

# 重庆主城区近 30 年土地利用变化的生态环境效应评价<sup>\*</sup>

邓伟<sup>1,2</sup>, 杨华<sup>1,2</sup>, 崔艳君<sup>1,2</sup>

(1. 重庆师范大学 地理科学学院, 重庆 400047; 2. 重庆高校市级 GIS 应用研究重点实验室, 重庆 400047)

**摘要:**以 1978 年、1993 年和 2007 年三期 landsat MSS/ TM 影像解译数据为依据,分析重庆主城区近 30 年来的土地利用变化,参考 Costanza 以及谢高地等提出的生态系统服务价值系数,制定出符合重庆主城区的生态系统服务价值系数,并对重庆主城区的生态系统服务价值进行了估算。结果表明:重庆主城区在 1978 - 2007 年近 30 a 间,耕地呈持续减少趋势,重庆成为直辖市后,林地、耕地大量向建设用地转换,生态系统服务价值急剧降低,ESV 在 1978 - 1993 年间增加了 7.84 亿元后由 1993 年的 22.58 亿元减少到了 2007 年的 18.56 亿元,年减少率为 1.27%。林地的变化对重庆主城区生态系统服务价值的影响明显。生态服务价值系数的变化对重庆主城区生态系统总服务价值的影响缺乏弹性,说明研究结果可信。

**关键词:**土地利用变化;生态系统服务价值;重庆主城区;动态度;敏感性指数

中图分类号:F301.24;X171.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2010)03-0232-05

## Assessment of Ecological Environmental Effects on Landuse Change in Chongqing City Nearly 30 Years

DENG Wei<sup>1,2</sup>, YANG Hua<sup>1,2</sup>, CUI Yan-jun<sup>1,2</sup>

(1. College of Geographical Science, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China; 2. Municipal GIS Applied Research Key Laboratory in Chongqing Colleges and Universities, Chongqing 400047, China)

**Abstract:** Based on the data of 1978, 1993 and 2007 three years Landsat MSS/ TM, the paper analyzes land-use/cover change of nearly former thirty years in Chongqing city. The ecosystem service value (ESV) of Chongqing city was estimated by the coefficient of the ESV lined with Chongqing city which referenced Costanza's and Xie Gaodi's. The results indicated that in 1978 - 2007, continuous decreasing trend of cultivated land was and the ESV descended as a result of the great loss of woodland and cultivated land for urban construction after Chongqing became municipality directly under the Central Government. After increased by  $7.84 \times 10^8$  Yuan in 1978 - 1993, the ESV of Chongqing city descended from  $22.58 \times 10^8$  Yuan in 1993 to  $18.56 \times 10^8$  Yuan in 2007, the descending ratio was 1.27%. Changes in forest ecosystem services in Chongqing city obviously impact on the value. The result is reliability because the change of the ESV's coefficient made little influence on total ecosystem service value.

**Key words:** landuse change/cover (LUCC); the value of ecosystem services; Chongqing city; dynamic degree; sensitivity index

土地利用是人类活动最直接的一种表现形式,土地利用变化一方面与自然环境演变相关,另一方面与不断增强的人类活动密切相关,是自然与人文过程交叉最为密切的产物。土地利用变化可引起许多自然现象和生态过程变化,从而对生态环境的各

个方面产生深刻影响。土地利用及其生态环境效应目前已成为土地科学及全球变化研究的热点问题之一<sup>[1-3]</sup>,研究土地利用变化及其对生态环境的影响,对于了解区域生态环境乃至全球环境变化具有重要意义<sup>[4]</sup>。由于土地利用与生态系统服务关系密切,

\* 收稿日期:2009-11-24

基金项目:国家自然科学基金面上项目(40771135)

作者简介:邓伟(1983-),男,重庆江津人,在读硕士,主要从事资源遥感与 GIS 方面的研究。E-mail: dengwei118@163.com

通信作者:杨华(1963-),男,重庆石柱人,在读博士生,副教授,主要研究方向为岩土工程、资源环境与 GIS。E-mail: csyanghua@263.com

相关研究把土地利用变化驱动下的生态系统服务价值(ecosystem services values, ESV)变化,作为土地利用变化环境效应的一个重要量化指标。通过计算特定研究区域的生态系统服务价值,可定量分析生态环境质量对土地利用演变的响应,进而对土地资源的可持续利用提出有益建议<sup>[5]</sup>。

## 1 研究区概况、实验材料和研究方法

### 1.1 研究区概况

重庆主城区分布于长江与嘉陵江交汇处及其附近河谷地带,界于缙云山与明月山之间。本研究区包括渝中区、沙坪坝区全部,北碚区、渝北区、江北区、南岸区、巴南区、大渡口区、九龙坡的主城区部分,面积为 1 612.79 km<sup>2</sup>。区内以山地、丘陵为主,平地较少,山地有缙云山、歌乐山-中梁山、南山,主要干流为长江、嘉陵江,城区座落在这两江交汇处,四面环山,江水回绕,城市傍水依山,层叠而上。区内人口密集,工农业发达,经济活动频繁,是重庆市政治、文化、经济的中心地区。重庆地处长江上游、三峡库区库尾,城市的生态地位十分重要。重庆成为直辖市后,城市建设速度高速增长,在 10 a 间扩张了 6 倍多。区内生态系统的服务功能发生了巨大变化,所以利用土地利用变化来研究区内生态系统服务功能的变化情况,无疑具有重要的现实意义。

### 1.2 数据源介绍

参照《土地利用现状分类》<sup>[6]</sup>,针对重庆主城区特点,根据影像解译能力以及参考前人研究结果<sup>[7]</sup>,将全区土地利用/覆盖分为建设用地、旱地、有林地、水田、灌木林、未利用地和水体 7 大类。

本研究分别采用 1978 年 7 月份 MSS 影像、1993 年 5 月份的 TM5 影像及 2007 年 7 月份 TM5 影像为基本数据源。三期遥感影像的空间分辨率分别为 78 m、28.5 m 和 28.5 m。MSS 影像具有 4 个波段,采用 7,5,4 波段组合。TM5 影像具有 7 个波段,本研究对 TM5 选取运用 Chaveztal<sup>[8]</sup>提出的最佳指数(OIF - Optimum index)法计算出的适合本区研究的 7,4,3 波段进行组合。研究工作平台建立在专用遥感数据图像处理软件(ERDAS 9.1)、地理信息系统软件(Arc GIS 9.2)上。

本研究区以主城区 1:50 000 地形图为基准,利用二次多项式对遥感影像进行几何精校正。同时,为了保证研究区域几何校正的精度,选取控制点多集中在研究区域范围内,并使控制点分布尽可能均匀,在整体 RMS < 0.5 的前提下,研究区域的几何畸变得到了有效的控制<sup>[9]</sup>。

应用监督分类和目视解译相结合的方式,分别对 1978 年、1993 年和 2007 年三期的遥感影像进行分类,获取 7 类土地利用类型,然后运用分类叠加、聚类统计、过滤分析、去除分析,对得到的结果进行重新编码。完成编码后,将栅格图转换为可以编辑的矢量图,并建立拓扑关系,最后利用 Arc GIS 9.2 对矢量图进行编辑修改,最终得到三期重庆主城区土地利用现状数据。

### 1.3 研究方法

1.3.1 土地利用动态度 利用土地利用动态度模型来定量反映区域土地利用变化的速率,对比较不同时段土地利用变化差异和预测未来土地利用变化的趋势具有积极的意义。

单一土地利用类型动态度表示某研究区域一定时间范围内某种土地利用类型的数量变化情况,表达式为

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

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>——研究期初和研究期末某一种土地利用类型的数量;T——研究时段长。当 T 设为年时,K 就是该研究区域某种土地利用类型的年变化率。

1.3.2 生态系统服务价值评价方法 生态系统服务及其价值的研究开始于 20 世纪 70 年代,但由于缺乏相应的价值评估理论与方法体系而进展缓慢。1997 年 Costanza 等人<sup>[10]</sup>的研究成果使生态系统服务价值评估的原理与方法从科学意义上得以明确,将生态系统服务研究推向生态经济学研究的前沿。Costanza 等人将全球生态系统划分为 16 大类 26 小类,将生态系统服务功能划分为 17 种功能,并以此为基础对全球生态系统的服务价值进行了估算。谢高地<sup>[11]</sup>根据中国的具体情况,制定了中国不同陆地生态系统单位面积生态服务价值表(表 1)。

本文根据重庆主城区具体情况,参照中国陆地生态系统服务价值表,并结合张凤太等<sup>[12]</sup>确定的重庆城镇生态服务价值,确定出重庆主城区生态系统单位面积生态服务价值(表 2),并运用 Costanza 的生态系统服务价值公式,计算重庆主城区生态系统服务价值。其公式为

$$ESV = A_k \times VC_k \quad ESV_f = (A_k \times VC_{fk}) \quad (2)$$

式中:ESV——生态系统服务价值;A<sub>k</sub>——研究区第 k 种土地利用类型的面积;VC<sub>k</sub>——生态系统价值系数;ESV<sub>f</sub>——生态系统第 f 项服务功能价值;VC<sub>fk</sub>——研究区第 k 种土地利用类型的第 f 项服务功能价值系数。

表 1 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>

项目	森林	草地	农田	湿地	水体	荒漠
气体调节	3097.0	707.9	442.4	1592.7	0.0	0.0
气候调节	2389.1	796.4	787.5	15130.9	407.0	0.0
水源涵养	2831.5	707.9	530.9	13715.2	18033.2	26.5
土壤形成与保护	3450.9	1725.5	1291.9	1513.1	8.8	17.7
废物处理	1159.2	1159.2	1451.2	16086.6	16086.6	8.8
生物多样性保护	2884.6	964.5	628.2	2212.2	2203.3	300.8
食物生产	88.5	265.5	884.9	265.5	88.5	8.8
原材料	2300.6	44.2	88.5	61.9	8.8	0.0
娱乐文化	1132.6	35.4	8.8	4910.9	3840.2	8.8
总计	19334.0	6406.5	6114.3	55489.0	40269.4	371.4

表 2 重庆主城区生态系统单位面积生态服务价值 元/hm<sup>2</sup>

土地利用类型	生态系统类型	生态服务价值
有林地	森林	19334.0
灌木林	森林	19334.0
旱地	农田	6114.3
水田	农田	6114.3
水体	水体	40269.4
未利用地	荒漠	371.4
建设用地	城镇	- 5372.1

1.3.3 敏感性分析方法 相关研究<sup>[13]</sup>借用敏感性指数(Coefficient of sensitivity, CS)确定 ESV 随时

表 3 1978 - 2007 年重庆主城区土地利用类型变化

年份	统计类型	建设用地	旱地	有林地	水田	灌木林	未利用地	水体
1978	面积/km <sup>2</sup>	53.47	476.59	221.63	653.78	36.41	94.21	76.69
	所占比例/%	3	3	14	41	2	6	5
1993	面积/km <sup>2</sup>	94.33	362.96	137.96	84.79	798.36	79.37	55.04
	所占比例/%	5.85	22.50	8.55	5.26	49.50	4.92	3.42
2007	面积/km <sup>2</sup>	329.07	384.56	164.55	41.95	608.72	15.36	68.58
	所占比例/%	16.14	23.84	10.20	2.60	37.74	0.95	4.25
1978 - 1993	变化总量/km <sup>2</sup>	40.86	- 113.63	- 83.67	- 568.99	761.95	- 14.84	- 21.65
	年变化量/km <sup>2</sup>	2.72	- 7.58	- 5.58	- 37.93	50.80	- 0.99	- 1.44
1993 - 2007	动态度/%	5.09	- 1.59	- 2.52	- 5.80	139.50	- 1.05	- 1.88
	变化总量/km <sup>2</sup>	234.74	21.6	26.59	- 42.84	- 189.64	- 64.01	13.54
1993 - 2007	年变化量/km <sup>2</sup>	16.77	1.54	1.90	- 3.06	- 13.55	- 4.57	0.97
	动态度/%	17.77	0.43	1.38	- 3.61	- 1.70	- 5.76	1.76

2 土地利用 / 土地覆盖变化状况

经过对重庆主城区的遥感影像解译以及数据处理,分别统计出重庆主城区在 1978 年、1993 年和 2007 年的各类土地利用现状面积以及土地利用变化情况(如表 3 所示),可以发现:(1)1978 - 1993 年,重庆主城区土地利用结构发生了一些变化,灌木林地增加幅度最大,由 1978 年的 36.41 km<sup>2</sup> 增加到了 1993 年的 798.36 km<sup>2</sup>,增加了 761.95 km<sup>2</sup>,平均每年增加 50.80 km<sup>2</sup>,其动态度为 139.50%。其次建设用地由 53.47 km<sup>2</sup> 增加到了 94.33 km<sup>2</sup>,平均每年增加 2.72 km<sup>2</sup>。

间变化对 VC 变化的依赖程度。CS 的含义是指 VC 变动 1% 引起 ESV 的变化情况,如果 CS > 1,说明 ESV 对 VC 是富有弹性的;反之说明 ESV 对 VC 是缺乏弹性的,其比值越大,表明 VC 的准确性越关键。本文通过分别调整 50% 的 VC 来计算 CS,从而来说明 ESV 对 VC 的敏感程度。敏感性指数计算公式为:

$$CS = \frac{(ESV_j - ESV_i) / ESV_i}{(VC_{jk} - VC_{ik}) / VC_{ik}} \quad (3)$$

式中:ESV, VC, k 的含义同前; i, j ——代表初始价值和调整生态价值系数以后的价值。

水田面积在 1978 - 1993 年间减少量最为显著,由 653.78 km<sup>2</sup> 减少到 84.79 km<sup>2</sup>,减少了 568.99 km<sup>2</sup>,平均每年减少 37.93 km<sup>2</sup>,其动态度为 - 5.80%。

另外旱地和有林地减少量也较多,分别由 476.59 km<sup>2</sup> 和 221.63 km<sup>2</sup> 减少到 362.96 km<sup>2</sup> 和 137.96 km<sup>2</sup>,分别减少了 113.63 km<sup>2</sup> 和 83.67 km<sup>2</sup>。未利用地和水体也有所减少,分别减少了 14.84 km<sup>2</sup> 和 21.65 km<sup>2</sup>,平均每年减少 0.99 km<sup>2</sup> 和 1.44 km<sup>2</sup>。但是由于未利用地和水体本身的面积很小,所以其影响在整个研究区域内并不明显。(2)1993 - 2007 年,主城区土地利用结构变化剧烈。特别是

建设用地的变化幅度,由 1993 年的 94.33 km<sup>2</sup> 增加到 2007 年的 329.07 km<sup>2</sup>,增加了 234.74 km<sup>2</sup>,其增加量是前一时段增加量的近 6 倍,平均每年增加 16.77 km<sup>2</sup>,其动态度为 17.77%。其次旱地、有林地和水体也有所增加,分别增加了 21.6 km<sup>2</sup>、26.59 km<sup>2</sup> 和 13.54 km<sup>2</sup>。1993 - 2007 年间,灌木林地呈现大量减少的趋势,由 798.36 km<sup>2</sup> 减少到 608.72 km<sup>2</sup>,减少了 189.64 km<sup>2</sup>,平均每年减少 13.55 km<sup>2</sup>,其动态度为 -1.70%。另外水田和未利用地也有所减少,分别减少了 42.84 km<sup>2</sup> 和 64.01 km<sup>2</sup>,平均每年减少 3.06 km<sup>2</sup> 和 4.57 km<sup>2</sup>,其动态度为 -3.61% 和 -5.76%。

将两个时段的土地利用动态度进行对比,可以

表 4 1978 - 2007 年重庆主城区生态服务价值变化

亿元

年代	统计类型	建设用地	旱地	有林地	水田	灌木林	未利用地	水体	合计
1978 年	生态服务价值	-0.29	2.91	4.28	4.00	0.70	0.03	3.09	14.74
1993 年	生态服务价值	-0.51	2.22	2.67	0.52	15.44	0.03	2.22	22.58
2007 年	生态服务价值	-1.77	2.35	3.18	0.26	11.77	0.01	2.76	18.56
1978 - 1993	变化量	-0.22	-0.69	-1.62	-3.48	14.73	-0.01	-0.87	7.84
1993 - 2007	变化量	-1.26	0.13	0.51	-0.26	-3.67	-0.02	0.55	-4.02
1978 - 2007	变化量	-1.48	-0.56	-1.10	-3.74	11.07	-0.03	-0.33	3.82
1978 - 1993	年变化率/ %	-0.01	-0.05	-0.11	-0.23	0.98	0.00	-0.06	0.52
1993 - 2007	年变化率/ %	-0.09	0.01	0.04	-0.02	-0.26	0.00	0.04	-0.29
1978 - 2007	年变化率/ %	-0.05	-0.02	-0.04	-0.13	0.38	0.00	-0.01	0.13

### 3.1 土地利用变化引起生态系统服务价值变化

对土地利用变化的环境效应的定量分析,根据重庆主城区生态系统服务价值系数(表 2)和各土地利用类型面积(表 3),计算出研究区的生态系统服务价值来定量化分析生态环境质量相对土地利用变化的演变。

由表 4 可以看出:1978 年重庆主城区生态系统服务总价值为 14.73 亿元,1993 年为 20.95 亿元,2007 年为 18.56 亿元,1978 - 1993 年生态系统服务价值增长了 6.22 亿元,而 1993 年后生态系统服务价值减少了 2.39 亿元。其中建设用地和水田在两个时段内呈持续减少,近 30 a 间共减少了 1.48 亿元

发现,后期土地利用变化的剧烈程度远大于前期的变化程度,这说明在重庆成为直辖市之后,加大了经济投资力度,城市建设的高速增长,占用了城市周边的大量林地和耕地,使得林地出现大幅度减少,耕地继续呈减少趋势。

### 3 土地利用 / 土地覆盖的生态环境效应分析

近几十年来,不合理的土地利用所引起的生态环境问题日益突出,土地利用变化的生态环境效应研究开始受到人们的关注。土地利用的环境效应存在正负两个方面,其中负面的环境效应相对更加突出,是土地利用环境效应研究的主要内容<sup>[14]</sup>。

和 3.74 亿元。灌木林在前期大幅度的增长 14.73 亿元后在后期也出现了减少的趋势。旱地和有林地在两个时段也分别共减少了 0.56 亿元和 1.10 亿元。生态系统服务价值的变化说明是重庆直辖后,城市建设力度加大,建成区面积不断扩大,侵占大量林地和耕地(旱地和水田),使得生态系统服务价值总量在 1978 - 1993 年间呈增长后在 1993 - 2007 年间出现减少。从各种土地利用类型引起的生态系统服务价值变化来看,近年来重庆主城区内建设用地增加,旱地和水田显著减少,生态系统服务价值减少。30 a 间土地利用结构的变化从生态服务价值角度判断为不可持续。

表 5 1978 - 2007 年重庆主城区生态系统服务价值和敏感性指数

年份	统计类型	耕地		林地		未利用地		水体		建设用地	
		VC+	VC-	VC+	VC-	VC+	VC-	VC+	VC-	VC+	VC-
		50 %	50 %	50 %	50 %	50 %	50 %	50 %	50 %	50 %	50 %
1978	生态服务价值 / 亿元	18.19	11.28	17.23	12.24	14.75	14.71	16.28	13.19	14.59	14.88
2007	生态服务价值 / 亿元	19.86	17.25	26.03	11.08	18.56	18.55	19.94	17.18	17.67	19.44
1978	敏感性指数	0.47		0.34		0.18		0.21		0.02	
2007	敏感性指数	0.14		0.81		0.0003		0.17		0.10	

注:耕地为旱地和水田之和,林地面积为有林地和灌木林之和。

### 3.2 生态服务价值敏感性评价

应用上述敏感性指数的计算方法,对不同土地利用类型的生态服务价值系数分别下调整 50%,计算出研究区的敏感性指数  $CS$ ,如表 5。结果表明:各种情况下,价值系数的敏感性指数  $CS$  都小于 1,最低值为 0.000 3,即当未利用地生态价值系数增加 1%时,总价值增加 0.000 3%;最高值为 0.81,即林地生态系统服务价值系数增加 1%,总价值增加 0.81%。这说明,主城区生态系统服务价值对于生态服务价值系数的变化是缺乏弹性的,研究结果可信。

## 4 结论与讨论

(1) 根据重庆主城区 1978 年、1993 年、2007 年 3 期土地利用数据,分析了主城区近 30 年土地利用状况,参照 Costanza 及谢高地等提出的相关生态系统的生态系统服务价值,确定出重庆主城区的生态系统服务价值系数,并估算了土地利用变化所引起的主城区生态系统服务价值的变化。结果表明,本文所选用的生态价值系数是比较合理的,以土地利用/覆被变化为基础研究生态系统服务价值动态是可行的。

(2) 重庆主城区近 30 a 间,城市建设用地面积由 53.47 km<sup>2</sup> 增加到 329.07 km<sup>2</sup>,增加了 6 倍多,特别是 1993 - 2007 年,城市建设用地面积增加量占总增加量的 85.17%。水田面积持续减少,总减少量为 611.83 km<sup>2</sup>。灌木林在前期大幅度增加后也有相当量向城市建设用地转化。生态系统总服务价值由 1978 年的 14.74 亿元增加到 1993 年的 22.58 亿元,生态环境朝着好的方向发展。但 1993 - 2007 年,生态系统总服务价值减少到了 18.56 亿元,其中灌木林生态系统服务价值的减少最为显著,占了总服务价值减少量的 70.44%,另外水田生态系统服务价值的持续减少对生态系统服务总价值减少也有一定影响。这表明重庆成为直辖市后,城市建设速度加快,占用了城市周边的大量林地和耕地,特别是林地的大面积减少,导致生态系统受到严重影响,今后应加强城市退耕还林措施的实施及环境保护、城市绿化等工作的有效开展。

(3) 重庆成为直辖市以来,由于城市建设的高速发展致使区内生态系统价值有较大幅度的降低,生态系统受到严重影响。如不根据实际情况采取措

施,土地利用变化所产生的生态环境效应会持续恶化,危及区内的生态环境安全。本文对 1978 - 2007 年研究区因土地利用类型时间变化而导致的 ESV 变化进行了初步探讨,并做了定量分析,但没有对 ESV 变化空间差异进行讨论,这是今后应继续加强研究的方面。

### 参考文献:

- [1] Bolund P, Hunhammar S. Ecosystem services in urban areas[J]. *Ecological Economics*, 1999, 29: 293-301.
- [2] Bjorklund J, Limburg K, Rydberg T. Impact of production intensity on the ability of the agricultural landscape to generate ecosystem services: an example from Sweden[J]. *Ecological Economics*, 1999, 29: 269-291.
- [3] Holmund C, Hammer M. Ecosystem services generated by fish populations[J]. *Ecological Economics*, 1999, 29: 253-268.
- [4] 郭玉双, 臧淑英. 土地利用变化生态环境效应研究方法探讨[J]. *黑龙江科技信息*, 2008(33): 111.
- [5] 张健. 安徽东部地区土地利用变化的生态环境效应评价[J]. *安徽农业大学学报*, 2008, 35(3): 352-358.
- [6] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局和中国国家标准化管理委员会. 土地利用现状分类[Z]. 2007.
- [7] 曾志远, 潘贤章. 数字卫星图像分类和航空像片目视判读所确定的地面覆盖和土地利用类型面积的初步比较[J]. *土壤学报*, 2004, 41(5): 810-814.
- [8] Chavez P S, Berlin G L, Sower L B. Statistical method for selecting Landsat MSS ratios[J]. *Journal of Applied Photographic Engineering*, 1982, 8(1): 22-30.
- [9] 刘琳. 基于 RS 和 GIS 的合肥市土地利用变化分析[J]. *合肥工业大学学报*, 2008, 31(10): 1684-1687.
- [10] 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: 253-260.
- [11] 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.
- [12] 张凤太, 苏维词, 赵卫权. 基于土地利用/覆被变化的重庆城市生态系统服务价值研究[J]. *生态与农村环境学报*, 2008, 24(3): 21-25, 50.
- [13] 王宗明, 张树清, 张柏. 土地利用变化对三江平原生态系统服务价值的影响[J]. *中国环境科学*, 2004, 24(1): 125-128.
- [14] 杨凤亭, 刘纪远, 庄大方, 等. 中国东南红壤丘陵区土地利用变化的生态环境效应研究进展[J]. *地理科学进展*, 2004, 23(5): 43-55.