际 LUCC 模型研究进展及趋势[J]. 地理科学进展, 2009, 28(5): 782-790.
- [12] 张永民. 土地利用/覆被变化模型研究面临的几个问题[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(10): 53-58.
- [13] 曹银贵,周伟,袁春. 基于土地利用变化的区域生态服务价值研究[J]. 水土保持通报, 2010, 30(4): 241-246.
- [14] 杨海娟,温晓金,刘焱序,等. 秦岭土石山区土地利用程度对生态恢复力的影响评价[J]. 水土保持通报, 2012, 32(4): 261-266.
- [15] 杨奇勇,杨劲松,姚荣江,等. 基于 GIS 和改进灰色关联模型的土壤肥力评价[J]. 农业工程学报, 2010(4): 100-105.



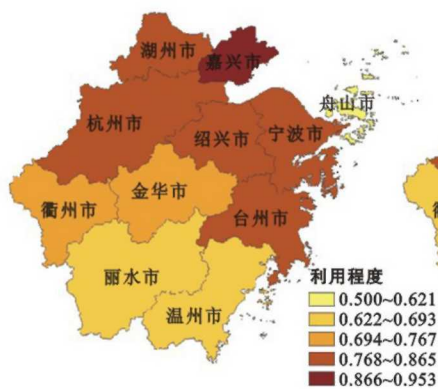
附图1 榆林地区2001和2010年土壤侵蚀强度及变化趋势



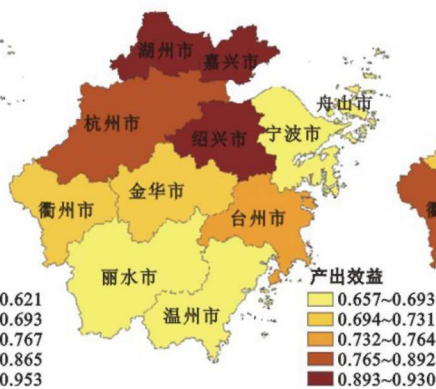
附图2 黄河三角洲2003, 2007, 2011年土地退化等级



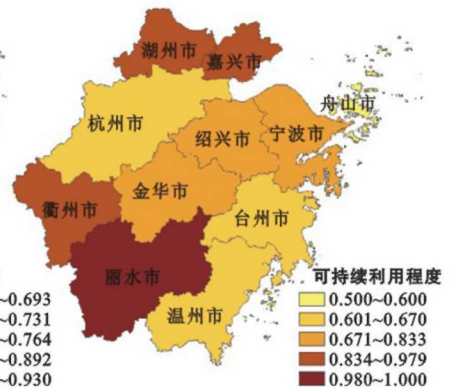
附图3 贵阳市1993, 2000和2010年土地利用/覆被现状



附图4 浙江省耕地利用程度评价



附图5 浙江省耕地产出效益评价



附图6 浙江省耕地可持续状况评价