

北部湾经济区土地利用格局模拟及其生态环境效益评价 ——以广西壮族自治区钦州市为例

何文¹, 卢远¹, 贺佩琳², 高峰¹, 金健¹

(1. 广西师范学院 资源与环境科学学院, 广西 南宁 530001; 2. 广西国土资源信息中心, 广西 南宁 530001)

摘要: [目的] 通过对北部湾经济区土地利用格局动态模拟, 并对模拟结果进行生态环境效益评估, 以期对相关规划及决策部门提供参考资料。[方法] 基于 2000 和 2010 年两期 TM 遥感影像数据, 运用 Logistic 逐步回归分析, CLUE-S 模型模拟分析和生态环境效益综合评价分析方法。[结果] (1) 广西壮族自治区钦州市未来城市扩展范围主要集中在钦州市中心城区往南至海滨新城, 沿海港口及钦江流域方向; (2) 自然增长、规划指标、生态安全 3 种政策情景的生态服务价值分别为 213.01, 200.59 和 226.52 亿元, 仅与 2012 年研究区 GDP 总额相近, 未能充分发挥生态环境应有的作用, 且尤其以规划指标情景最为突出。[结论] CLUE-S 模型对钦州市土地利用格局模拟准确, 在北部湾经济区具有良好的推广应用价值。

关键词: 土地利用变化; 北部湾经济区; CLUE-S 模型; Logistic 回归分析; 生态服务价值

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)01-0281-06

中图分类号: F301

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.01.051

Dynamic Simulation and Eco-environmental Benefits Evaluation of Land Use Pattern in Beibu Gulf Economic Zone

— A Case Study of Qinzhou City in Guangxi Zhuang Autonomous Region

HE Wen¹, LU Yuan¹, HE Peilin², GAO Feng¹, JIN Jian¹

(1. College of Resources & Environmental Science, Guangxi Teachers Education University, Nanning, Guangxi 530001, China; 2. Information Center of Land and Resources of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning, Guangxi 530001, China)

Abstract: [Objective] Through simulating the dynamic changes of land use pattern in the Beibu Gulf economic zone of Qinzhou City and evaluating the ecological environmental benefits of the simulation results to provide a support for local governments and departments. [Methods] Used the TM remote sensing(image) data and experiment/research conducted in 2000 and 2010. Adopted the logistic regression analysis, the CLUE-S(the conversion of land use and its effects at small regional extent) model simulation analysis, and the ecological environment benefits comprehensive evaluation method. [Results] The urban expansion area mainly concentrated in area from the center of Qinzhou City to the coastal town along Qinjiang river basin. The value of ecological service was 213.01 billion yuan under natural growth scenario, and 200.59 billion yuan under planning scenario, and 226.52 billion yuan under ecological security policy scenario. The value closed to the GDP in 2012, but failed to give full play role of the ecological environment, and especially in the planning target scene. [Conclusion] The simulation results of land use pattern are accurate by CLUE-S model in Qinzhou City, which has a good popularization and application value in the Beibu Gulf economic zone.

Keywords: land use change; Beibu Gulf economic zone; CLUE-S model; logistic regression analysis; ecosystem service values

北部湾是中国仅有的一片净海, 保护好这片海域是我们每一个人的责任。2008 年初, 《广西北部湾经济区发展规划》文件得到国家批准, 至此, 北部湾经济区开放与开发上升为国家战略, 然而, 正如宋昭辉^[1]

在《从渤海湾污染谈北部湾的环境保护》一文中所提的那样, 在现代工业面前, 生态环境总是显得十分脆弱, 若不加以重视, 经济快速发展的背后将会是无尽的隐患。区域生态环境的变化一定程度上是区域土

收稿日期: 2013-12-13

修回日期: 2014-01-29

资助项目: 教育部科学技术研究重点项目“广西北部湾经济区城市化与生态环境交互耦合机制研究”(210167)

第一作者: 何文(1988—), 男(汉族), 广西壮族自治区贺州市人, 硕士研究生, 研究方向为 RS 与 GIS 在土地资源管理中的应用。E-mail: 504949372@qq.com。

通信作者: 卢远(1971—, 男(汉族), 广西壮族自治区南宁市横县人, 博士, 教授, 主要从事生态遥感与土地利用研究。E-mail: 51150403@qq.com。

地利用变化在时间和空间上不断累积的结果^[2],欲使经济快速发展的过程中,区域生态环境不会受到较大损害,对区域土地利用变化分析是必不可少的环节。从土地利用格局模拟的角度对区域土地利用变化进行系统分析,能够更准确地了解土地利用/覆被变化的速率、空间类型与土地覆被变化的驱动因素和未来变化趋势^[3]。目前国内外应用较为广泛的 LUCC 模型主要有 CA(原细胞自动机)模型、SD(系统动力学)模型、GTR(generalized thunenricardian)模型、Markov 模型以及 CLUE 和 CLUE-S 模型等^[4]。从学者们的应用研究中总结发现,CLUE 和 CLUE-S 模型能够综合各种自然、社会经济因素以及其他一般模型难以考虑的政策等宏观因素,并且能同时提供多种土地利用情景模拟模式,是众多 LUCC 研究模型中较好的一种。因此,本研究选用 CLUE-S 模型,对广西壮族自治区钦州市近 10 a 土地利用变化动态格局进行模拟,验证模型的可靠性,并以此为基础,对钦州市 2020 年的土地利用变化格局进行自然增长、规划指标以及生态安全指标 3 种情景预测。

然而,在对未来土地利用变化格局预测中,绝大部分学者的研究只停留在提出不同的情景预测,而对于预测方案好坏评价的参考依据研究较少,针对于此,本研究基于环境经济学理论,对研究所预测的 3 种情景假设结果进行生态环境效益评价。

1 研究区概况

广西北部湾经济区地处中国西南沿海,由南宁、钦州、北海、防城港 4 市组成,沿海、沿边、沿疆,区位优势十分突出,气候上长夏无冬,雨热同季,属于典型的亚热带季风气候。

本文选取钦州市作为研究对象。钦州市北高南低,全市面积 4 500 km² 多,总人口 125.4 万人,2012 年全市 GDP 总值 736 亿元。地理位置上处于整个北部湾的中心,成为沟通南、北、防 3 市的交通枢纽。此外,钦州市是中国—东盟自由贸易区的前沿城市,是西南地区最近的出海通道。

在北部湾经济开发区区域合作分工中,钦州市主要负责钢铁、煤炭等重工产业。钦州市海岸线 520 km 多,其中码头岸线 86 km,深水岸线 54 km,可建 1.00×10⁴~3.00×10⁵ t 码头 200 多个,建成后可形成 3×10⁹ t 以上的吞吐能力。

2 研究方法

2.1 数据来源及处理

本研究采用土地利用现状数据是以 2009 年的国

家第二次全国土地普查数据为基础,通过对 2000、2010 年两期 Landsat TM 影像数据进行人工遥感解译获得。区域交通水系资料来自于钦州市区 1:25 万的基础地形图。人口、GDP 资料来自于 2010 年钦州市统计年鉴;数字高程图采用 ASTER GDEM 数据,空间分辨率 30 m,从国际科学数据服务平台网站下载而来。

结合数据的可获得性、与地类变化的相关性以及钦州市区实际情况,选择以下土地利用的驱动因子:海拔、坡度(山地、丘陵和平地)、坡向(东坡、西坡、南坡和北坡)、距离(距交通、水系、城镇中心等)、农村居民点密度、人口密度和人均 GDP,共 21 个驱动因子。平地指坡度<5°的区域,丘陵指坡度介于 5°~15°的区域,山地指坡度>15°的区域;东坡指坡向在 45°~135°区域,南坡指坡向在 135°~225°区域,西坡指坡向在 225°~315°区域,北坡指坡向在 315°~360°以及 0°~45°区域,农村居民点密度指乡镇级行政区范围内农村居民点用地所占的百分比。参照钦州市区行政区划,结合常用的全国土地利用分类系统和钦州市区的实际情况,将钦州市区的土地利用类型分为耕地、林地、草地、水域、湿地、城乡建设用地 6 种土地利用类型。研究中所用的所有图层数据均转换到高斯—克吕格等积割圆锥投影,中央经线为 110°E。

2.2 分析方法

2.2.1 Binary Logistic 回归分析 Binary Logistic 回归是土地利用变化研究中常用的一种方法^[5]。Logistic 回归时一种当因变量是定性变量时的非线性模型。通过计算事件的发生概率,使用自变量作为预测值,可以解释土地利用类型和其驱动因素之间的关系^[6]。其计算公式可表示为:

$$\lg\left\{\frac{P_i}{1-P_i}\right\}=\beta_0+\beta_1 X_{1i}+\beta_2 X_{2i}\cdots+\beta_n X_{ni} \quad (1)$$

式中: P_i ——每个栅格单元可能出现某一土地利用类型 i 的概率; X_{ni} ——与第 i 个土地利用类型相关的第 n 各驱动因子; β ——各驱动因子的回归系数; β_0 ——常数; β_n ——土地利用类型 i 与驱动因子 n 的相关程度。通过 Logistic 逐步回归分析可筛选出对土地利用格局影响比较显著的因素,剔除那些影响不显著的因素,并用表示出它们之间的相互作用关系。

关于 Binary Logistic 回归结果对土地利用分布格局的解释能力好坏可以用 Pontius R. G. 提出的 ROC(relative operating characteristics)方法进行检验^[7]。ROC 值的取值一般在 0.5~1.0 之间,表示曲线下方的面积,0.5 表示回归方程的解释能力较差,

与随机判别效果相当;1.0 表示解释能力效果最好。通常,当 ROC 值大于 0.7 时,可以认为所确定的驱动因素具有较好的解释能力。

2.2.2 CLUE-S 模型 CLUE-S(the conversion of land use and its effects at small regional extent)模型^[8]是荷兰瓦赫宁根大学一个“土地利用变化和影响”研究小组在 CLUE 模型^[9]的基础上开发的。与 CLUE 模型相比,CLUE-S 模型是基于高分辨率(一般大于 1 km×1 km)空间图形数据构建的,适用于中小尺度土地利用变化研究^[10]。CLUE-S 模型大体由两个模块组成,即空间模块和非空间模块。非空间分析模块以自然、社会和经济分析为基础,计算区域内各年份土地利用类型的需求变化,可以用简单的趋势外推法实现;空间分析模块是 CLUE-S 模型框架的核心,主要以各种栅格化空间数据为基础,如各种影响土地利用变化的驱动因子以及当前土地利用的现状等,利用其相互之间互相影响的关系,对各模拟年份的土地利用需求进行空间上的分配。

2.2.3 生态服务价值分析 生态系统服务是国际生态系统可持续研究热点,产生于 20 世纪 70 年代^[11-12]。目前,运用得比较多的是 Costanza 等^[13]在 1997 年对全球自然生态系统生态服务价值估算的计算方法和谢高地等^[14]在 Costanza 等^[13]研究的基础上,对中国自然草地生态系统服务价值和青藏高原生态资产的价值进行评估的方法。其基本表达式为公式(2):

$$ESV = \sum_{i=1}^n (A_i \times VC_i) \quad (2)$$

式中:ESV——研究区生态系统服务总价值;VC_i——单位面积上土地利用类型*i*的生态系统服务价值;A_i——研究区内第*i*种土地利用类型的面积。

3 结果分析

3.1 研究区土地利用变化及现状分析

运用 2000 和 2010 年两期遥感解译数据进行叠加分析可知,本研究区域土地利用/覆被变化格局在 2000—2010 年发生了显著的变化(如表 1 所示)。

表 1 2000—2010 年土地利用转移矩阵

km²

项目	2010 年							
	耕地	林地	草地	水域	湿地	建设用地	总计	
2000 年	耕地	1 194.07	6.23	2.39	3.50	0.37	9.95	1 216.50
	林地	92.72	2 568.59	57.16	2.56	3.18	14.74	2 738.94
	草地	1.85	2.07	237.14	0.33	0.00	2.85	244.24
	水域	1.03	0.97	0.12	100.64	0.00	0.14	102.91
	湿地	0.13	0.00	0.10	0.13	39.61	0.34	40.32
	建设用地	0.33	1.19	0.06	0.16	0.02	156.08	157.84
	总计	1 290.12	2 579.05	296.97	107.31	43.19	184.11	4 500.75
2000—2010 年	转入	96.06	10.46	59.83	6.68	3.57	28.02	96.06
	转出	22.44	170.36	7.10	2.26	0.70	1.76	22.44
	变化量	73.62	-159.90	52.73	4.42	2.87	26.26	73.62

根据表 1 分析可以看出,从 2000—2010 年,地类的转移主要发生在耕地、林地、草地以及建设用地之间,水域和湿地变化不大,且主要表现为林地持续减少,而其他用地类型持续增加。从生态系统整体功能来看,林地是初级产品的最主要生产者,若开发利用不得当,将影响整个生态系统健康,钦州市近 10 a 的用地情况若一直这样持续,势必会对区域生态安全造成威胁。

3.2 Binary Logistic 回归结果分析

Binary Logistic 回归结果是通过 SPSS 16.0 软件获得,本研究选取的驱动因子与各地类的回归结果如表 2 所示。表 2 中,“—”表示驱动因子未进入 Logistic 逐步回归。Exp(B)值是 Logistic 回归系数 B

值以 e 为底的自然幂指数,表示事件发生的比率,既当驱动因子每增加一个单位,地类发生变化的可能性或概率。当 Exp(B)>1,发生比增加;当 Exp(B)=1,发生比不变;当 Exp(B)<1,发生比减少。

如表 2 中所示,以 DEM 为例,当 DEM 每上升 1 m 时,耕地发生比减少 0.02,林地、草地发生的比分别增加 0.008 和 0.003,水域、湿地、以及建设用地的发生比分别降低 0.015,0.127 和 0.006。从数值上反映,DEM 因素对湿地的影响最为强烈,其次是耕地及水域。各地类的 ROC 值除草地 0.69 相对小外,其余都在 0.75 以上,湿地甚至达到 0.95,说明选取的驱动因子对土地利用的分配情况具有较好的解释能力。

表 2 Logistic 逐步回归分析结果 $\text{Exp}(B)$

驱动因子		耕地	林地	草地	水域	湿地	建设用地
高程	DEM	0.982 810	1.008 450	1.002 930	0.986 470	0.873 120	0.993 710
	平地	0.097 580	1.889 700	0.791 000	—	—	—
坡度	丘陵	0.191 750	—	—	—	—	—
	山地	—	0.061 300	—	—	—	—
坡向	东坡	—	0.830 810	—	—	—	—
	西坡	0.785 740	1.133 170	—	—	—	—
	南坡	0.854 860	—	—	—	—	—
	北坡	—	—	0.755 980	—	—	—
距离	到国道距离	—	0.999 970	1.000 040	1.000 060	—	—
	到省道距离	1.000 030	0.999 950	1.000 040	1.000 040	—	0.999 900
	到县道距离	0.999 980	1.000 020	1.000 040	—	—	0.999 920
	到铁路距离	1.000 020	0.999 980	—	—	—	—
	到高速距离	0.999 990	—	—	—	—	—
	到水系距离	1.000 050	—	0.999 920	0.999 950	0.999 690	0.999 930
	到湖泊距离	—	—	1.000 020	0.999 940	1.000 340	1.000 090
	到海洋距离	1.000 030	—	0.999 970	—	0.999 790	0.999 980
	到城镇中心距离	0.999 960	1.000 030	—	0.999 950	1.000 160	—
	到农村居民点距离	0.999 590	1.000 090	1.000 080	1.000 420	—	0.998 360
密度	农村居民点密度	6.175 280	0.038 270	0.229 310	—	—	0.340 940
	GDP	—	0.999 990	1.000 010	—	1.000 010	—
	人口密度	0.999 960	—	0.999 680	1.000 000	0.997 810	1.000 270
	常数	10.786 94	10.786 940	0.469 490	0.120 570	0.041 790	0.007 010
	ROC 值	0.785 000	0.790 000	0.780 000	0.690 000	0.810 000	0.950 000

3.3 CLUE-S 模型模拟与分析

土地利用变化的空间模拟需要 4 个方面的数据支持,即空间政策和约束条件、土地利用转移规则、土地利用需求限制、土地利用的空间分布适宜性,这些数据都会转化为 CLUE-S 模型的参数参与计算。

3.3.1 模拟结果及精度检验 选取研究区 2000 年土地利用类型图为基础图,模拟出 2010 年的实际土地利用图(附图 23a)和 2010 年土地利用类型图(附图 23b),进行精度对比,Kappa 指数^[15]为 0.829 0,模拟结果较为理想,可以运用该模型对钦州市未来土地利用格局进行模拟。

3.3.2 情景预测 情景是对未来可能出现的情况的一种假设。考虑到数据的可获取性和钦州市多年来经济建设不断发展而生态安全保障不断受到威胁的实际特点,现对钦州市的未来土地分布格局做出 3 种情景假设。

(1) 自然增长情景。基于自然条件下的情景模拟,研究区域的土地利用需求不会受到较大规模的政策调整的影响,利用 2000—2010 年的各地类数据进行简单的趋势外推,获得 2020 年的各地类的需求数

据(如表 3 所示)。

(2) 规划指标情景。根据《钦州市土地利用总体规划说明(2006—2020 年)》关于 2020 年土地利用需求预测数据,提取出各地类利用比例,然后再结合本研究土地利用分类特征提取钦州市 2020 各地类的需求数据如表 3 所示。

(3) 生态安全目标情景。即改善流域生态环境质量、充分保障流域生态安全条件下的土地利用情景。钦州市从 2000—2010 年,土地的利用情况显示,林地迅速减少,而草地增幅不大,林地大量转为耕地和建设用地,生态安全受到威胁,因此在未来土地利用规划中需要进一步考虑生态安全指标,加快落实退耕还林还草工程。

在此模式下,耕地大幅减少,林地显著上升,草地也有明显增加,水域湿地变化不大,建设用地略有扩张,此情形下,参照钦州市国土资源局 2006—2020 年土地利用总体规划中土地生态环境保护与建设目标要求,保证耕地占总体面积 25% 以上,林地占 56% 以上(如表 3 所示)。

表 3 2020 年不同情景方案下的地类需求

hm²

地类情景	耕地	林地	草地	水域	湿地	建设用地
自然增长	132 516.00	234 308.00	34 388.00	11 008.00	2 088.00	20 528.00
规划指标	136 569.30	218 917.50	32 944.80	11 008.00	2 088.00	33 308.40
生态安全	110 883.18	260 901.60	32 612.70	10 870.90	2 088.00	17 479.62

根据各情景假设,从新配置好 CLUE-S 模型参数,模拟出各情景在 2020 年的土地利用分布格局图(附图 24a—24c)。将各种情景模拟图与 2010 年土地利用现状图对比可知,预计到 2020 年,建设用地的蔓延扩展主要集中在主城区,而原本各区分布比较零碎斑块,大多都连接成片,城市扩展范围主要集中在钦州中心城区往南至海滨新城,沿海港口方向及钦江流域等。从 3 种情景假设的对比分析中发现,在规划指标情景预测中,建设用地扩张速度大大超过另外两种情景假设,而 2020 年林地面积明显小于另外两种情景假设的林地面积。这说明,在钦州市未来土地利用

规划中,经济的发展是被最优先考虑的,且它的发展速度将会超过前面 10 a,但这一发展在一定程度上是以牺牲生态环境为代价实现的。

3.4 模拟结果生态服务价值评价

城市的发展与生态环境之间存在交互胁迫作用^[16]。城市化进程的加快必然会引城市地区及其周围生态环境的变化。在 Costanza^[13]、谢高地等^[14]建立的生态系统服务价值体系的基础上,参考段瑞娟等^[17]对城镇工矿用地的生态系统服务价值估算(折算到 2012 年)建立生态服务价值当量(表 4),运用公式(2),计算出钦州市不同情景假设的生态服务价值如表 5 所示。

表 4 钦州市生态服务价值当量

元/hm²

耕地	林地	草地	水域	湿地	建设用地	总计
21 659.45	68 478.04	22 690.83	144 069.52	196 533.45	-19 027.15	21 659.45

表 5 2020 年不同情景方案下的生态服务价值

亿元

地类情景	耕地	林地	草地	水域	湿地	建设用地	总计
自然增长	28.70	160.45	7.80	15.86	4.10	-3.91	213.01
规划指标	29.58	149.91	7.48	15.86	4.10	-6.34	200.59
生态安全	24.02	178.66	7.40	15.66	4.10	-3.33	226.52

从表 5 中分析可知,所计算的生态服务价值仅与 2012 年的 GDP 大体相当,没能充分发挥生态环境对区域经济发展所应有的作用,在 3 种情景假设模拟中,生态安全指标情景的生态服务价值最高,自然增长假设情景次之,规划指标假设情景最小;无论哪种情景假设,在不同用地类型中,林地对整体生态服务价值贡献最大。结果显示的这些特点说明钦州市未来土地利用发展规划中,很大程度上仍然是以资源消耗换取经济增长,区域生态可持续发展将进一步受到威胁。

4 结论

(1) 通过土地利用转移矩阵分析发现,钦州市 2000—2010 年,林地减少 159.9 km²,占 10 a 间土地总变化量的 40.6%,其他地类均有增加,又以耕地、草地、建设用地增加为主,其他变化不大。

(2) 通过 Binary Logistic 回归分析,较好的揭示

了土地利用变化与各驱动因子之间的关系,其 ROC 值基本都在 0.75 以上。

(3) 运用 CLUE-S 模型对钦州市区 2010 年的土地利用时空变化进行模拟,Kappa 指数达 0.829 0,取得较理想的效果,并在此基础上对钦州市 2020 年土地利用时空变化进行了 3 种情景预测,清晰展现研究所假设条件下未来土地利用变化动态格局。

(4) 对 3 种情景假设模拟结果进行生态环境效益评价,计算结果仅与钦州市区 2012 年的 GDP 大体相当,没能充分发挥生态环境对区域经济发展所应有的作用,3 种情景中规划指标情景的生态服务价值最小,按照规划发展,区域生态可持续发展很可能会进一步受到威胁。

[参 考 文 献]

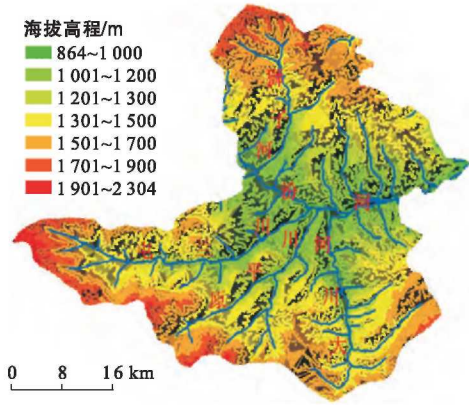
- [1] 宋昭辉. 从渤海湾污染谈北部湾的环境保护[J]. 东南亚纵横, 2007(4): 41-45.
- [2] 田宇鸣, 李新. 土地利用/覆被变化(LUCC)环境效应研

- 究综述[J]. 环境科学与管理, 2006, 31(4): 60-64.
- [3] 蔡运龙. 土地利用/土地覆被变化研究: 寻求新的综合途径[J]. 地理研究, 2001, 20(6): 645-652.
- [4] 吴健生, 冯喆, 高阳, 等. CLUE-S 模型应用进展与改进研究[J]. 地理科学进展, 2012, 31(1): 3-10.
- [5] Gobin A, Campling P, Feyen J. Logistic modelling to derive agricultural land use determinants: A case study from southeastern Nigeria[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2002, 89(3): 213-228.
- [6] 索俊锋, 赵军. 基于 CLUE-S 模型的千岛湖镇土地利用动态模拟分析[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(5): 522-528.
- [7] 王济川, 郭志刚. Logistic 回归模型: 方法与应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [8] Verburg P H, Soepboer W, Veldkamp A, et al. Modelling the spatial dynamics of regional land use: The CLUE-S model[J]. Environmental Management, 2002, 30(3): 391-405.
- [9] Veldkamp A, Fresco L O. CLUE: a conceptual model to study the conversion of land use and its effects[J]. Ecological Modelling, 1996, 85(2): 253-270.
- [10] 张永民, 赵士洞. CLUE-S 模型及其在奈曼旗土地利用时空动态变化模拟中的应用[J]. 自然资源学报, 2003, 18(3): 310-318.
- [11] Curtis I A. Valuing ecosystem goods and services: A new approach using a surrogate market and the combination of a multiple criteria analysis and a Delphi panel to assign weights to the attributes[J]. Ecological Economics, 2004, 50(3): 163-194.
- [12] De Groot R S. Functions of nature: evaluation of nature in environmental planning, management and decision making[M]. Wolters-Noordhoff BV, 1992.
- [13] Costanza R, d'Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. 1998, 25(1): 3-5.
- [14] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
- [15] 摆万奇, 张永民, 阎建忠, 等. 大渡河上游地区土地利用动态模拟分析[J]. 地理研究, 2005, 24(2): 206-212.
- [16] 方创琳, 杨玉梅. 城市化与生态环境交互耦合系统的基本定律[J]. 干旱区地理, 2006, 29(1): 1-8.
- [17] 段瑞娟, 郝晋珉, 王静. 土地利用结构与生态系统服务功能价值变化研究: 以山西省大同市为例[J]. 生态经济, 2005(3): 60-62.

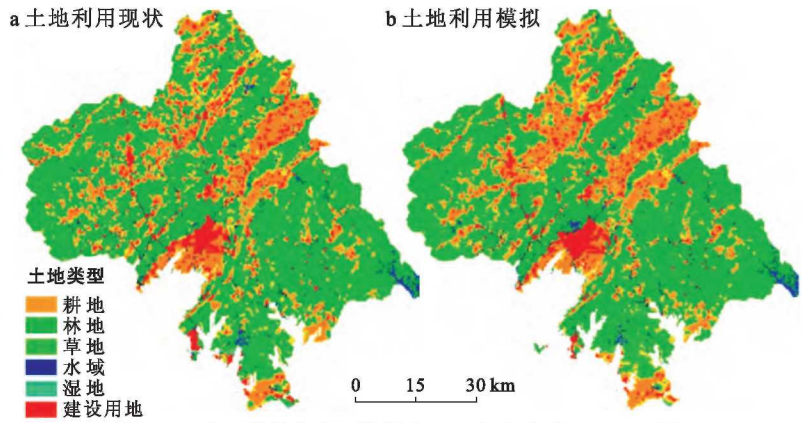
(上接第 214 页)

[参 考 文 献]

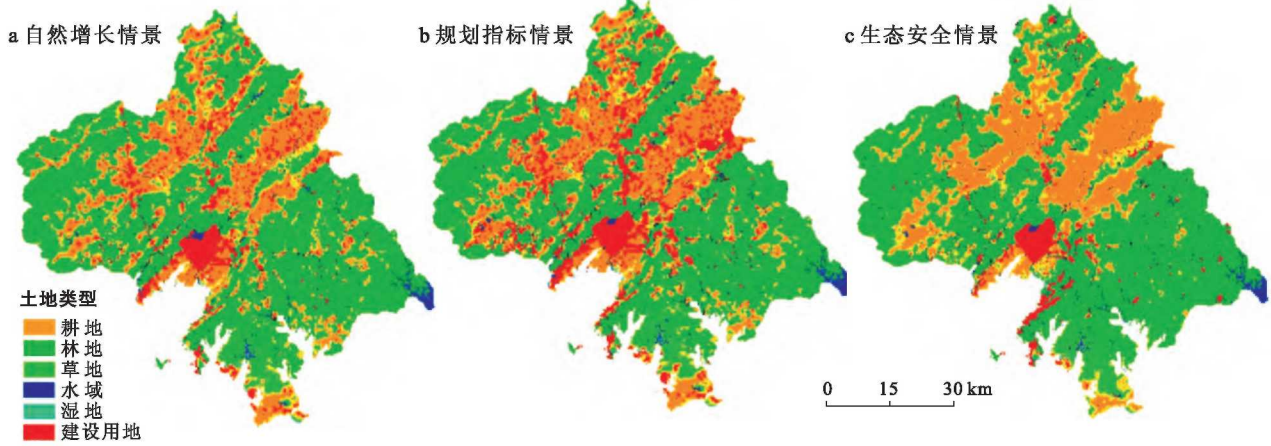
- [1] 徐良芳. 区域水资源可持续利用评价指标体系及其评价方法研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2002.
- [2] 盖美, 李伟红. 基于可变模糊识别模型的大连市水资源与社会经济协调发展研究[J]. 资源科学, 2008, 30(8): 1141-1146.
- [3] 高媛媛, 王红瑞, 许新宜, 等. 水资源安全评价模型构建与应用: 以福建省泉州市为例[J]. 自然资源学报, 2012, 27(2): 204-214.
- [4] 金菊良, 洪天求, 王文圣. 基于熵和 FAHP 的水资源可持续利用模糊综合评价模型[J]. 水力发电学报, 2007, 26(4): 22-28.
- [5] 郜慧, 金辉. 基于 AHP 和模糊综合评价的区域水资源可持续利用评价: 以广东省江门市为例[J]. 水资源与水工程学报, 2007, 18(3): 50-55.
- [6] 张代凤. 基于 AHP-BP 模型的文山州水资源可持续利用评价分析[J]. 水资源与水工程学报, 2013, 24(4): 203-209.
- [7] 孙才志, 李红新. 基于 AHP-PP 模型的大连市水资源可持续利用水平评价[J]. 水资源与水工程学报, 2007, 18(5): 1-5.
- [8] 李维乾, 解建仓, 李建勋等. 基于 AHP-BN 的陕西经济可持续发展水资源保障研究[J]. 水力发电学报, 2012, 31(5): 6-13.
- [9] 马艳. 基于 AHP 的西安市水资源可持续开发利用模糊综合评价[D]. 西安: 长安大学, 2008.
- [10] 宋松柏. 区域水资源可持续利用指标体系及评价方法研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2003.
- [11] 卜楠楠, 唐德善, 尹笋. 基于 AHP 法的浙江省水资源承载力模糊综合评价[J]. 水电能源科学, 2012, 30(3): 42-44.
- [12] 王红旗, 秦成, 张文文. 泉州市水资源风险评价[J]. 中国农村水利水电, 2010(11): 18-21.



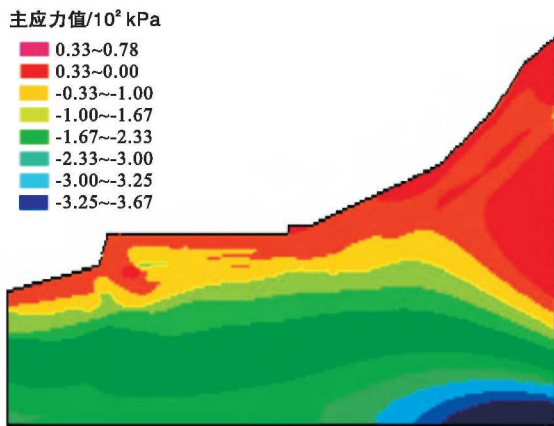
附图22 山西省古交市水系与地形图(275页)



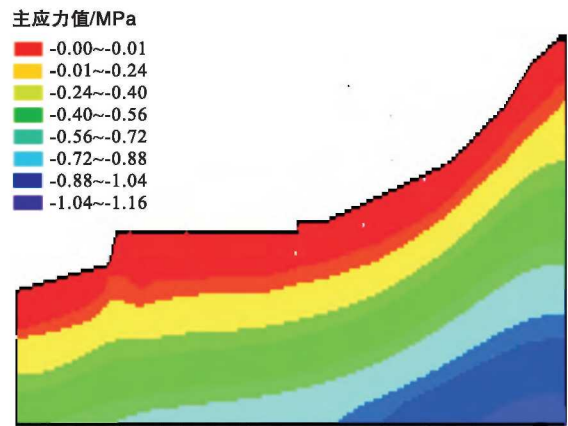
附图23 广西壮族自治区钦州市2010年土地利用图(284页)



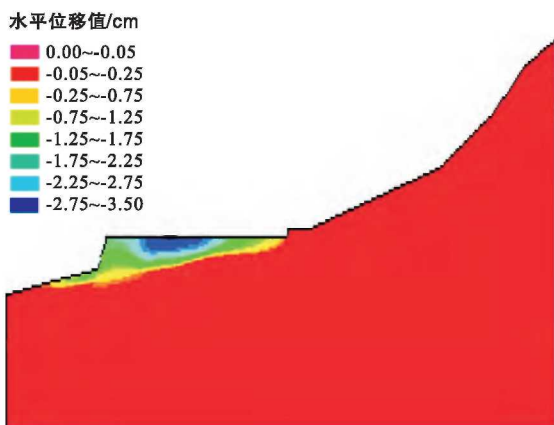
附图24 广西壮族自治区钦州市2020年不同情景模拟图(285页)



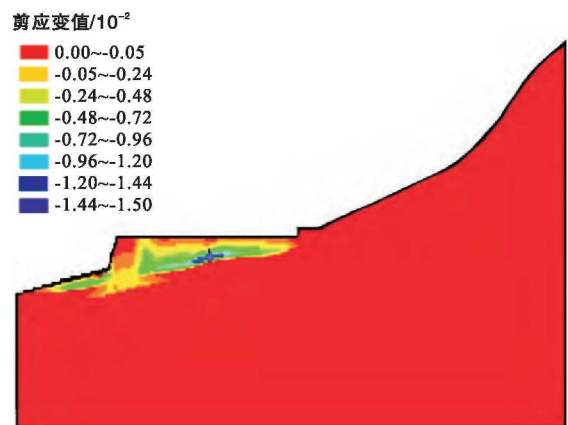
附图25 滑坡主剖面第1主应力分布图(暴雨,290页)



附图26 滑坡主剖面第3主应力分布图(暴雨,290页)



附图27 滑坡主剖面Y方向位移分布(暴雨,290页)



附图28 滑坡主剖面剪应变云图(暴雨,290页)