

# “十二五”期间重庆市土地利用变化及生态效应

黄婧<sup>1</sup>, 杨敏<sup>1</sup>, 张方辉<sup>2</sup>

(1. 重庆市生态环境监测中心, 重庆 401147; 2. 重庆市环境科学研究院, 重庆 401147)

**摘要:** [目的] 揭示“十二五”期间重庆市土地利用及生态效应变化规律, 为该市用地结构调整和生态可持续发展提供理论支持。[方法] 基于重庆市 2011—2015 年 5 期 TM 遥感影像, 采用土地利用动态度、土地利用程度指数、生态系统服务价值评价法、敏感性分析等方法开展研究。[结果] “十二五”期间, 重庆市耕地、林地、草地、水域湿地、建设用地和未利用地年变化率分别为  $-0.37\%$ ,  $-0.01\%$ ,  $-1.98\%$ ,  $0.67\%$ ,  $6.77\%$ ,  $-2.54\%$ ; 土地利用程度综合指数由 248.89 提高至 250.11; 生态系统服务价值共减少了 2.73 亿元。[结论] “十二五”期间, 重庆市各土地利用类型动态变化存在差异性, 呈现出耕地、林地、草地、未利用地面积减少, 水域湿地和建设用地面积增加的趋势, 土地利用在这阶段总体处于发展期; 生态系统服务总价值整体减少, 生态环境轻微朝着不健康的方向发展。

**关键词:** 重庆市; 动态度; 土地利用程度; 生态系统服务价值; 敏感性指数

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2018)02-0154-06

**中图分类号:** F301.24, X171.1

**文献参数:** 黄婧, 杨敏, 张方辉. “十二五”期间重庆市土地利用变化及生态效应[J]. 水土保持通报, 2018, 38(2):154-159. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2018.02.025; Huang Jing, Yang Min, Zhang Fanghui. Ecological effects of land use change in Chongqing City during 12th five-year plan period[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(2):154-159.

## Ecological Effects of Land Use Change in Chongqing City During 12th Five-year Plan Period

HUANG Jing<sup>1</sup>, YANG Min<sup>1</sup>, ZHANG Fanghui<sup>2</sup>

(1. Ecological and Environmental Monitoring Center of Chongqing, Chongqing 401147, China;

2. Academy of Environmental Science of Chongqing City, Chongqing 401147, China)

**Abstract:** [Objective] The dynamic changes of the land use and ecological effects of Chongqing City were studied during the 12th Five-year Plan period, to provide suggestions on land use structure adjustment and ecological-sustainable development of Chongqing City. [Methods] Based on the fifth-issued TM images of Chongqing City during 2011—2015, land use dynamic degree, land use degree index, ecosystem service value evaluation methods were used. [Results] During the 12th Five-Year Plan period, the annual change rates of cultivated land, forest land, grass land, water area land, construction land and unused land were  $-0.37\%$ ,  $-0.01\%$ ,  $-1.98\%$ ,  $0.67\%$ ,  $6.77\%$ ,  $-2.54\%$  respectively. The land use degree index increased from 248.89 to 250.11. The value of ecosystem service decreased 2.73 billion totally. [Conclusion] During the 12th Five-year Plan period, the dynamic change of different land use types differed from each other, among which, quantities of cultivated land, forest land, grass land and unused land decreased, while the water area land and construction land increased. The land use was generally developed in this period. The value of ecosystem service decreased, and the ecological environment evolved in a slight unhealthy direction.

**Keywords:** Chongqing City; danyimic degree; land use degree index; ecosystem services value; sensitivity index

土地利用/覆被变化(LUCC)是全球生态环境变化的重要组成部分和驱动因子之一,直接影响生态系

统的服务功能<sup>[1]</sup>。国内外对 LUCC 的研究主要集中于 LUCC 模型的时空变化格局、LUCC 过程及驱动

收稿日期:2016-12-13

修回日期:2017-02-06

资助项目:重庆市科委基本科研项目“草街水库蓄水后嘉陵江生态环境演变研究”(2013cstc-jbky-01613)

第一作者:黄婧(1990—),女(汉族),重庆市人,硕士研究生,工程师,研究方向为生态环境遥感监测、3S 技术应用和土地利用与规划。  
E-mail:623079826@qq.com。

通讯作者:杨敏(1980—),女(汉族),河北省沧州市人,博士,高级工程师,主要从事生态环境保护方面的研究。E-mail:yangm2013@126.com。

机制、LUCC 与生态环境效应关系、LUCC 与 3S 集成技术的应用等方面<sup>[2]</sup>,研究成果颇丰。现今,土地利用及其生态效应分析已成为土地科学乃至全球生态变化研究的前沿和热点问题,已有生态学家开展了对全国性、区域性的生态系统服务价值(ecosystem services values,ESV)的研究,并指出土地利用/覆被变化(LUCC)对生态系统服务价值的变化具有驱动作用<sup>[3-4]</sup>。因此,相关研究把土地利用变化驱动下的生态系统服务价值变化作为重要量化指标进行分析,为研究区用地结构调整和生态可持续发展提出建议。

1 研究区概况

重庆市位于长江上游,四川盆地东南部,青藏高原与长江中下游平原的过渡地带,东经 105°11′—110°11′,北纬 28°10′—32°13′之间,幅员面积 8.24×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>,地形起伏大、地貌类型多;气候温和,属亚热带季风性湿润气候;雨量充沛,湿润多阴。直辖以来,重庆城市建设高速发展,人口高度集中、工农业逐渐发达,经济活动日益频繁。近几年,重庆市致力于加强耕地保护、退耕还林、荒山造林等政策,但建设用地的不断扩张,依旧给生态系统造成一定程度的破坏。本研究对重庆市土地利用及其生态效应变化趋势进行探讨,具有深远意义。

2 研究方法 with 数据说明

2.1 数据来源及处理

遥感数据源采用重庆市 2011—2015 年 TM 影像,空间分辨率为 30 m,时相集中在 9—10 月。影像数据的前期预处理均在专业遥感软件 ERDAS 中完成,主要包括影像数据格式转换、多波段合成、影像融合、辐射增强;其次,通过 ArcGIS 软件进行遥感影像的数字化解译,得到各个时期的土地利用类型矢量数

据;再次,参照《土地利用现状(GB/T21010-2007)》分类标准,结合重庆市土地利用现状和生态系统类型,划分为耕地、林地、草地、水域湿地、建设用地和未利用地 6 大类<sup>[5]</sup>。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用动态度 土地利用动态模型可以定量分析土地利用的变化速度<sup>[6]</sup>。采用动态度计算不同土地利用类型面积变化的数量和速率,对探究区域某时段土地利用结构变化差异具有重要参考价值<sup>[7]</sup>。单一土地利用动态度表示区域一定时间范围内某种土地利用类型的数量变化关系,其表达式为:

$$K=\frac{U_b-U_a}{U_a}\times\frac{1}{T}\times100\%$$
 (1)

式中:K——研究时段内某一土地利用类型动态度;U<sub>a</sub>,U<sub>b</sub>——研究期初和期末某一种土地利用类型的数量;T——研究时段长度,当 T 设为年时,K 的值就表示该研究区某土地利用类型的年变化率<sup>[8]</sup>。

2.2.2 土地利用程度指数 土地利用程度指数常作为反映土地利用深度和广度的指标<sup>[9]</sup>。根据刘纪远等<sup>[10]</sup>提出的土地利用程度综合分析方法,将土地利用程度按照土地自然综合体在社会因素影响下的自然平衡状态分为若干级,赋予分级指数表(表 1),从而给出土地利用程度综合指数计算公式:

$$L=100\times\sum_{i=1}^n(M_i\cdot N_i)$$
 (2)

$$\Delta L_{b-a}=L_b-L_a=100\times[\sum_{i=1}^n(M_i\cdot N_{bi})-\sum_{i=1}^n(M_i\cdot N_{ai})]$$
 (3)

式中:L——研究区土地利用程度指数;M<sub>i</sub>——研究区第 i 级的土地利用程度分级指数;N<sub>i</sub>——研究区土地利用程度分级面积百分比;n——土地利用程度的分级数;L<sub>a</sub>,L<sub>b</sub>——a 时间和 b 时间的研究区土地利用程度指数。如果 ΔL<sub>b-a</sub>>0,则表示研究区土地利用处于发展时期,否则处于调整期或衰退期。

表 1 土地利用程度分级赋值

土地利用 类型	未利用土地级	林草水用地级	农业用地级	城镇聚落用地级
	未利用或难利用地	林地、草地、水域	耕地、园地	城镇、居民点、工矿用地
分级指数	1	2	3	4

2.2.3 生态系统服务价值评价法 国内外对生态服务价值的研究始于 20 世纪 70 年代。1997 年,国外学者 Costanza 等<sup>[11]</sup>率先明确了生态系统服务价值估算的原理和方法,将生态系统服务价值的研究推向了生态经济学研究的前沿,并受到广泛的认可。在此基础上,谢高地<sup>[12]</sup>从我国实际情况出发,制定了中国不同

陆地生态系统单位面积生态服务价值表,通过与生态服务价值区域修正系数(重庆修正值为 1.21)相结合,得到研究区生态服务价值系数表(表 2)。结合相关文献研究<sup>[13-14]</sup>和重庆市具体情况,可认为建设用地组成的系统是人工生态系统,对生态功能的贡献几乎为零;重庆市裸土地(土质荒漠)面积占未利用地总面

积的 85%以上,未利用地的生态系统类型为荒漠。从而确定重庆市生态系统单位面积生态服务价值(表 3)。

$$ESV=\sum_{i=1}^nVC_i\cdot A_i$$

(4)

式中:ESV——生态系统服务价值;VC<sub>*i*</sub>——研究区第 *i* 种土地利用类型单位面积生态服务功能价值系数;A<sub>*i*</sub>——第 *i* 种土地利用类型的面积。

表 2 中国不同陆地生态系统单位面积生态服务价值							元/(hm <sup>2</sup> ·a)
生态服务项目	单位面积生态服务价值						
	农田	森林	草地	水体	湿地	荒漠	
气体调节	442.40	3 097.00	707.90	0.00	1 592.70	0.00	
气候调节	787.50	2 389.10	796.40	407.00	15 130.90	0.00	
水源调节	530.90	2 831.50	707.90	18 033.20	13 715.20	26.50	
土壤形成与保护	1 291.90	3 450.90	1 725.50	8.80	1 513.10	17.70	
废物处理	1 451.20	1 159.20	1 159.20	16 086.60	16 086.60	8.80	
生物多样性保护	628.20	2 884.60	964.50	2 203.30	2 212.20	300.80	
食物生产	884.90	88.50	265.50	88.50	265.50	8.80	
原材料	88.50	2 300.60	44.20	8.80	61.90	0.00	
娱乐文化	8.80	1 132.60	35.40	3 840.20	4 910.90	8.80	
合 计	6 114.30	19 334.00	6 406.50	40 676.40	55 489.00	371.40	

表 3 重庆市生态系统单位面积生态服务价值							元/(hm <sup>2</sup> ·a)
土地利用类型	单位面积生态服务价值						
	耕地	林地	草地	水域湿地	建设用地	未利用地	
生态系统类型	农田	森林	草地	水体/湿地	城镇	荒漠	
生态系统服务价值系数	6 114.30	19 334.00	6 406.50	48 082.70	0.00	371.40	

2.2.4 敏感性指数分析法 生态环境敏感性指数(coefficient of sensitivity, CS)可以用来反映区域生态环境质量、人口负荷、土地利用程度以及经济发展状况等因素<sup>[15]</sup>。

借助敏感性指数(CS),确定随着时间的推移,生态服务价值(ESV)对生态系统服务价值系数(CS)变化的依赖程度<sup>[16]</sup>。其计算公式为:

$$CS=\left[\frac{(ESV_j-ESV_i)/ESV_i}{(VC_{jk}-VC_{ik})/VC_{ik}}\right]$$

(5)

式中:*i*,*j*——初期生态价值和生态价值系数调整后

的价值;若 CS>1,则 ESV 对 VC 富有弹性,结果可信度低;若 CS<1,则 ESV 对 VC 缺乏弹性,结果可信度高。

### 3 结果分析

#### 3.1 研究区土地利用变化分析

3.1.1 研究区土地利用动态度分析 通过 ArcGIS 提取各土地利用类型的解译属性数据,统计得到重庆市“十二五”期间土地利用类型面积(表 4);并结合公式(1),将 *K* 设为年,得到土地利用年变化率(表 5)。

表 4 “十二五”期间重庆市土地利用类型面积统计							km <sup>2</sup>
年份	耕地面积	林地面积	草地面积	水域湿地面积	建设用地面积	未利用地面积	
2011	35 423.36	40 444.95	2 211.82	1 854.12	2 442.62	23.13	
2012	35 378.6	40 434.16	2 210.12	1 859.49	2 495.73	21.89	
2013	35 053.86	40 546.27	2 001.45	1 913.91	2 865.17	19.35	
2014	34 902.22	40 484.16	1 999.78	1 913.07	3 081.31	19.46	
2015	34 776.35	40 425.72	1 992.34	1 916.53	3 268.86	20.19	

表 5 “十二五”期间重庆市土地利用年变化率							%
年份	耕地面积	林地面积	草地面积	水域湿地面积	建设用地面积	未利用地面积	
2011—2012	—0.13	—0.03	—0.08	0.29	2.17	—5.33	
2012—2013	—0.92	0.28	—9.44	2.93	14.80	—11.62	
2013—2014	—0.43	—0.15	—0.08	—0.04	7.54	0.55	
2014—2015	—0.36	—0.14	—0.37	0.18	6.09	3.79	
5 a 变化	—0.37	—0.01	—1.98	0.67	6.77	—2.54	

由表 4—5 可以看出,“十二五”期间,重庆市土地利用类型呈现出不同变化规律:耕地面积逐年减少,年变化率为 0.37%;林地面积微弱减少,年变化率为 0.01%;草地出现大量流失,年变化率为 1.98%;水域湿地面积整体呈现逐年增加的趋势,2013 年增速最大,主要是由于三峡库区在 2013 年进行了第 4 次 175 m 试验性蓄水,导致航道拓宽,水位抬升;与耕地

面积变化趋势相反,建设用地面积呈现大幅度增加趋势,年变化率达到 6.77%,其中城镇建设用地增加的比例最高,反映出随着重庆都市化进程的加快,城市建设用地不断扩张的现象;未利用面积则先减少后增加,年变化率为 2.54%,但整体基数小。“十二五”始末 2011 和 2015 年重庆市土地利用现状如图 1 所示。

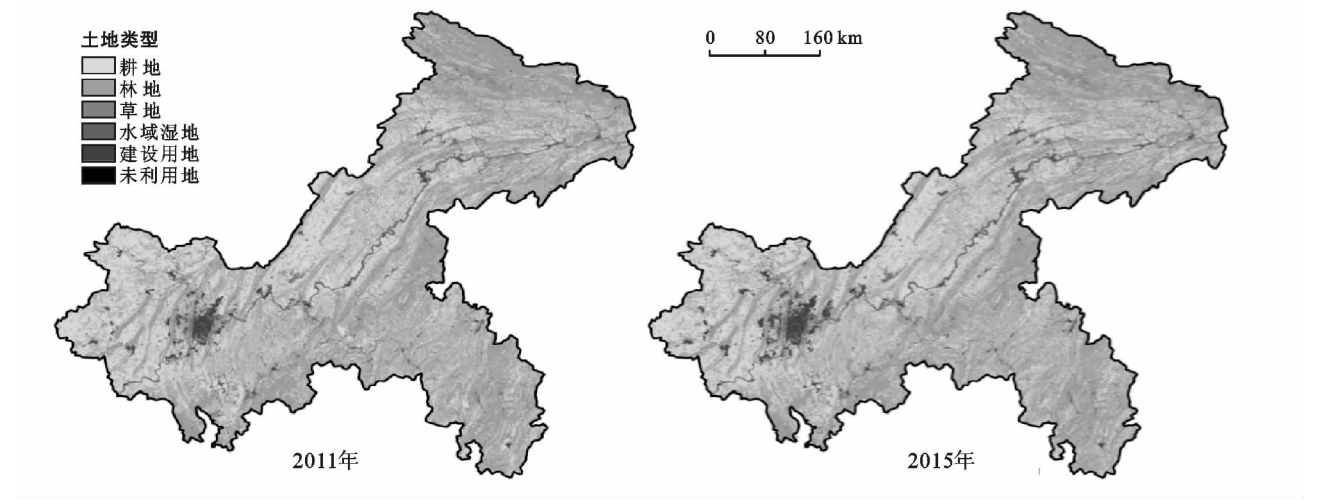


图 1 重庆市 2011 和 2015 年土地利用现状图

3.1.2 研究区土地利用程度分析 根据表 1 和表 4,利用公式(2)—(3),计算得到“十二五”期间重庆市土地利用程度指数(表 6)。

根据表 6,“十二五”期间,重庆市土地利用程度综合指数由 248.89 提高至 250.11,且指数值逐年升高。其中,耕地的土地利用程度指数介于 126.61~128.97,各年指数值均高于其他地类,但呈降低趋势;林地的土地利用程度指数介于 98.12~98.41,仅次

于耕地,与草地的土地利用程度均呈现出减—增—减的变化趋势;建设用地的土地利用程度指数介于 11.86~15.87,处于第 3 位,指数值逐年升高;水域湿地与建设用地的土地利用程度变化趋势一致;未利用地的土地利用程度年际变化不明显。经计算,各年土地利用程度指数变化值  $\Delta L_{b-a}$  均为正值,说明重庆市土地利用在这阶段总体处于发展期,且土地利用的强度在明显加大。

表 6 “十二五”期间重庆市土地利用程度指数

年份	耕地	林地	草地	水域湿地	建设用地	未利用地	土地利用程度综合指数	$\Delta L_{b-a}$
2011	128.97	98.17	5.37	4.50	11.86	0.03	248.89	—
2012	128.81	98.14	5.36	4.51	12.12	0.03	248.97	0.08
2013	127.62	98.41	4.86	4.65	13.91	0.02	249.47	0.51
2014	127.07	98.26	4.85	4.64	14.96	0.02	249.81	0.34
2015	126.61	98.12	4.84	4.65	15.87	0.02	250.11	0.30
5 a 变化	-2.36	-0.05	-0.53	0.15	4.01	0.00	—	1.22

3.2 研究区生态效应变化分析

3.2.1 研究区生态系统服务价值变化分析 根据表 2,表 4 和公式(4),计算得出“十二五”期间重庆市 6 大生态系统服务价值表(表 7)。“十二五”期间,重庆市生态系统服务价值共减少 2.73 亿元,年变化率为 0.05%,变化较小,主要是由于不同土地利用类型之

间的转移,造成部分变化相互抵消。从生态系统服务价值构成来看,林地的生态系统服务价值最高,年增加率小,每年均占总价值的 70%以上;耕地生态系统服务价值减少量最大,达到 3.96 亿元,年变化率为 0.37%;水域湿地生态系统服务价值增加量最大,为 3 亿元,年变化率为 0.67%;未利用地、草地年减少率

最高,分别为 2.54%,1.98%。各土地利用类型引起的生态系统服务价值的变化与重庆的城市化建设力度有关。耕地、林地和草地的减少主要是因为建设用地的扩张和占用,而退耕还林政策的实施在一定程度上保证了林地数量;水域湿地生态系统服务价值的增加主要受三峡库区水位调整的影响,其面积不到全市

总面积的 2.5%,生态服务价值占比却达 8.0%,可见水域湿地对生态服务价值具有积极作用;未利用地年减少率高则表明裸土地面积范围缩小化,植被覆盖程度有所提高。整体上看,林地、耕地、水域湿地这 3 大地类的生态服务价值超过总价值的 98%,构成了重庆生态系统服务价值的主体。

表 7 “十二五”期间重庆市生态系统服务价值

土地类型	2011 年		2012 年		2013 年		2014 年		2015 年	
	ESV/亿元	比例/%	ESV/亿元	比例/%	ESV/亿元	比例/%	ESV/亿元	比例/%	ESV/亿元	比例/%
耕 地	216.59	19.66	216.32	19.64	214.33	19.43	213.40	19.38	212.63	19.35
林 地	781.96	70.97	781.75	70.96	783.92	71.06	782.72	71.10	781.59	71.11
草 地	14.17	1.29	14.16	1.29	12.82	1.16	12.81	1.16	12.76	1.16
水域湿地	89.15	8.09	89.41	8.12	92.03	8.34	91.99	8.36	92.15	8.38
建设用地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
未利用地	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
合 计	1 101.88	100.00	1 101.65	100.00	1 103.11	100.00	1 100.93	100.00	1 099.15	100.00

3.2.2 研究区生态系统敏感性分析 为检验 CS 取值的合理性,一般用分别调整 50%(±50%)不同土地利用类型的生态价值(VC)来计算敏感性指数(CS)。利用公式(5),计算得到调整后的生态系统敏感性指数(建设用地系数为零,不参与调整),结果详见表 8。分析可知,调整后的敏感性指数(CS)均小于 1,表明“十二五”期间重庆市生态系统服务价值对单位面积的生态系统服务价值系数缺乏弹性,结果可信度高。以 2015 年为例,林地生态系统服务价值系数由 19 334.00 元/hm<sup>2</sup>上调到 29 001.00 元/hm<sup>2</sup>时,全市总价值由

1 099.15 亿元增加到 1 489.94 亿元;当其下调到 9 667.00 元/hm<sup>2</sup>时,全市总价值由 1 099.15 亿元减少到 708.35 亿元;即林地生态系统服务价值系数增加(或减少)1%时,总价值增加(或减少)0.711%。将调整后的敏感性指数进行排序发现,研究期间,不同土地利用类型对生态系统服务价值影响程度由大到小依次为:林地、耕地、水域湿地、草地、未利用地,可见,林地生态系统服务价值系数的变化对研究区生态系统服务价值产生的放大作用最高;并且经对比研究,该结论与多项研究结果具有一致性,结果可靠<sup>[17-19]</sup>。

表 8 “十二五”期间重庆市生态系统服务价值调整后结果及敏感性指数

年份	统计类型	耕地		林地		草地		水域湿地		未利用地	
		VC+50%	VC-50%	VC+50%	VC-50%	VC+50%	VC-50%	VC+50%	VC-50%	VC+50%	VC-0%
2011	ESV/亿元	1 210.18	993.59	1 492.86	710.9	1 108.97	1 094.8	1 146.46	1 057.31	1 101.89	1 101.88
	敏感性指数	0.197		0.710		0.013		0.081		0.000	
2012	ESV/亿元	1 209.8	993.49	1 492.52	710.77	1 108.73	1 094.57	1 146.35	1 056.94	1 101.65	1 101.64
	敏感性指数	0.196		0.710		0.013		0.081		0.000	
2013	ESV/亿元	1 210.27	995.94	1 495.07	711.15	1 109.52	1 096.7	1 149.12	1 057.09	1 103.11	1 103.1
	敏感性指数	0.194		0.711		0.012		0.083		0.000	
2014	ESV/亿元	1 207.63	994.23	1 492.29	709.57	1 107.33	1 094.52	1 146.92	1 054.94	1 100.93	1 100.92
	敏感性指数	0.194		0.711		0.012		0.084		0.000	
2015	ESV/亿元	1 205.46	992.83	1 489.94	708.35	1 105.53	1 092.77	1 145.22	1 053.07	1 099.15	1 099.14
	敏感性指数	0.193		0.711		0.012		0.084		0.000	

4 讨论与结论

(1)“十二五”期间,重庆市各土地利用类型的动态变化存在差异性。耕地、林地、草地、未利用地面积减少,水域湿地和建设用地面积增加;前者年变化率

均为负值,后者年变化率均为正值,表明水域湿地和建设用地面积持续增加。经分析,土地利用在该时间段内处于发展期。

(2)“十二五”期间,重庆市生态系统服务总价值整体减少,生态环境轻微朝着不健康的方向发展,林

地面积的变化对研究区生态系统服务价值的影响最明显。经敏感性分析,生态系统服务价值对单位面积的生态系统服务价值系数不敏感,研究结果可信。

(3) 城市化进程改变了土地利用结构,从而对生态环境产生影响。鉴于此,重庆市应继续加强土地利用结构的调整,集约节约土地利用,提高生态系统质量。本研究重点在于定量分析“十二五”时期内各土地利用类型和生态效应的年际变化规律,尚未对空间变化特征以及引起变化的自然地理、社会经济因素进行具体讨论,这将是未来需要加强研究的方向。

[ 参 考 文 献 ]

[1] 胡乔利,齐永青,胡引翠,等. 京津冀地区土地利用/覆被与景观格局变化及驱动力分析[J]. 中国生态农业学报, 2011,19(5):1182-1189.

[2] 白淑英,陈灵梅,王莉,等. 土地利用/覆被变化研究现状与展望[J]. 安徽农业科学,2010,38(30):17003-17005.

[3] 张新荣,刘林萍,方石,等. 土地利用/覆被变化(LUCC)与环境变化关系研究进展[J]. 生态环境学报,2014,23(12):2013-2021.

[4] 杜习乐,吕昌河,王海荣. 土地利用/覆被变化(LUCC)的环境效应研究进展[J]. 土壤,2011,43(3):350-360.

[5] 陈百明,周小萍.《土地利用现状分类》国家标准的解读[J]. 自然资源学报,2007,22(6):994-1003.

[6] 朱萌,马孝义,刘雪娇. 基于马尔科夫模型的武功县土地利用/覆被动态变化研究[J]. 水土保持研究,2013,20(5):64-68.

[7] Shao Jinggan, Wei Chaofu, Xie Deti. Mountain land use planning of the metropolitan suburbs: The case of jinyun mountain and its surrounding area in Chongqing, China [J]. Journal of Mountain Science, 2005,2(2):116-128.

[8] 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.

[9] 杨文轩,庞红丽,张旭. 兰州市近 10 年的土地利用动态变化研究[J]. 水土保持研究,2013,20(3):231-236.

[10] 樊玉山,刘纪远. 西藏自治区土地利用[M]. 北京:科学出版社,1992.

[11] Costanza R, D’Arge R, De Groot R, et al. The value of the world’s ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997,387(15):253-260.

[12] 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):118-126.

[13] 邓伟,杨华,崔艳君. 重庆主城区近 30 年土地利用变化的生态环境效应分析[J]. 水土保持研究,2010,17(3):232-236.

[14] 姚玲,廖和平,邓春燕,等. 基于土地利用变化的三峡库区生态服务价值损益分析:以重庆市巫山县为例[J]. 西南大学学报:自然科学版,2012,34(5):91-96.

[15] 刘春霞,李月臣,杨华,等. 三峡库区重庆段生态与环境敏感性综合评价[J]. 地理学报,2011,66(5):631-642.

[16] 张凤太,苏维词,赵卫权. 基于 LUCC 的重庆城市生态系统服务价值变化研究[J]. 生态与农村环境学报,2008,24(3):478-482.

[17] 汪小平,周宝同,王小玉,等. 重庆市土地利用变化及其生态系统服务价值响应[J]. 西南大学学报:自然科学版,2009,34(5):225-229.

[18] 彭文甫,周介铭,杨存建,等. 基于土地利用变化的四川省生态系统服务价值研究[J]. 长江流域资源与环境,2014,23(7):1053-1061.

[19] 尚勇敏,何多兴,耿黎,等. 重庆市合川区土地利用变化及生态环境效应评价[J]. 水土保持通报,2012,32(2):222-226.

(上接第 153 页)

[15] 王荣军,谢余初,张影,等. 基于 P-R-S 模型的旱区城市湿地生态安全评估[J]. 生态科学,2015,34(3):133-138.

[16] 许月卿,赵菲菲,孙丕苓. 生态脆弱区土地生态安全动态评价:以河北省张家口市为例[J]. 水土保持通报,2015,35(5):232-238.

[17] 王雪,杨庆媛,何春燕,等. 基于 P-S-R 模型的生态涵养发展型区域土地生态安全评价:以重庆市丰都市为例[J]. 水土保持研究,2014,21(3):169-175.

[18] 冯文斌,李升峰. 江苏省土地生态安全评价研究[J]. 水土保持通报,2013,33(2):285-290.

[19] 孙德亮,张凤太. 基于 DPSIR-灰色关联模型的重庆市

土地生态安全评价[J]. 水土保持通报,2016,36(5):191-197.

[20] 严超,张安明,石仁蓉,等. 重庆市黔江区土地生态安全评价及时空变化分析[J]. 水土保持通报,2016,36(4):262-268.

[21] 王劲峰,徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报,2017,72(1):116-134.

[22] 严超,张安明,吴仕海. 基于 GM(1,1)模型的土地生态安全动态分析与预测[J]. 西南大学学报:自然科学版,2015,37(2):103-109.

[23] 孟展,张锐,刘友兆,等. 基于熵值法和灰色预测模型的土地生态系统健康评价[J]. 水土保持通报,2014,34(4):226-231.