

# 汉江上游 1988—2007 年间景观格局变化分析

王海杰, 刘康

(西北大学 城市与环境学院, 陕西 西安 710127)

**摘要:** 为研究陕西省境内汉江流域水电开发后区域景观格局时空演变, 根据 1988, 2000 和 2007 年汉江上游地区遥感影像, 通过遥感解译, 利用 GIS 缓冲区分析分别研究了汉江上游整体和 500, 1 000, 5 000 m 缓冲区内景观格局变化。结果表明: (1) 汉江上游 1988 年以来水域呈持续增加趋势, 耕地呈现持续“落势”, 全时段景观格局处于不平衡态, 双向转换较频繁。但有向着有利于区域生态改善方向转变的趋势。(2) 从景观破碎化、景观形状和景观多样性 3 个角度分析了研究区景观格局变化, 1988—2000 年该区景观格局破碎化程度增加, 形状趋向复杂, 景观趋向多样化; 2000—2007 年该区景观破碎化程度减小, 形状趋向规则化, 景观多样性减小, 表明景观格局向着有利于区域生态改善的方向转变。(3) 汉江上游水电 7 级梯级开发对沿河 500 m 缓冲区内景观格局影响最显著。

**关键词:** 景观格局; 土地利用; 水电梯级开发; 汉江上游

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)06-0230-05

中图分类号: Q149, F301

## Change of Landscape Pattern in Upper Reaches of Hanjiang River During 1988 to 2007

WANG Hai-jie, LIU Kang

(College of Urban and Environmental Science, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710127, China)

**Abstract:** In order to study the spatial and temporal evolution of the regional landscape in Hanjiang River in Shaanxi Province after the construction of hydropower system, remote sensing images of 1988, 2000 and 2007 were interpreted and GIS buffer analysis was applied with widths of 500, 1 000 and 5 000 m. The results indicated that water areas showed an increasing trend, while the arable land displayed a steady decreasing trend in the study area since 1988. During the studied period, landscape pattern was in an unbalanced state with frequent two-way conversions, towards the direction that is beneficial for improving the regional ecology. According to the analysis on landscape fragmentation, landscape diversity and landscape shapes, the degree of landscape fragmentation pattern of the study area increased between 1988 and 2000, and the shape became more complex and landscapes was diversified. Between 2000 and 2007, the degree of landscape fragmentation reduced, the shape became more regular and the landscape diversity decreased. These evidences indicated that the landscape pattern experienced a regional ecological improvement. It can be concluded that the hydropower development has exerted great influences on the landscapes in the study area.

**Keywords:** landscape pattern; land use; hydropower cascade development; upper reaches of Hanjiang River

景观格局是指景观组分的空间分布与组合特征, 地形、地貌、气候等非生物因素形成了景观格局的物理基础<sup>[1]</sup>, 而自然和人为干扰是导致景观格局变化的主要原因。流域是一种重要的自然地理单元, 对流域景观格局的研究, 是揭示流域生态状况、空间变异性特征以及与生态过程相关的区域资源环境问题的有效手段<sup>[2]</sup>。目前国内外对于流域景观格局及其演变

的研究较多, 研究重点和方法也都各有侧重。其中可以归纳为 3 类: 一种为景观格局的现状分析(如叶延琼<sup>[3]</sup>, 孟广涛<sup>[4]</sup>, 卢玲<sup>[5]</sup>); 一种为景观格局随时间的演变分析(如刘淳<sup>[2]</sup>, 胡志斌<sup>[6]</sup>, 师旭颖<sup>[7]</sup>, 王娟<sup>[8]</sup>, 冯异星<sup>[9]</sup>等); 另一种为利用景观指数预测模型分析景观格局的未来演变过程(如陈莹<sup>[10]</sup>)。此外, 赵志轩<sup>[11]</sup>基于 GIS 技术以海河流域为对象, 分析了流域

收稿日期: 2011-12-06

修回日期: 2012-01-13

资助项目: 国家科技基础性专项重点项目“秦巴山区生态群落与生物种质资源调查”(2007FY110800)

作者简介: 王海杰(1986—), 女(汉族), 山东省济宁市人, 硕士研究生, 主要从事生态规划与生态环境评价研究。E-mail: xiangxiangtonghua@163.com。

整体景观格局及其空间分异特征并利用去趋势典范对应分析(DCCA)方法研究了景观梯度格局与环境因子的关系。由此可以看出,近年来,用于定量表征景观格局演变的景观指数及模型方面的研究发展迅速,国内外学者结合遥感数据利用景观格局指数对流域景观格局在时间维上的动态演变进行了大量研究,深刻揭示了流域景观的格局和动态变化,但较少关注景观类型的空间维上格局演变问题。

汉江流域内水能资源丰富,根据北京勘测设计研究院编制的《汉江上游干流梯级开发规划报告》,汉江上游干流按7级方法开发。自汉江上游实施水电梯级开发工程,汉江上游景观格局变化研究尚属于空白。因此对汉江水电开发对流域生态环境影响进行回顾性评价,研究汉江上游地区水电梯级开发对沿岸区域景观格局的影响程度和影响机制是十分必要的。本文选择陕西省境内汉江流域作为研究区,利用RS-GIS和景观生态学方法,从时空尺度重点分析水电开发后1988—2007年的景观格局变化。研究结果对揭示汉江上游水电梯级开发区域景观格局的宏观变化特征及生态环境效应具有十分重要的意义,以期为该区的景观可持续利用提供科学依据。

## 1 研究区概况

汉江发源于秦岭南麓的陕西省宁强县米仓山西端的嶓冢山,是长江中游最大的一级支流,流经陕西省的汉中和安康地区,于白河县流入湖北省境内,在武汉市汉口注入长江,干流全长1567 km<sup>2</sup>,流域面积 $1.59 \times 10^6$  km<sup>2</sup>。流域多年平均年降水量约700~1100 mm。流域多年平均径流量为 $5.39 \times 10^{10}$  m<sup>3</sup>,水量较为充沛。汉江干流河道可分为3个典型河段:丹江口以上为上游,丹江口—钟祥为中游,钟祥—汉口为下游。

汉江流域属亚热带季风气候区,气候明显受秦岭和大巴山的影响。全年气候温和、四季分明、降水适中、无霜期长,多年平均气温14~16℃,一年中7月份气温最高,极端最高气温41.4~42.6℃,1月份为最低,极端最低气温为-9.6~10.3℃。降水分布不均,一般发生在4—10月,并以7月和9月降水最多,且强度大。

汉江流域内水能资源丰富,全流域水能理论蕴藏量10930 MW,可开发资源6140 MW,年发电量 $2.50 \times 10^{10}$  (kW·h)。汉江上游在陕西省境内可开发水力资源装机容量3724 MW,其中干流2085 MW,支流1639 MW。根据北京勘测设计研究院编制的《汉江上游干流梯级开发规划报告》,汉江上游干

流按7级方法开发,从上至下依次为黄金峡、石泉、喜河、安康、旬阳、蜀河和白河水电站,其中,已建成石泉(1974年投产)、安康(1992年投产)和喜河(2006年投产)3个梯级水电站;蜀河水电站已于2005年开工建设,2009年底第一台机组已投产发电,旬阳、白河水电站正在开展可行性研究工作,黄金峡(引汉济渭工程)也已开展前期设计工作。

研究区范围为汉江干流从黄金峡水库库尾至下游出陕西省境处之间的河段共约460 km两岸面山(第一重山)山脊线至现状水位之间的区域以及梯级水库涉及的支流回水河段两岸面山(第一重山)山脊线至现状水位之间的区域,总面积 $1.16 \times 10^5$  hm<sup>2</sup>。

## 2 数据及研究方法

### 2.1 数据获取

所用的数据包括汉江上游1988,2000和2007年3期同一时相LAND SAT TM影像和1:5万的DEM。首先进行TM图像的辐射纠正与几何精纠正,而后进行图像的镶嵌、整饰。利用地形图辅助数据,应用ERDAS IMAGIN 9.2遥感分析软件,进行3期影像的人工目视解译,并对解译结果通过混淆矩阵与Kappa指数进行评价和验证,最终解译数据的精度为78.0%。然后利用ArcGIS 9.3将解译结果转换成矢量格式。根据徐海洋<sup>[12]</sup>研究结论,水电梯级开发使缓冲距离500~2000 m范围内景观格局发生突变。因此利用属性表提取汉江河流图层,建立了汉江500,1000和5000 m的缓冲区以期揭示汉江上游水电梯级开发对研究区不同尺度景观格局的影响的转折点。

利用ArcGIS中的ArcTools中的Intersect工具对3期缓冲区进行叠加,得到缓冲区土地利用变化图。借助ArcGIS中的data management(数据管理工具)将矢量数据输出为栅格(grid)数据。在景观软件Fragstats 3.3中计算景观破碎度指数、形状指数以及景观多样性指数3类景观特征值<sup>[13-15]</sup>,通过景观格局特征值的变化来反映水电开发对研究区景观格局的影响。

本研究采用的土地利用分类系统,是参照国家土地利用分类方法,结合本次研究的实际要求和影像质量,将土地利用类型归结为5个1级类,即耕地、林地、草地、建设用地、水域,并对5类进行编码。并借助于ArcMap水文分析模块生成汉江流域数字河网并划分子流域与陕西省水系图吻合较好,生成流域总面积 $1.16 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>。

## 2.2 研究指标及涵义

### 2.2.1 景观破碎化指数计算原理

(1) 斑块密度(PD)。该指标指单位面积土地上的斑块数量,用于描绘土地利用类型的破碎程度,破碎化程度愈高,空间异质性程度也愈大。当所有经管类型的总面积保持不变时,斑块密度可视为异质性指数。因为一种景观类型的斑块密度大,显然意味着具有较高的空间异质性<sup>[6]</sup>。

$$PD = n_i / A$$

式中:A——区域总面积(hm<sup>2</sup>)。

(2) 最大斑块指数(LPI)。该指标用来测定最大的斑块在整个景观中所占的比例,它有助于确定景观的基质或优势类型,其值的大小决定着景观中得优势种、内部种的丰富度等生态特征,其变化反映人类活动的方向和强度。

### 2.2.2 景观形状指数计算原理

(1) 边缘密度(ED, m/km<sup>2</sup>)。该指标指景观中单位面积的边缘长度,反映景观的破碎度,边缘密度的大小直接影响边缘效应及物种组成。

(2) 景观形状指数(LSI)。该指标用来测定其形状的复杂程度。

(3) 分维数(FD)。该指标表示具有不规则形状对象的复杂性,用来测定形状的复杂程度。一般来说,受人类活动干扰小的自然景观的分维数值高,而受人类活动影响大的人为景观的分维数值低。

### 2.2.3 景观多样性指数

(1) 景观蔓延度指数(CONTAG)。该指标描述的是景观里不同拼块类型的团聚程度或延展趋势。由于该指标包含控件信息,是描述景观格局的最重要的指数之一<sup>[7]</sup>。一般来说,高蔓延度值说明景观中得某种优势拼块类型形成了良好的连接性;反之则辨明景观是具有多种要素的密集格局,景观的破碎化程度较高。

(2) Shannon 多样性指数(SHDI)。该指标是一种基于信息理论的测量指数,在生态学中应用很广泛。它能反映景观异质性,特别对景观中个拼块类型非均衡分布状况较为敏感,即强调稀有拼块类型对信息的贡献,这也是与其他多样性指数不同之处。在比较和分析不同景观或同一景观不同时期的多样性与异质性变化时,SHID 也是一个敏感指标。如在一个景观系统中,土地利用越丰富,破碎化程度越高,其不定性的信息含量也越大,计算出的 SHID 值也就越高。景观生态学中的多样性与生态学中的物种多样性有紧密的联系,但并不是简单的正比关系,研究发现现在同一景观中二者一般呈正态分布。

## 3 结果与分析

### 3.1 景观类型转移分析

3.1.1 研究区整体景观类型转移分析 通过景观类型面积的转移矩阵可以得出整个研究区及缓冲区内各种景观类型在不同时期的转化方向及其转移数量。结果表明 1988—2000 年汉江上游景观类型转移极其显著(表 1)整体处于不平衡状态,以耕地、草地和建筑用地转出为主要形式。其中耕地减少 50 120 hm<sup>2</sup>,净变化达到 33.60%,表明在此期间耕地处于“落势”,以转出为主;草地面积较 1988 年减少 19 088 hm<sup>2</sup>,净变化达到 -113.16%,处于“落势”,以转出为主;建筑用地面积由 1988 年的 13 709 hm<sup>2</sup> 减少到 2000 年的 7 128 hm<sup>2</sup>,净变化达到了 -48.00%,为时段降幅最高,说明建设用地变化处于不平衡态;另外,林地面积在 1988—2000 年内增加面积为 73 482 hm<sup>2</sup>,净变化达到 8.05%,为时段涨幅最高,主要因为 1995—2000 年国家实施天然林保护工程和“退耕还林还草”政策,耕地以大量转入为主<sup>[16]</sup>。

汉江上游景观类型转移总体处于准平衡态,双向转化频繁(表 1)。草地增加 1 284 hm<sup>2</sup>,但增速较慢;水域面积持续增加,较 2000 年增加 1 389 hm<sup>2</sup>,净变化为 1.70%,趋势指数为 0.09,较 1988—2000 年变化趋势明显减小;建筑用地面积由 2000 年的 7 128 hm<sup>2</sup> 增加到 2007 年的 11 033 hm<sup>2</sup>,净变化和总变化分别为 54.78%和 163.24%,趋势指数为 0.34,为本时段最高,处于“涨势”。另外,林地减少 4 689 hm<sup>2</sup>,净变化达到 -0.48%,趋势指数为 -0.22,表明在此期间耕地处于“落势”,以转出为主;耕地由 2000 年的 99 046 hm<sup>2</sup> 减少到 2007 年的 95 511 hm<sup>2</sup>,为本时段降幅最大,趋势指数为 -0.17,以转出为主。景观类型变化区域在安康水库周边,大量耕地转化为建筑用地,主要因为安康水库的建成以及城市市区的扩张。

3.1.2 缓冲区景观类型转移分析 500 m 缓冲区内,1988—2000 年景观类型之间的转化比较频繁,转移程度较强。其中林地转移面积最大,大量林地转化为耕地、建筑用地和水域。转移面积分别为 3 369, 1 516 和 1 123 hm<sup>2</sup>,其次耕地转化为林地、草地和水域,转移面积分别为 16 937, 2 553 和 2 948 hm<sup>2</sup>。由转移分析可以得知,1988—2000 年 500 m 缓冲区各景观类型之间的转化比较频繁。耕地面积比例减少主要是水库淹没所致,另外是由于退耕还林政策的实施,导致耕地部分转化成林地。2000—2007 年各景观类型变化相较于 1988—2000 年间比较和缓,转移程度减弱。主要是林地转化为耕地和水域,转化面积

分别为 2 139 和 1 069 hm<sup>2</sup>, 变化程度较于 1988—2000 年减少。另外, 期间建筑用地面积有所减少, 主

要是淹没区的移民部分采取了后靠安置, 在电站周边将原来分散居住的居民集中于新建的集镇。

表 1 汉江上游 1988—2007 年不同景观类型变化

年份	统计类型	林地	耕地	草地	建筑用地	水域
1988 年	面积/hm <sup>2</sup>	901 380	149 166	72 102	13 709	20 574
	比例/%	77.91	12.89	6.23	1.00	1.78
2000 年	面积/hm <sup>2</sup>	974 862	99 046	53 014	7 128	22 880
	比例/%	84.26	8.56	4.58	0.62	1.97
2007 年	面积/hm <sup>2</sup>	970 173	95 511	54 298	11 033	23 269
	比例/%	84.13	8.23	4.68	0.95	2.01
1988—2000	变化量/hm <sup>2</sup>	73 482	-50 120	-19 088	-6 581	2 306
	净变化/%	8.15	-33.60	-26.47	-48.00	11.21
	总变化/%	18.51	88.06	113.16	101.93	45.19
	趋势指数	0.44	-0.38	-0.23	-0.47	0.25
2000—2007	变化量/hm <sup>2</sup>	-4 689	-3 535	1 284	5 551	1 389
	净变化/%	-0.48	-3.57	2.42	54.78	1.70
	总变化/%	2.16	21.38	12.07	163.24	18.26
	趋势指数	-0.22	-0.17	0.20	0.34	0.09

1 000 m 缓冲区内, 1988—2000 年景观类型之间的转化较 500 m 缓冲区和缓, 类型之间的转换与 500 m 范围内一致, 主要表现为林地与耕地、草地和水域之间的相互转化。其中建筑用地、水域面积表现为增加趋势。建筑用地面积略有增加主要是淹没区的移民部分采取了后靠安置、施工占地以及水电开发带动当地经济的发展, 在电站周边新建了集镇和住户; 另外水库的建设势必增加水域面积。2000—2007 年景观类型转移更趋和缓, 主要是在后续的水电梯级开发中, 更注重景观格局的保护, 维持沿河流域生态系统的稳定性。

5 000 m 缓冲区内, 两个时段景观类型转移愈加不显著。去除 500 和 1 000 m 缓冲区的影响, 1 000~5 000 m 间景观格局几乎维持不变。由此得知, 500 m 缓冲区内是景观类型转移最显著的范围。

### 3.2 研究区景观格局变化

表 2—3 分别为 1988, 2000 和 2007 年整个研究区及 500, 1 000 和 5 000 m 缓冲区内各景观指数值。可对比 3 期研究区各景观格局指数进行分析。

3.2.1 景观破碎化分析 对于整个研究区域来讲, 1988—2000 年斑块密度呈增加趋势, 斑块密度的相应增加代表空间破碎度增强, 最大斑块有较小程度的减少。而最大斑块指数有助于确定景观的基质或优势类型, 其变化反映人类活动的方向和强度。两个指数的变化趋势都反映水电梯级开发以来研究区景观破碎程度都有增强趋势, 人类活动对景观格局影响强度增强。2000—2007 年斑块密度和最大斑块指数均

呈现与 1988—2000 年相反的变化趋势, 但变化幅度很小, 表明汉江上游水电梯级开发后期区域景观格局变化幅度减小。对于汉江 500, 1 000 和 5 000 m 缓冲区来讲, 斑块密度和最大斑块指数与整个研究区域的变化趋势相同, 其中 500 m 缓冲区内景观破碎化程度变化最大, 其余缓冲区变化程度相对较弱。

3.2.2 形状指数分析 对于整个研究区域来讲, 1988—2000 年 4 个表述形状的景观指数有明显的增加趋势, 其中表述景观形状最重要指数之一的分维数有所增加, 说明受到人类干扰程度略有增加<sup>[9]</sup>。说明 1988—2000 年汉江上游土地利用强度增大, 斑块形状更复杂。2000—2007 年 4 个景观指数均呈现与 1988—2000 年相反的变化趋势, 但变化幅度很小, 表明研究区景观形状复杂度减小, 斑块形状趋于规则化。相比较, 汉江 500, 1 000 和 5 000 m 缓冲区边缘密度、景观形状指数与整个研究区域的变化趋势相反, 而形状分布指数、周长—面积分维指数与分维数呈现相同趋势。其中 500 m 缓冲区内景观形状变化最显著, 其余缓冲区变化程度相对较弱。

3.2.3 景观多样性指数分析 对于整个研究区来讲, 1988—2000 年蔓延度值明显下降, Shannon 多样性指数稍有所增加, Shannon 均匀度指数稍有减小。表明期间研究区土地利用程度丰富, 破碎化程度增高。2000—2007 年蔓延度值有所增加, Shannon 多样性指数减小, Shannon 均度指数增加, 说明了某种优势斑块类型的连接性开始增加, 7 个水电梯级开发工程使地区的连接性更好, 淹没的区域大多是破碎化程度较高

的地域范围,使得景观破碎度变低,景观格局倾向集中化。对于汉江 500,1 000 和 5 000 m 缓冲区来讲景观多样性指数与整个研究区域的变化趋势相同。其中 500 m 缓冲区内景观多样性指数变化最为明显。

表 2 研究区 1988,2000 和 2007 年各景观指数值

年份	PD	LPI	ED	LSI	FD	CONTAG	SHDI	SHEI
1988 年	0.317	27.883	8.592	25.872	1.049	78.571	0.608	0.578
2000 年	0.476	23.741	10.225	30.269	1.055	74.240	0.756	0.470
2007 年	0.451	29.644	9.955	29.544	1.054	78.330	0.617	0.483

注:PD 斑块密度; LPI 最大斑块指数; ED 边缘密度; LSI 景观形状指数; FD 分维数; CONTAG 景观蔓延度指数; SHDI Shannon 多样性指数; SHEI Shannon 均度指数。下同。

表 3 研究区 1988,2000 和 2007 年 500,1 000 和 5 000 m 缓冲区内各景观指数值

缓冲区距离/m	年份	PD	LPI	ED	LSI	FD	CONTAG	SHDI	SHEI
500	1988 年	2.365	19.689	35.277	43.058	1.052	53.279	1.256	0.980
	2000 年	2.391	17.998	34.394	42.382	1.055	47.520	1.429	0.888
	2007 年	2.344	15.799	34.415	42.411	1.053	52.099	1.293	0.903
1 000	1988 年	1.456	11.873	26.720	38.145	1.051	51.884	1.148	0.913
	2000 年	1.592	10.959	27.314	38.783	1.054	58.020	1.343	0.835
	2007 年	1.555	9.711	27.135	38.604	1.053	56.812	1.187	0.838
5 000	1988 年	0.493	6.956	12.876	29.113	1.050	71.097	0.811	0.704
	2000 年	0.726	10.072	15.210	33.577	1.055	66.546	0.970	0.603
	2007 年	0.686	19.068	14.823	32.846	1.054	70.479	0.833	0.618

## 4 结论

(1) 通过对整个研究时段景观类型转移分析表明,汉江上游 1988 年以来水域呈持续增加趋势,耕地呈现持续“落势”,全时段景观格局处于不平衡态,双向转换较频繁。

(2) 通过 3 种表征景观格局指数的对比分析可知,1988—2000 年间景观格局破碎化程度增加,形状趋向复杂,景观趋向多样化,主要是由于人类利用土地方式多样化。2000—2007 年该区景观破碎化程度减小,形状趋向规则化,景观多样性减小,表明汉江上游人为干扰活动对景观格局具有减弱影响。景观格局向着有利于区域生态改善的方向转变。

(3) 多尺度研究汉江水电梯级开发对汉江流域景观格局变化影响表明,汉江上游水电七级梯度开发对沿河 500 m 缓冲区内景观格局影响最显著。

(4) 通过 3 个时期的分析得出,汉江上游在整个景观水平上处于不平衡态,但是有向着有利于区域生态改善方向转变的趋势。

(5) 本研究仅采用 1988,2000 和 2007 年的遥感影像,缺乏现状数据,对比性不是非常显著。另外,没有考虑气候变化和社会经济条件对汉江流域景观格局的影响。为了深入汉江流域景观格局变化,拟将研究时段延长,在气候变化的大背景下,探讨流域土地

利用变化、景观格局演变与气候变化、社会经济条件变化以及水电梯级开发的关系。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Ulo Mander, Rob H G Jongman. Human impact on rural landscapes in Central and Northern Europe [J]. Landscape and Urban Planning, 1998, 41(8): 149-153.
- [2] 刘淳,刘明. 湘江流域上中游景观格局及其变化[J]. 生态学杂志, 2007, 26(11): 1822-1827.
- [3] 叶延琼,陈国阶. GIS 支持下的闽江上游流域景观格局分析[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(1): 112-115.
- [4] 孟广涛,方向京. 云南金沙江流域典型区域森林景观空间格局特征的初步研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(6): 78-84.
- [5] 卢玲,李新,程国栋,等. 黑河流域景观结构分析[J]. 生态学报, 2001, 21(8): 1217-1224.
- [6] 胡志斌,何兴元,江晓波,等. 岷江上游典型时期景观格局变化及驱动力初步分析[J]. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1797-1803.
- [7] 师旭颖,郝芳华. 黄河水电开发区域土地利用与景观格局分析[J]. 水土保持研究, 2009, 16(4): 174-179.
- [8] 王娟,崔保山. 云南澜沧江流域景观格局时空动态研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(4): 85-89.
- [9] 冯异星,罗格平,周德成. 近 50a 土地利用变化对干旱区典型流域景观格局的影响:以新疆玛纳斯河流域为例[J]. 生态学报, 2010, 21(16): 4295-4305.

(下转第 239 页)

- [10] 粟建文,胡新军,袁祖华,等. 湖南环洞庭湖区南瓜产业现状与发展对策[J]. 湖南农业科学,2010(1):90-92.
- [11] 申锐莉,鲍征宇,周旻,等. 洞庭湖湿地水相中重金属的地球化学评价[J]. 人民长江,2007,38(11):121-123.
- [12] 李永进,汤玉喜,唐洁,等. 洞庭湖滩地重金属分布及其生态风险评价[J]. 中南林业科技大学学报,2011,31(2):55-29.
- [13] 董萌,赵运林,雷存喜,等. 南洞庭湖洲垸土壤中四种重金属的分布特征及污染状况评价[J]. 土壤,2010,42(3):452-458.
- [14] 周惜时,秦普丰,李学初,等. 洞庭湖平原区耕地环境质量初步评价[J]. 环境科学与技术,2007,30(6):55-58.
- [15] 王京文,徐文,周航,等. 土壤样品中重金属消解方法的探讨[J]. 浙江农业科学,2007(2):223-225.
- [16] 章圣强,郭瑞英,曹靖,等. 白银市日光温室土壤养分累积特征及重金属污染现状评价[J]. 农业环境科学学报,2010,29(4):711-716.
- [17] 曹伟,周生路,王国梁,等. 长江三角洲典型区工业发展影响下土壤重金属空间变异特征[J]. 地理科学,2010,30(2):283-289.
- [18] 曾希柏,李莲芳,梅旭荣. 中国蔬菜土壤重金属含量及来源分析[J]. 中国农业科学,2007,40(11):2507-2517.
- [19] 刘耀驰,高栗,李志光,等. 湘江重金属污染现状、污染原因分析与对策探讨[J]. 环境保护科学,2010,36(4):25-28.
- [20] 龙永珍,邹海洋,戴塔根. 长株潭市区近地表灰尘中重金属分布污染研究[J]. 中南大学学报:自然科学版,2010,41(4):1633-1638.
- [21] 陈林华,倪吾钟,李雪莲,等. 常用肥料重金属含量的调查分析[J]. 浙江理工大学学报,2009,26(2):224-228.
- [22] 李东坡,武志杰. 化学肥料的土壤生态环境效应[J]. 应用生态学报,2008,19(5):1158-1165.
- [23] 徐明岗,武海雯,刘景,等. 长期不同施肥下我国3种典型土壤重金属的累积特征[J]. 农业环境科学学报,2010,29(12):2319-2324.
- [24] 王俊,郭颖,吴蕊,等. 不同种植年限和施肥量对日光温室土壤锌累积的影响[J]. 农业环境科学学报,2009,28(1):89-94.
- [25] 卢东,宗良纲,肖兴基,等. 华东典型地区有机与常规农业土壤重金属含量的比较研究[J]. 农业环境科学学报,2005,24(1):143-147.
- [26] 刘树堂,赵永厚,孙玉林,等. 25年长期定位施肥对非石灰性潮土重金属状况的影响[J]. 水土保持学报,2005,19(1):164-167.

(上接第234页)

- [10] 陈莹,尹义星. 典型流域土地利用/覆被变化预测及景观生态效应分析:以太湖上游西苕溪流域为例[J]. 长江流域资源与环境,2009,18(8):765-770.
- [11] 赵志轩. 海河流域景观空间梯度格局及其环境因子的关系[J]. 生态学报,2011,31(7):1925-1935.
- [12] 徐海洋. 水电梯级开发对乌江流域景观生态系统的影响[J]. 水利水电,2010,36(5):8-10.
- [13] 王仰麟,赵一斌,韩荡. 景观生态系统的空间结构:概念、指标与案例[J]. 地球科学进展,1999,14(3):235-241.
- [14] 傅伯杰,陈利顶,马克明,等. 景观生态学原理及应用[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [15] 邬建国. 景观生态学:格局、过程、尺度与等级[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [16] 邓祥征,刘彦随,赵涛. 汉江流域土地利用变化及空间格局分析[J]. 长江流域资源与环境,2003,12(6):522-527.