

# 重庆市三峡库区水源涵养重要功能区 生态系统服务功能时空演变特征

齐 静<sup>2</sup>, 袁兴中<sup>1,2</sup>, 刘 红<sup>1,2</sup>, 邓 伟<sup>1,2</sup>

(1. 重庆大学 资源及环境科学学院, 重庆 400044; 2. 煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室, 重庆 400044)

**摘 要:** [目的] 揭示重庆市三峡库区水源涵养重要功能区 2000—2010 年生态系统服务功能的时空演变特征, 为其生态环境的可持续性管理提供依据。[方法] 在 RS 和 GIS 技术支撑下, 选择生物多样性维持、土壤保持、水源涵养和碳固定 4 项生态系统服务功能建立评估模型。[结果] (1) 10 a 间, 研究区生态系统服务功能高等级面积增加了 386.14 km<sup>2</sup>; (2) 各单项服务功能中, 水源涵养功能高等级面积增加了 4 016.4 km<sup>2</sup>, 土壤保持功能高、较高和中等等级面积分别增加了 516.2 km<sup>2</sup>, 2 825.9 km<sup>2</sup> 和 2 493.8 km<sup>2</sup>; (3) 空间分布显示, 生态系统服务功能较好的区域主要集中于开县北部、巫山县北部、奉节县南部以及长江干流支流两岸和区内植被覆盖较好的山脊(呈带状分布); 生态系统服务功能较差的区域主要分布于长寿、垫江、梁平地势较平缓地区和开县、云阳、奉节、巫山地势陡峭、地质灾害多发地区。[结论] 研究区内生物多样性维持功能、水源涵养功能 10 a 间总体呈上升趋势, 土壤保持功能、固碳功能总体较差, 但两者呈上升趋势, 好转区域主要集中于季节性水位淹没形成新生湿地的长江干流沿岸。

**关键词:** 重庆三峡库区; 水源涵养重要区; 生态系统服务功能; 时空格局

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)03-0256-05

中图分类号: F062.2

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.03.053

## Spatiotemporal Characteristics of Ecosystem Service in Key Water Resource Conservation Function Area of Three Gorges Area in Chongqing City

QI Jing<sup>2</sup>, YUAN Xingzhong<sup>1,2</sup>, LIU Hong<sup>1,2</sup>, DENG Wei<sup>1,2</sup>

(1. College of Resources and Environment Science, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. State Key Laboratory of Coal Mine Disaster Dynamics and Control, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** [Objective] To reveal the spatial-temporal changes of the ecosystem services in the key ecological functional reservoir of the Three Gorges area in Chongqing from 2000 to 2010, in order to provide basis for the sustainable management of ecological environment in the Three Gorges area. [Methods] Based on RS and GIS techniques, four major ecosystem services including biodiversity maintenance, soil conservation, water conservation and carbon fixation were used to establish the evaluation models. [Results] (1) During the decade, the high level area of the functional ecosystem services in the research area increased by 386.14 km<sup>2</sup>. (2) For each single ecosystem service function, the high level of the water conservation increased by 4 016.4 km<sup>2</sup>; the high, relatively high and medium level of the soil conservation increased by 516.2 km<sup>2</sup>, 2 825.9 km<sup>2</sup> and 2 493.8 km<sup>2</sup> respectively. (3) From the spatial distribution, the better functional areas of the ecosystem services were mostly distributed in the north of Kaixian County, the north of Wushan County, the South of Fengjie County, and both sides of the tributaries of the Yangtze River and the region of the strap shaped ridge covered with better vegetation. The poorer functional regions of the ecosystem services were mostly distributed in Changshou County, Dianjiang County, the flat terrain areas of Liangping, steep terrain and ecological disaster-prone areas of Kaixian, Yunyang, Fengjie, Wushan Counties. [Conclusion] During the decade, the biodiversity maintenance function and the water conservation trend to rise; the soil conservation and the carbon fixation function are generally poor, but both are on the rise trend; the area of improvement is distributed in the new wetlands on both sides of the trunk stream of the Yangtze River formed by seasonal water inundation.

收稿日期: 2014-04-24

修回日期: 2014-05-19

资助项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2013ZX07104-004-05); 国家环保部重大科技专项“重庆市生态环境十年变化(2000—2010)遥感调查与评估”(0222002605056)

第一作者: 齐静(1989—), 女(汉族), 重庆市沙坪坝人, 硕士研究生, 研究方向为环境遥感。E-mail: QIJING20122002001@163.com。

通信作者: 袁兴中(1963—), 男(汉族), 四川省万源市人, 博士, 教授, 博导, 主要从事生态系统生态学研究。E-mail: zxyuan63@aliyun.com。

**Keywords:** the Three Gorges reservoir area in Chongqing; important area of water resource conservation; ecosystem service function; spatial-temporal pattern

生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存和发展的自然环境条件与效用<sup>[1]</sup>。它不仅为人类提供了食品、医药及其他生产生活原料,更重要的是维持了人类赖以生存的生命支持系统<sup>[2]</sup>。1997年, Costanza 等<sup>[3]</sup>首次对全球生态系统服务的自然资本价值进行了估算。目前,国内外开展了一系列生态系统服务功能价值评价, De Groot 等<sup>[4]</sup>将生态系统服务功能分类,研究各生态服务功能的经济学价值;谢高地等<sup>[5]</sup>对我国陆地生态系统服务功能与价值进行了研究,并提出了我国生态服务价值评估的当量因子法;袁兴中等<sup>[6]</sup>从土地利用角度分析研究了成渝经济区生态系统服务功能价值。但这些研究绝大多数都局限于对单一生态系统服务功能研究,缺乏对生态系统服务功能综合性评估,在研究方法上多限于利用土地利用类型单位面积价值对生态系统服务功能进行静态估算,对生态系统服务功能时空动态研究较少。

三峡库区水源涵养重要功能区是 2008 年《全国生态功能区划》划定的对国家生态安全具有重要意义的重要生态功能区,其主要生态系统服务功能包括水源涵养、土壤保持、生物多样性保护等。三峡工程 2003 年开始 139 m 蓄水,2010 年完成 175 m 蓄水,蓄水后三峡库区生态环境发生了较大变化,其生态系统服务功能的时空动态是全世界关注的焦点问题。基于此,本文根据对 2000, 2005, 2010 年遥感影像的分析,研究三峡库区水源涵养重要功能区在生物多样性维持功能、土壤保持功能、水源涵养功能、固碳功能的时空动态变化,以揭示三峡工程运行前后三峡库区这一重要生态功能区的生态系统服务功能时空演变特征,为三峡库区生态环境的可持续管理提供依据。

## 1 研究区域概况

重庆市三峡库区水源涵养重要生态功能区位于重庆市东北部,三峡库区腹心地带,包括巫山、奉节、云阳、开县(除去北部山区)、万州、忠县、梁平、垫江、

长寿、涪陵、石柱(沿长江的乡镇)、丰都(除去南部的南天湖所在的乡镇)12 个区县,总面积 28 996.3 km<sup>2</sup>,占三峡库区总面积的 62.82%。区内地形以低山和丘陵为主,平均海拔 453~974 m,最高点阴条岭;土壤以紫色土、石灰土、黄壤为主;该区地处中亚季风湿润气候区,降雨强度大,是三峡水库水环境保护的重要区域。区内 2010 年常住人口 1.011 7×10<sup>7</sup> 人,人口密度 302.58 人/km<sup>2</sup>,城镇化率 38.12%。

## 2 研究方法 with 数据来源

### 2.1 研究方法

2.1.1 生物多样性维持功能评估方法 本研究依据《生态功能区划暂行规程》<sup>[7]</sup>以及凡非得等<sup>[8]</sup>对生物多样性重要地区评价分级的研究,结合重庆市三峡库区水源涵养重要功能区的实际生态环境情况,确定生物多样性重要性等级划分(表 1)。

表 1 生物多样性重要性等级

生物多样性指标	重要性
森林(包括自然保护区),物种丰富	极重要
湿地、灌丛等,植被茂密、物种多样	较重要
草地,植被覆盖较高	中等重要
耕地,植被覆盖较低	较不重要
裸露地、人工表面,生态环境质量较差,物种较少	不重要

2.1.2 水源涵养功能评估方法 本研究采用降水贮存量法计算水源涵养功能<sup>[9]</sup>,即用生态系统的蓄水效应来衡量其涵养水分功能,公式如下:

$$Q = A \cdot J \cdot R \tag{1}$$

$$J = J_0 \cdot K \tag{2}$$

式中:Q——与裸地相比较,各生态系统涵养水分的增加量 [mm/(hm<sup>2</sup>·a)]; A——生态系统面积 (km<sup>2</sup>); J——研究区多年均产流降雨量 (mm); J<sub>0</sub>——研究区多年均降雨总量 (mm); K——研究区产流降雨量占降雨总量的比例,研究区位于南方区,根据降雨特征南方区 K 取 0.6<sup>[10]</sup>; R——与裸地比较,生态系统减少径流的效益系数(表 2)<sup>[11-13]</sup>。

表 2 研究区生态系统类型 R 值

土地类型	R	土地类型	R	土地类型	R	土地类型	R
常绿阔叶林	0.39	水库/坑塘	0.45	常绿灌木林	0.3	裸土	0.1
落叶阔叶林	0.34	河流	0.45	落叶灌木林	0.25	稀疏植被	0.2
常绿针叶林	0.36	沼泽	0.38	园地	0.3		
落叶针叶林	0.3	水田	0.42	草甸	0.25		
针阔混交林	0.34	旱地	0.15	草丛	0.2		

2.1.3 土壤保持功能评估方法 以通用土壤流失方程 USLE 为理论基础<sup>[14]</sup>,建立降雨侵蚀力、土壤可蚀性、坡长坡度和地表植被覆盖等指标体系获取潜在和实际土壤侵蚀量,以两者的差值,即土壤保持量来评价生态系统土壤保持功能的强弱,计算公式(3)。

$$SC=R \cdot K \cdot LS \cdot (1-C \cdot P) \quad (3)$$

式中:SC——土壤保持量;R——降雨侵蚀力因子,根据气象数据计算得到;K——土壤土壤可蚀性因子,参考吴昌广等<sup>[15]</sup>研究成果制定(表 3);L,S——坡长和坡度因子,利用 DEM 在 ArcGIS 软件中获取;C,P——植被覆盖与管理,即水土保持措施因子,参

考张照录、张岩等人研究结果<sup>[16-17]</sup>,并征询专家意见,结合重庆市实际情况,确定 C,P 值(表 4)。

表 3 研究区部分土壤类型 K 值

土类	K 值	土类	K 值
红壤	0.007 5	石灰土	0.017 1
黄壤	0.015 6	紫色土	0.018 4
黄棕壤	0.016 8	粗骨土	0.007 7
黄褐土	0.019 2	山地草甸土	0.017 6
棕壤	0.007 2	水稻土	0.018 5
暗棕壤	0.011 3		

表 4 研究区植被覆盖(C)与管理(P)因子值

项目	森林	灌丛	园地	水田	旱地	水域	城市及建设用地	裸地	草地
C 因子	0.005	0.099	0.180	0.180	0.228	0.000	0.000	1.000	0.112
P 因子	1.000	1.000	0.690	0.150	0.352	0.000	0.010	1.000	1.000

2.1.4 固碳功能评估方法 本研究根据土地利用类型、碳库类型评价生态系统碳固定功能<sup>[18-19]</sup>。计算公式(4):

$$C_{ij\_storage} = C_{ij\_above} \cdot S_{ij} + C_{ij\_below} \cdot S_{ij} + C_{ij\_soil} \cdot S_{ij} + C_{ij\_dead} \cdot S_{ij} \quad (4)$$

式中: $C_{ij\_storage}$ ——第 j 种土地利用类型栅格 i 的碳贮量; $C_{ij\_above}$ ——第 j 种土地利用类型栅格 i 单位面积乔木层碳贮量; $C_{ij\_below}$ ——第 j 种土地利用类型栅格 i 单位面积灌木层和草本层碳贮量; $C_{ij\_soil}$ ——第 j 种土地利用类型栅格 i 单位面积土壤碳贮量; $C_{ij\_dead}$ ——第 j 种土地利用类型栅格 i 单位面积凋落物层碳贮量; $S_{ij}$ ——第 j 种土地利用类型栅格 i 的面积。

2.1.5 生态系统服务功能综合评估 本研究在 ArcGIS 空间分析功能支持下,采用多因子融合模型对重庆市三峡库区水源涵养重要功能区生态系统服务功能进行综合评价,计算公式(5)为:

$$SS_i = \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 S_i} \quad (5)$$

式中:SS<sub>i</sub>——综合生态系统服务功能指数;S<sub>i</sub>——i 因子生态系统服务功能等级值,根据公式(6)获取,在指标和重要性评价分级时,采用 ArcGIS 空间分析功能中的自然分类法<sup>[20]</sup>。

2.1.6 重要性等级划分方法 本研究将评价的生态系统服务功能结果值做离差标准化处理,使结果值落在[0,1]之间,计算公式为:

$$S_x^* = (S_x - S_{min}) / (S_{max} - S_{min}) \quad (6)$$

式中:S<sub>max</sub>——栅格影像的最大值;S<sub>min</sub>——栅格影像的最小值。运用 ArcGIS 软件将标准化后的值以 0.2

为间隔重新分为低、较低、中、较高、高 5 大等级。

## 2.2 数据来源及预处理

(1) 2000,2005 和 2010 年 3 期 8 月份 Landsat TM/ETM 面向对象最大似然法分类的土地覆盖数据,经过野外核实验证,分类精度为 88.05%,数据来源为《全国生态环境十年变化(2000—2010 年)遥感调查与评估项目》提供;土地类型分为 7 个一级类型(森林、灌丛、草地、湿地、农田、人工表面和裸露地)和 21 个二级类型;(2) MODIS—MOD12 A1 产品空间分辨率 250 m 的 NDVI 数据;(3) 2012 年重庆市森林资源二调数据图;(4) 重庆市自然保护区、森林公园、风景名胜区、湿地公园分布图;(5) 重庆市 1:50 000 数字高程模型(DEM);(6) 重庆市 1:25 万土壤类型分布图;(7) 重庆市 2000—2010 年 34 个气象站点各气象要素统计数据,在 ARCGIS 地统计模块(Geostatistical Analyst)下,进行数据正态分析后利用交叉验证选择最优插值模型。从测试模型来看,重庆市气象数据最优插值模型为普通克里格插值法。对插值结果结合 DEM 进行高程校正,以优化不同海拔高度的插值精度,裁剪后得到研究区投影坐标以及像元大小均与 EVI 数据一致的栅格图像。(8) 其他辅助数据,如行政区划图、水系分布图等。所有数据均转换为统一坐标与投影系统(Albers),数据格式为 grid 的栅格数据参与空间运算,栅格像元大小均为 25 m×25 m。

## 3 结果与分析

### 3.1 生物多样性维持功能及时空变化

重庆市三峡库区水源涵养重要功能区的生物多

样性维持功能总体空间差异性较大,其以高等级和较低等级分布较多。生物多样性维持功能高等级主要分布于研究区东部的巫山县、奉节县、云阳县、开县境内以及西南部中山及中部丘陵地区;较低等级主要分布于研究区中部的万州区、梁平县、忠县和西南部的

垫江县、长寿区和涪陵区内,主要位于长江干流及其支流的谷地、山间槽谷及盆地(附图8)。从变化趋势上看,总体生态服务功能呈上升趋势,高等级面积10 a间增加了118.4 km<sup>2</sup>,较低等级面积下降了870.5 km<sup>2</sup>(表5)。

表5 生态系统生物多样性维持功能变化特征

年份	统计参数	生物多样性维持功能				
		高	较高	中	较低	低
2000	面积/km <sup>2</sup>	9 911.6	4 909.7	3 091.1	10 579.7	361.1
2005	面积/km <sup>2</sup>	9 962.7	5 055.1	3 103.5	10 246.1	485.7
2010	面积/km <sup>2</sup>	10 030.0	5 165.5	3 080.9	9 709.2	867.6
2000—2010	变化量/km <sup>2</sup>	118.4	255.8	-10.2	-870.5	506.5
	变化率/%	0.41	0.88	-0.03	-3.02	1.76

### 3.2 水源涵养功能及时空变化

重庆市三峡库区水源涵养重要功能区生态系统水源涵养功能空间分布差异较大,其较高等级和低等级均分布较多。

水源涵养功能较高等级分布于研究区的中山,主要位于七曜山、方斗山、黄草山、精华山等;中等级主

要分布于长江沿岸,及较高等级周边。从变化趋势看,高等级面积2000—2010呈上升趋势,10 a间增加了4 016.4 km<sup>2</sup>;较高等级面积2000—2010年呈下降趋势,10 a间减少了5 017.8 km<sup>2</sup>;中等级面积10 a间增加了901.3 km<sup>2</sup>;但10 a间,整体呈上升趋势(表6)。

表6 生态系统水源涵养功能分级特征

年份	统计参数	水源涵养功能				
		高	较高	中	较低	低
2000	面积/km <sup>2</sup>	1 013.7	19 033.5	1 075.1	2 914.6	4 658
2005	面积/km <sup>2</sup>	1 297.0	18 729.9	1 071.4	2 923.1	4 543.0
2010	面积/km <sup>2</sup>	5 030.1	14 015.7	1 976.4	2 638.9	4 515.7
2000—2010	变化量/km <sup>2</sup>	4 016.4	-5 017.8	901.3	-275.7	-142.3
	变化率/%	14.00	-17.49	3.14	-0.96	-0.50

### 3.3 土壤保持功能及时空变化

重庆市三峡库区水源涵养重要功能区土壤保持功能总体较差,以较低等级和中等级分布为主,但10 a间总体呈逐渐增强趋势。较低和低等级面积10 a

间分别减少了5 086.9 km<sup>2</sup>和748.9 km<sup>2</sup>;高、较高和中等级面积分别增加了516.2 km<sup>2</sup>,2 825.9 km<sup>2</sup>和2 493.8 km<sup>2</sup>(表7)。改善的区域主要集中在长江干流两侧(附图9)。

表7 生态系统土壤保持功能评价分级特征

年份	统计参数	土壤保持功能				
		高	较高	中	较低	低
2000	面积/km <sup>2</sup>	198.3	1 456.2	6 904.6	18 903.4	1 322.7
2005	面积/km <sup>2</sup>	328.4	1 546.9	6 724.7	18 633.9	1 551.4
2010	面积/km <sup>2</sup>	714.5	4 282.1	9 398.4	13 816.5	573.8
2000—2010	变化量/km <sup>2</sup>	516.2	2 825.9	2 493.8	-5 086.9	-748.9
	变化率/%	1.79	9.82	8.66	-17.67	-2.60

### 3.4 固碳功能及时空变化

重庆市三峡库区水源涵养重要功能区固碳功能总体较差,分布以中和较低等级为主。中等级主要集中于分布于长江干流沿岸,由于季节性水位淹没形成的

新生湿地地区;较低等级分布于涪陵区、万州区等沿江区域。从变化趋势看,较低等级面积减少了867.59 km<sup>2</sup>,增强区域主要集中在奉节和云阳县境内(表8)。

表 8 生态系统固碳功能分级特征

年份	统计参数	固碳功能				
		高	较高	中	较低	低
2000	面积/km <sup>2</sup>	2 109.192	2 303.229	3 194.756	21 086.77	158.544 8
2005	面积/km <sup>2</sup>	2 421.917	2 549.591	3 553.338	19 865.61	461.613 2
2010	面积/km <sup>2</sup>	2 245.373	2 382.326	3 323.823	20 219.18	681.601 5
2000—2010	变化量/km <sup>2</sup>	136.181	79.097	129.067	-867.59	523.056 7
	变化率/%	0.47	0.28	0.45	-3.00	1.81

### 3.4 生态系统服务功能综合分析

重庆市三峡库区水源涵养重要功能区综合生态系统服务功能总体较好,空间差异性较大,以中等等级和较高等级分布为主,整体呈好转趋势。生态系统服务功能较好的区域主要集中于开县北部、巫山县北部,奉节县南部以及长江干流支流两岸和区内植被覆盖较好的山脊带状分布,如七曜山、方斗山、黄草山、精华

山等;该区域生物多样性维持功能、土壤保持功能、水源涵养功能、固碳功能也较好(附图 10)。生态系统服务功能较差的区域主要分布于长寿、垫江、梁平地势较平缓地区和开县、云阳、奉节、巫山地势陡峭、地质灾害多发地区。从变化趋势看,10 a 间,高等级面积增加了 386.14 km<sup>2</sup>;中等级面积增加了 423.75 km<sup>2</sup>;较低等级面积减少了 588.84 km<sup>2</sup>(表 9)。

表 9 综合生态系统服务功能分级特征

年份	统计参数	生态服务功能				
		高	较高	中	较低	低
2000	面积/km <sup>2</sup>	1247.28	6691.01	15598.5	5197.89	163.03
2005	面积/km <sup>2</sup>	1946.78	7328.13	16797.62	2595	230.16
2010	面积/km <sup>2</sup>	1633.42	6483.79	16022.25	4609.05	149.17
2000—2010	变化量/km <sup>2</sup>	386.14	-207.22	423.75	-588.84	-13.86
	变化率/%	1.34	-0.72	1.47	-2.04	-0.05

## 4 结论与讨论

(1) 重庆市三峡库区水源涵养重要功能区综合生态系统服务功能总体较好、空间差异性较大,整体呈好转趋势,说明近年来三峡库区实施的各项生态工程对抑制三峡库区生态环境恶化起到了积极作用。研究区内生物多样性维持功能、水源涵养功能 10 a 间总体呈上升趋势,土壤保持功能、固碳功能总体较差,但两者呈上升趋势,好转区域主要集中于季节性水位淹没形成新生湿地的长江干流沿岸。

(2) 研究区生态系统服务功能主要受自然环境因素和人为因素的影响。从自然环境因素可知,三峡库区地形起伏剧烈,山地、丘陵、谷地交错分布,山川走向、坡向坡度及气候垂直变化造成该地区自然资源条件差异极大;分析人为因素可知,三峡工程建设中巨大的人工干扰,快速城镇化和大量增加的交通、能源、水利基础设施建设、资源开发利用以及生产活动对生态环境的破坏,对研究区生态系统服务功能造成影响。近年来库区内开展实施生态搬迁的环境管理制度,加大退耕还林及天然林保护力度,优化乔灌草植被结构和库岸防护林带建设,是生态系统服务功能呈上升趋势的主要原因。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Ouyang Zhiyun, Wang Xiaoke, Miao Hong. A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values[J]. Acta Ecologica Sinica, 1998,19(5):607-613.
- [2] Kreuter U P, Harris H G, Matlock M D, Ronald E L. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas[J]. Ecological Economics, 2001, 39(3): 333-346.
- [3] Costanza R, d'Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Ecological Economics, 1998,25(1):3-15.
- [4] De Groot R S, Wilson M A, Boumans R M J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services[J]. Ecological Economics, 2002,41(3):393-408.
- [5] 谢高地,鲁春霞,肖玉,等. 青藏高原草地生态系统服务功能价值评估[J]. 山地学报,2003,21(1):50-55.
- [6] 袁兴中,肖红艳,颜文涛,等. 成渝经济区土地利用与生态服务价值动态分析[J]. 生态学杂志,2012,31(1):180-186.
- [7] 国务院西部开发办领导小组办公室. 生态功能区划暂行规程[Z]. 北京:国家环境保护总局,2002.

(下转第 266 页)

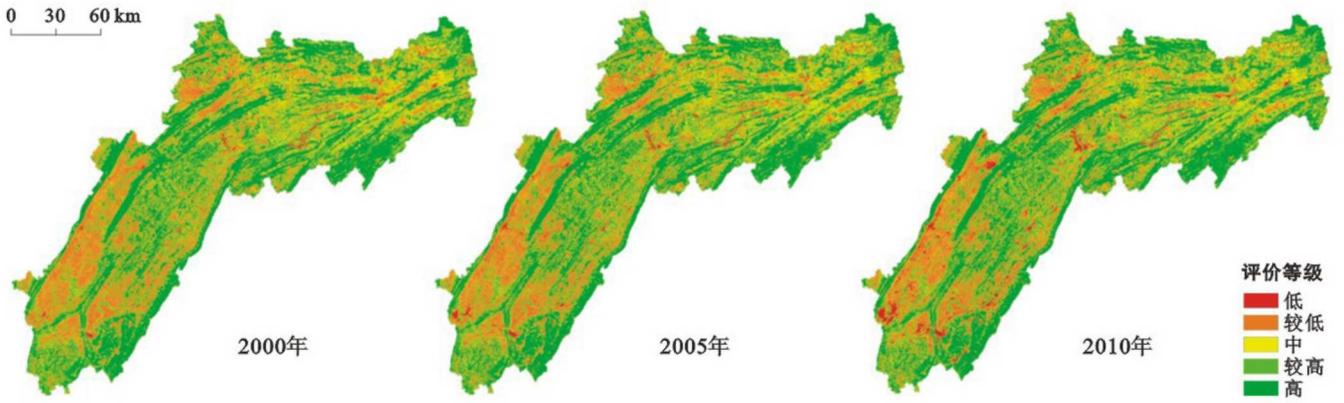
等地雪灾风险最低。川西高原地区冬半季降雪量的多少、降雪强度、土地利用状况、第一产业类型等是影响雪灾的主要因素。

基于自然灾害风险评价基础理论,在分析雪灾时空特征的基础上,尝试性构建了雪灾风险评价指标体系,运用自然灾害风险指数法结合 GIS 空间分析技术对川西高原雪灾风险进行评价,使雪灾风险空间分布状况得到具体表达,这对当地农牧业的发展、结构的调整与布局具有一定的参考价值,能够为区域防灾减灾提供理论参考。雪灾的成因复杂,不同的地域具有不同的自然、社会环境特征,雪灾的时空分布特征各异,所造成的损失也不一样。本文仅针对川西高原地区的雪灾问题作了初步探讨。由于数据资料的缺乏与限制,川西高原雪灾分析是以县为行政单元进行的,为了更好地为灾害相关管理部门提供更具体的决策依据,可进一步以乡镇为单元进行雪灾风险研究。雪灾的形成受到多种因素的影响。本文仅考虑了当地的地理环境、气候特征、土地利用、经济状况、人口分布等特征,雪灾还受到大气环流异常的影响,因此,该评价指标体系还有待于进一步完善,以融入更多的指标要素,使评价结果更加合理。

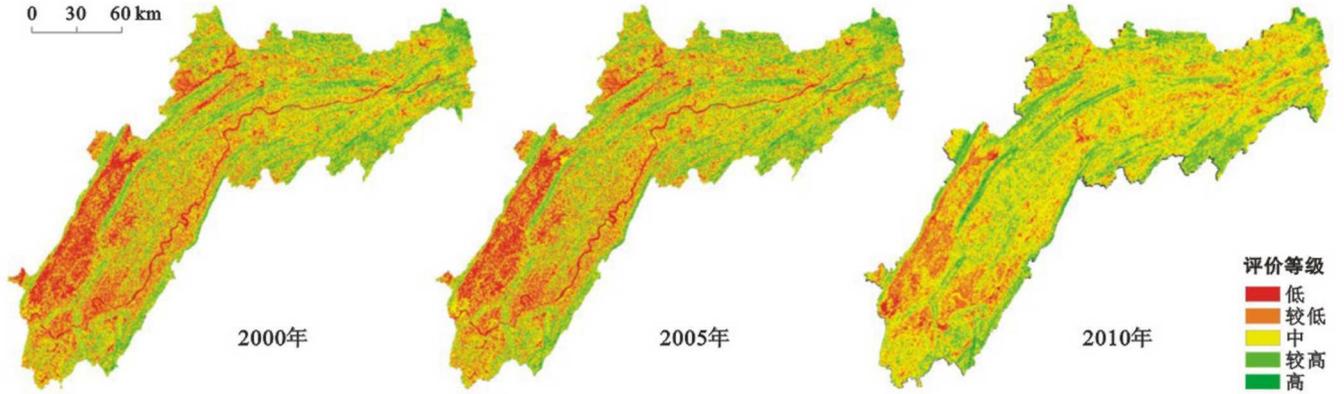
#### [参 考 文 献]

- [1] 张校玮. 我国极端气候时空特征及风险分析[D]. 上海: 上海师范大学, 2012: 1-2.
- [2] 黄晓清, 杨勇, 石磊. 西藏高原不同时段雪灾的空间分布及大气环流特征[J]. 中国沙漠, 2013, 33(2): 396-402.
- [3] 李红梅, 李林, 高歌, 等. 青海高原雪灾风险区划及对策建议[J]. 冰川冻土, 2013, 35(3): 656-661.
- [4] 白媛, 张兴明, 徐品泓. 青海省畜牧业雪灾风险评价研究[J]. 青海师范大学学报: 自然科学版, 2011, 1(1): 71-77.
- [5] 刘兴元, 梁天刚, 郭正刚, 等. 北疆牧区雪灾预警与风险评估方法[J]. 应用生态学报, 2008, 19(1): 133-138.
- [6] 刘栋杉, 延军平. 阿勒泰地区冬季降水变化特征及雪灾趋势判断[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(9): 72-78.
- [7] 延军平. 重大自然灾害时空对称性研究[M]. 西安: 陕西师范大学出版社, 2013: 161-199.
- [8] 张国胜, 伏洋, 颜亮东, 等. 三江源地区雪灾风险预警指标体系及风险管理研究[J]. 草业科学, 2009, 26(5): 144-150.
- [9] 詹兆渝, 刘庆, 陈文秀, 等. 气象灾害大典四川卷[M]. 北京: 气象出版社, 2005: 4-518.
- [10] 王博, 李小娟, 胡卓玮, 等. 基于 GIS 的内蒙古中部牧区雪灾风险评估模型研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(4): 1984-1987.
- [11] 凡非得, 罗俊, 王克林, 等. 桂西北喀斯特地区生态系统服务功能重要性评价与空间分析[J]. 生态学杂志, 2011, 30(4): 804-809.
- [12] 张文广, 胡远满, 张晶, 等. 岷江上游地区近 30 a 森林生态系统水源涵养量与价值变化[J]. 生态学杂志, 2007, 26(7): 1063-1067.
- [13] 赵同谦, 欧阳志云, 王效科, 等. 中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 生态学报, 2004, 24(6): 443-452.
- [14] 邓坤枚, 石培礼, 谢高地. 长江上游森林生态系统水源涵养量与价值的研究[J]. 资源科学, 2002, 24(6): 68-73.
- [15] 刘承. 县域生态系统水土保持功能及价值研究: 以四川宝兴县为例[D]. 成都: 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 2009.
- [16] 汪涛, 朱波, 罗专溪, 等. 紫色土坡耕地径流特征试验研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(6): 30-34.
- [17] 谢云, 林燕, 张岩. 通用土壤流失方程的发展与应用[J]. 地理科学进展, 2010, 5(3): 279-287.
- [18] 吴昌广, 曾毅, 周志翔, 等. 三峡库区土壤可蚀性 K 值研究[J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(3): 8-11.
- [19] 张照录, 薛重生. 通用土壤流失方程的研究进展及其改进方法[J]. 地学前缘, 2004, 11(4): 608-608.
- [20] 张岩, 袁建平, 刘宝元. 土壤侵蚀预报模型中的植被覆盖与管理因子研究进展[J]. 应用生态学报, 2002, 13(8): 1033-1036.
- [21] 张宝雷, 张淑敏, 周启刚, 等. 土地利用和生态系统服务功能变化研究: 以三峡库区大宁河流域为例[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(2): 181-185.
- [22] 王晓杰. 重庆主城区不同林地类型碳汇效益研究[D]. 重庆: 西南大学, 2011.
- [23] 王万忠, 焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J]. 水土保持通报, 1996, 16(5): 1-20.

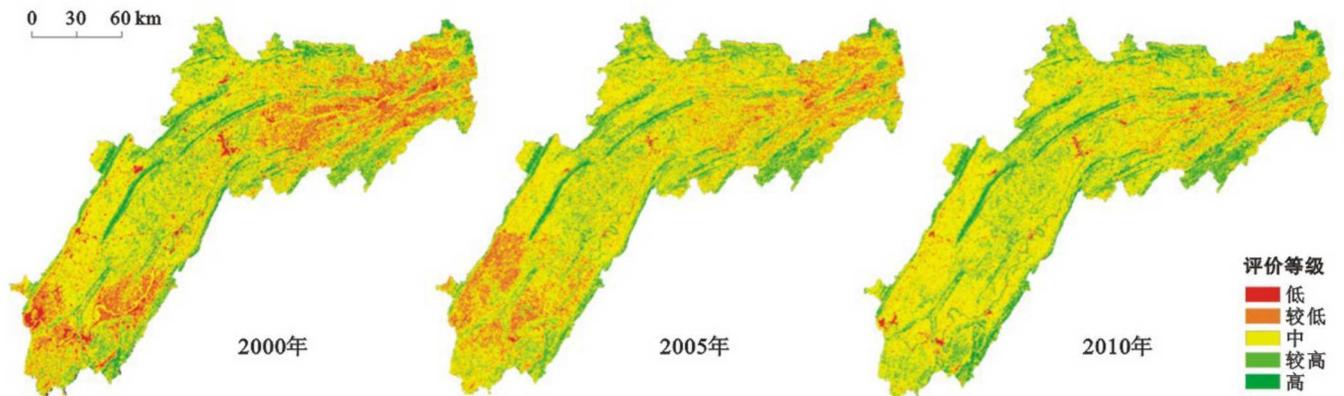
(上接第 260 页)



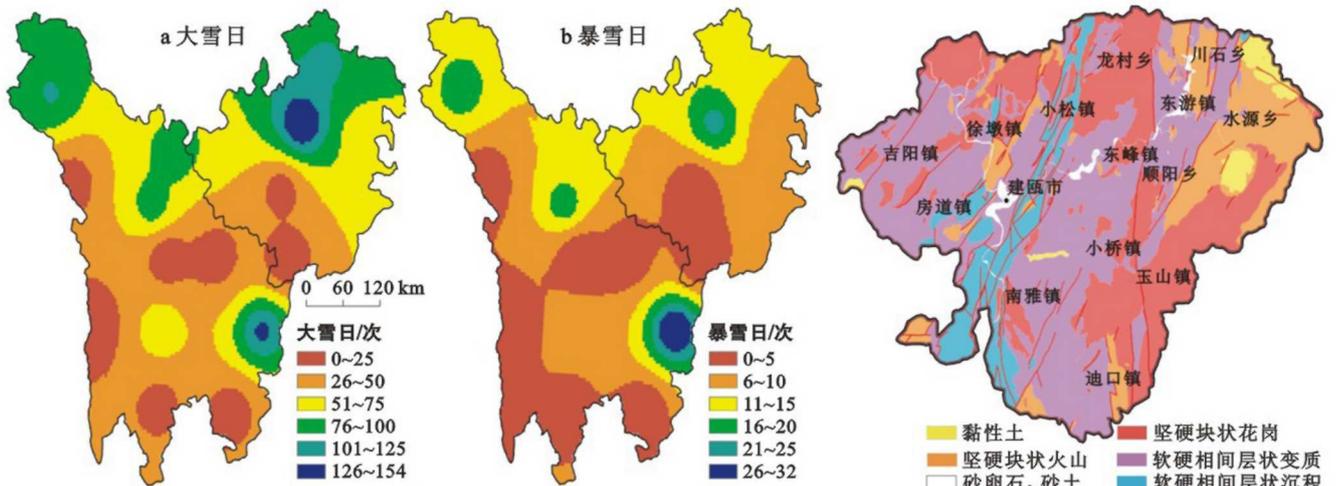
附图8 重庆市三峡库区生物多样性维持功能评价等级分布(259页)



附图9 重庆市三峡库区土壤保持功能评价等级分布(259页)



附图10 重庆市三峡库区重要生态功能区生态系统服务功能评价等级分布(260页)



附图11 1961—2012年川西高原各站点日降水量 $\geq 5$  mm的大雪日和日降水量 $\geq 10$  mm的暴雪日空间分布特征(263页)

附图12 建瓯市2006—2014年工程地质岩组类型分布(268页)