

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 20 期 Vol.33 No.20 **2013**

中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 20 期 2013 年 10 月 (半月刊)

## 目次

### 前沿理论与学科综述

- 中小尺度下西北太平洋柔鱼资源丰度的空间变异..... 杨铭霞,陈新军,冯永玖,等 (6427)
- 水分和温度对若尔盖湿地和草甸土壤碳矿化的影响..... 王 丹,吕瑜良,徐 丽,等 (6436)
- 荒漠啮齿动物群落对开垦干扰的响应及其种群生态对策..... 袁 帅,付和平,武晓东,等 (6444)
- 转 Bt 基因棉花对烟粉虱天敌昆虫龟纹瓢虫的影响 ..... 周福才,顾爱祥,杨益众,等 (6455)
- 微地形改造的生态环境效应研究进展..... 卫 伟,余 韵,贾福岩,等 (6462)

### 个体与基础生态

- 丹顶鹤春迁期觅食栖息地多尺度选择——以双台河口保护区为例..... 吴庆明,邹红菲,金洪阳,等 (6470)
- 新疆石河子南山地区表土花粉研究..... 张 卉,张 芸,杨振京,等 (6478)
- 鄱阳湖湿地两种优势植物叶片 C、N、P 动态特征 ..... 郑艳明,尧 波,吴 琴,等 (6488)
- 基于高分辨率遥感影像的森林地上生物量估算..... 黄金龙,居为民,郑 光,等 (6497)
- 异质性光照下匍匐茎草本狗牙根克隆整合的耗益..... 陶应时,洪胜春,廖咏梅,等 (6509)
- 湘潭锰矿废弃地栎树人工林微量元素生物循环..... 罗赵慧,田大伦,田红灯,等 (6517)
- 接种彩色豆马勃对模拟酸沉降下马尾松幼苗生物量的影响 ..... 陈 展,王 琳,尚 鹤 (6526)
- 生物炭对不同土壤化学性质、小麦和糜子产量的影响 ..... 陈心想,何绪生,耿增超,等 (6534)
- 延河流域植物功能性状变异来源分析 ..... 张 莉,温仲明,苗连朋 (6543)
- 榆紫叶甲赤眼蜂基础生物学特性及其实验种群生命表..... 王秀梅,臧连生,林宝庆,等 (6553)
- 几种生态因子对拟目乌贼胚胎发育的影响 ..... 彭瑞冰,蒋霞敏,于曙光,等 (6560)

### 种群、群落和生态系统

- 海南铜鼓岭灌木林稀疏规律..... 周 威,龙 成,杨小波,等 (6569)
- 青海三江源区果洛藏族自治州草地退化成因分析..... 赵志平,吴晓蕾,李 果,等 (6577)
- 模拟氮沉降对华西雨屏区苦竹林凋落物基质质量的影响..... 肖银龙,涂利华,胡庭兴,等 (6587)
- 基于光合色素的钦州湾平水期浮游植物群落结构研究 ..... 蓝文陆,黎明民,李天深 (6595)
- 基于功能性状的常绿阔叶植物防火性能评价..... 李修鹏,杨晓东,余树全,等 (6604)
- 北京西山地区大山雀与其它鸟类种群间联结分析..... 董大颖,范宗骥,李扎西姐,等 (6614)
- 被动式电子标签用于花鼠种群动态研究的可行性 ..... 杨 慧,马建章,戎 可 (6634)

### 景观、区域和全球生态

- 华北冬小麦降水亏缺变化特征及气候影响因素分析..... 刘 勤,梅旭荣,严昌荣,等 (6643)
- 基于 FAHP-TOPSIS 法的我国省域低碳发展水平评价 ..... 胡林林,贾俊松,毛端谦,等 (6652)
- 河漫滩湿地生态阈值——以二卡自然保护区为例..... 胡春明,刘 平,张利田,等 (6662)
- 应用 Le Bissonnais 法研究黄土丘陵区植被类型对土壤团聚体稳定性的影响 ..... 刘 雷,安韶山,黄华伟 (6670)
- 不同人为干扰下纳帕海湖滨湿地植被及土壤退化特征..... 唐明艳,杨永兴 (6681)

资源与产业生态

近 10 年北京极端高温天气条件下的地表温度变化及其对城市化的响应 ..... 李晓萌,孙永华,孟 丹,等 (6694)

三峡库区小江库湾鱼类食物网的稳定 C、N 同位素分析 ..... 李 斌,徐丹丹,王志坚,等 (6704)

研究简报

北京奥林匹克森林公园绿地碳交换动态及其环境控制因子..... 陈文婧,李春义,何桂梅,等 (6712)

植被恢复对洪雅县近 15 年景观格局的影响 ..... 王 鹏,李贤伟,赵安玖,等 (6721)

高盐下条斑紫菜光合特性和 S-腺苷甲硫氨酸合成酶基因表达的变化 ... 周向红,易乐飞,徐军田,等 (6730)

学术信息与动态

生态系统服务研究进展——2013 年第 11 届国际生态学大会 (INTECOL Congress) 会议述评 ..... 房学宁,赵文武 (6736)

生态系统服务评估——2013 年第 6 届生态系统服务伙伴国际学术年会述评 ..... 巩 杰,岳天祥 (6741)

回顾过去,引领未来——2013 年第 5 届国际生态恢复学会大会 (SER 2013) 简介..... 彭少麟,陈宝明,周 婷 (6744)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 320 \* zh \* P \* ¥ 90.00 \* 1510 \* 33 \* 2013-10



**封面图说:** 荒漠旱獭——旱獭属啮齿目、松鼠科、旱獭属,是松鼠科中体型最大的一种。旱獭多栖息于平原、山地和荒漠草原地带,集群穴居,挖掘能力甚强,洞道深而复杂,多挖在岩石坡和沟谷灌丛下,从洞中推出的大量沙石堆在洞口附近,形成旱獭丘。荒漠啮齿动物是荒漠生态系统的重要成分,农业开垦对功能相对脆弱的荒漠生态系统的干扰极大,往往导致栖息地破碎化,对动植物种产生强烈影响,啮齿动物受到开垦干扰后对环境的响应及其群落的生态对策,是荒漠生态系统生物多样性及其功能维持稳定的重要基础。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@ 163.com

DOI: 10.5846/stxb201303180447

王鹏,李贤伟,赵安玖,黄从德,范川,赖家明.植被恢复对洪雅县近 15 年景观格局的影响.生态学报,2013,33(20):6721-6729.

Wang P, Li X W, Zhao A J, Huang C D, Fan C, Lai J M. Effects of vegetation restoration on landscape pattern of Hongya Country in recent 15 years. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(20): 6721-6729.

## 植被恢复对洪雅县近 15 年景观格局的影响

王 鹏,李贤伟\*,赵安玖,黄从德,范 川,赖家明

(四川农业大学林学院,长江上游生态林业工程四川省重点实验室,雅安 625014)

**摘要:**退耕还林和天然林保护等重大林业生态工程的实施对我国西部地区生态环境建设起到了积极的推动作用。植被的重建、恢复和保护,不仅改变了景观的类型组成,也强烈地影响着景观的空间构造。以四川盆地山地丘陵区边缘的四川省洪雅县为研究对象,采用景观生态学原理和方法,对工程实施前后 15 年来(1994—2009)洪雅县景观格局的变化进行分析,探讨了植被恢复对景观格局的影响。结果显示,林地增加、耕地和草地减少,是 15 年间洪雅县景观变化的主要特点。耕地的减少和林地的增加主要集中于人为活动影响更为强烈的海拔 1000 m 以下区域,反映了退耕还林对景观类型组成改变的巨大推动作用;海拔 1500 m 以上区域,更多地受到天然林保护和自然因素影响,面积变化相对稳定,景观格局空间构造方面的变化更为显著;海拔 1000—1500 m 区域,两种工程实施的影响交错,过程相对复杂。坡度 $\leq 5^\circ$ 的平缓地中,人为活动影响强烈,林地增加明显;而在坡度 $25^\circ$ 附近的坡地中,耕地较多,退耕还林潜力较大,耕地—林地转换相对其他坡度区段更为明显。总体上,林地向低海拔、缓坡度区域扩张,斑块间空隙还林面积较多,有连片发展趋势;而耕地在面积减少的同时,向低海拔、缓坡度区域收缩,斑块规模更小,格局更加破碎。

**关键词:**植被恢复;退耕还林;天然林保护;洪雅县;景观变化

## Effects of vegetation restoration on landscape pattern of Hongya Country in recent 15 years

WANG Peng, LI Xianwei\*, ZHAO Anjiu, HUANG Congde, FAN Chuan, LAI Jiaming

Key Laboratory of Forestry Ecological Engineering in Upper Reaches of Yangtze River of Sichuan Province, College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China

**Abstract:** Great forestry ecological engineerings, i. e. Conversion of Farmland to Forest (CFF) and Natural Forest Conservation (NFC), have played positive roles in promoting the ecological environment constructions in western China. The restoration of vegetation in these projects changed not only the composition but also the configuration of landscape pattern. In this paper, the landscape pattern of Hongya Country in 1994 and 2009 were compared to examine the effects of vegetation restoration on landscape pattern in the mountain-hilly region of the edge of Sichuan Basin, China. Landscape patterns at the two periods were both derived from Landsat TM images using a supervised classification procedure. The area of vegetation types were compared to examine the spatial distribution changes at different elevation and slope zones, and six landscape pattern indices were calculated to quantify the changes of landscape pattern at both landscape and class level. The elevation and slope zones were classified with the step sizes of 500m and  $5^\circ$  respectively, and the indices were calculated in Fragstats 3.4.

From 1994 to 2009, the total area of forest in Hongya increased by 5.72% from 60.58% to 66.30%, and the farmland and grassland decreased by 5.12% and 1.51% respectively. The increase of forestland and decrease of farmland and

基金项目:国家“十一五”、“十二五”科技支撑计划项目(2006BAD23B05, 2011BAC09B05)

收稿日期:2013-03-18; 修订日期:2013-08-02

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lxw@sicau.edu.cn

grassland are the major effects of vegetation restoration. Most of the conversions from farmland to forestland occurred under the elevation of 1000m, indicating a remarkable promotion of CFF to the change of landscape composition. Furthermore, as the dominant type, forest occupies more than 80% of total area in the region higher than 1500m. The vegetation restoration here was mainly influenced by the NFC and natural conditions, exhibiting little change of amount, but more change of landscape configuration. In region between the elevations of 1000m and 1500m, the amounts of both forestland and farmland were relatively stable, but remained some farm-forest conversions, and the landscape changes here were more complex, partly for the overlapping influences of CFF and NFC. At the slope aspect, forest in the region  $\leq 5^\circ$  increased obviously for the intense impact of human activities; moreover, in the region of near  $25^\circ$  forest also exhibited a little increasing trend, indicating more potential conversions from farmland to forest in the implement of CFF.

The overall landscape pattern change of Hongya exhibited a little defragmentation trend from 1994 to 2009. For farmland, influenced by CFF, patches were cut apart and converted to forest, resulted in more patches and smaller mean patch size, and the patches were more fragmented. While, forest was influenced by both the CFF and NFC, the gaps between forest patches were more filled, resulted in fewer patches and larger mean patch size, and the patches were more expanded and aggregated. In summary, as the consequences of vegetation restoration, forest was more continuously expanded to areas with lower elevation; while farmland was more shrunk, and its pattern was more fragmented.

At last, different change processes can result in different composition and configuration changes of landscape pattern. The method of traditional landscape pattern analysis cannot distinguish various processes of landscape change, in which the landscape and class level indices are indistinct and uninterpretable. There is a need to develop novel approaches to analysis the changes of landscape pattern for various change processes, especially for the interpretation of landscape indices.

**Key Words:** vegetation restoration; conversion of farmland to forest; natural forest conservation; Hongya country; landscape change

景观生态学强调景观格局与生态过程在不同尺度上的相互作用<sup>[1]</sup>,景观格局变化受到来自生物和非生物因素的共同影响,反映景观要素在空间上的分布变化和时间上的变化趋势,并影响与之相对应的生态过程<sup>[2]</sup>。土地利用/覆盖变化是景观格局变化的重要决定因素,其对景观的结构、功能以及变化的影响已成为景观生态学研究中的热点问题<sup>[3]</sup>。植被恢复作为土地利用/覆盖变化的一种表现,对于改善生态系统结构和功能,维持生态系统平衡起到至关重要的作用,也是恢复生态学研究 and 生态环境建设的重点领域<sup>[4-5]</sup>。

自 1998 年以来,国家先后实施了包括天然林保护、退耕还林在内的六大重点林业生态工程,已经取得了阶段性的成果。四川盆地山地丘陵区地处长江上游,是我国实施生态环境保护和治理的重点区域,区内坡地众多,长期以来土地利用方式粗放,滥砍滥伐,毁林开荒,陡坡开垦,导致植被退化、水土流失、土壤退化严重<sup>[6]</sup>。工程实施十多年来,生态退耕以及植被恢复和保护成效显著,森林覆盖率稳步提高。林业生态工程的实施,植被的重建、恢复和保护,包括自然和人类活动在内的驱动因子对景观格局和生态过程的影响积极且深远<sup>[7]</sup>。如何从景观尺度评价工程实施背景下植被恢复对景观格局的影响,对于工程后续政策的制定与实施,具有重要的现实意义。洪雅县地处四川盆地向青藏高原过渡地带,位于“华西雨屏区”核心区域,区内雨量充沛,气候适宜,植被恢复自然条件良好,是全国退耕还林示范县和先进县。同时,洪雅县海拔跨度大,退耕类型复杂,植被恢复过程多样,且受气象及地形条件影响,遥感影像获取及解译难度较大,研究相对滞后。本文选择四川省洪雅县为研究区域,采用景观生态学原理和方法,借助景观格局指数,对国家重大林业生态工程实施前后 15 年来(1994—2009 年)洪雅县景观格局进行分析,获得景观组成变化的主要特点,以及植被恢复对景观格局的影响,期望对该地区后续工程实施和生态环境建设提供科学依据。

## 1 研究区概况

四川省洪雅县位于四川盆地西南缘( $102^\circ49'—103^\circ32' E, 29^\circ24'—30^\circ00' N$ ),地处四川盆地与凉山山原

过渡地带,地势由东北丘陵平坝向西南高山峡谷逐渐抬升,以山地、丘陵地貌为主。研究区总面积 1955.07 km<sup>2</sup>,人口约 34 万,以农业人口为主。境内气候温和,雨量充沛,年平均气温 16.8 ℃,年平均降水量 1493.8 mm,属中亚热带湿润气候。土壤类型以山地黄壤和紫色土为主,地带性植被类型为亚热带常绿阔叶林。洪雅县生态环境良好,森林动植物资源丰富,有四川省最大的国有林场——洪雅林场。自 1998 年先后开始实施天然林保护工程和退耕还林工程(试点)以来,洪雅县植被恢复成效显著,森林覆盖率逐步上升,主要造林树种有柳杉(*Cryptomeria fortunei*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、光皮桦(*Betula luminifera*)、杂交竹(*Hybrid bamboo*)、苦竹(*Sinobambusa tootsik*)、慈竹(*Neosinocalamus affinis*)等。

## 2 数据处理与分析方法

### 2.1 数据来源与处理

研究采用 1994 年 6 月 26 日和 2009 年 6 月 3 日成像的两期 Landsat TM 遥感影像作为主要数据源,其他数据包括研究区森林资源分布图、林相图、1:5 万地形图以及由地形图数字化形成的 10 m 分辨率数字高程模型(DEM)。TM 影像采用最大似然法进行监督分类,经类型归并后,获得研究区 1994 年和 2009 年两期景观类型图(图 1),包括耕地、林地、草地、水体、建筑用地、裸地六类。其中,耕地包括旱地和水田,林地包括针叶林、阔叶林、灌木林、和竹林,裸地既包括高海拔极端气候条件下自然形成的裸露地块,也包括林场采伐经营后的采伐迹地。

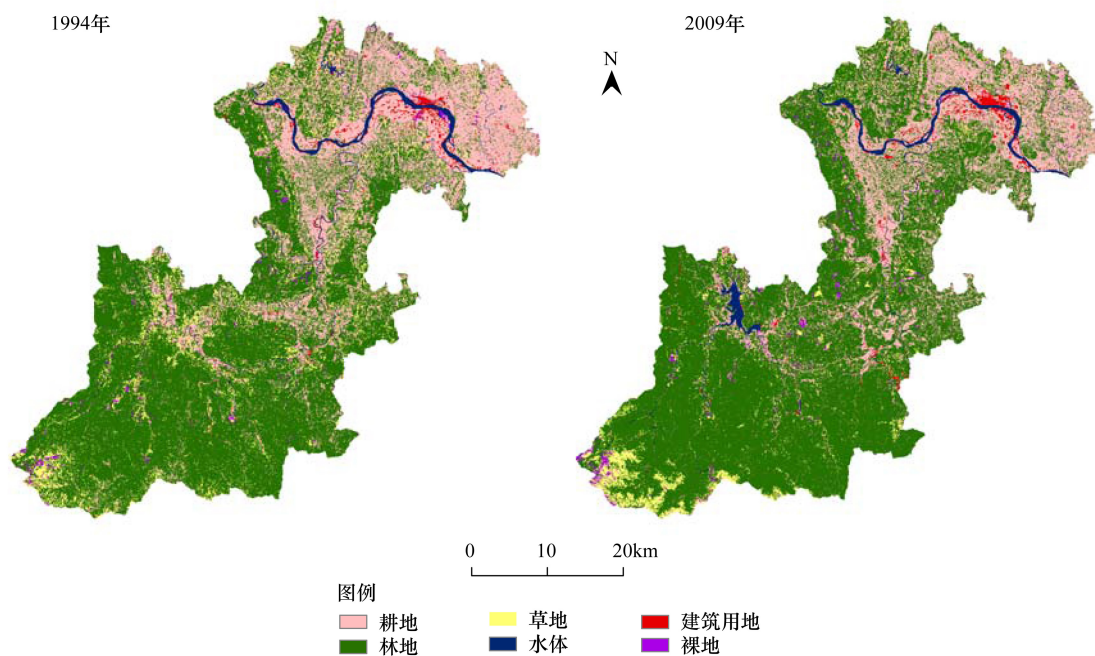


图 1 研究区 1994 年和 2009 年景观类型图

Fig.1 Landscape maps of the study area in 1994 and 2009

为尽量减少由影像解译引起的不确定性,采用 ERDAS 中的 ATCOR3 模块分别对两期 TM 影像做辐射和地形校正处理,减轻由大气和地形引起的辐射误差,获取近似地表反射率的待解译影像;而在解译过程中,对两期影像采用相同的处理方式,如相同的最小制图单元,减少景观格局分析中的不确定性<sup>[8-9]</sup>,使景观格局的对比具有更高的可比性。经野外实地验证,两期影像总体解译精度均在 85% 以上。

### 2.2 海拔和坡度梯度的划分

地形地貌对山区景观组分的分布有决定性的影响。为研究洪雅县各景观类型在空间上的分布变化特征,从研究区 DEM 数据中获取海拔和坡度图,并采用等步长的方式,在像元尺度上将海拔和坡度梯度分别划分为 7 个和 10 个区段(表 1),并与景观类型图叠加统计,获得各区段景观类型的面积和变化信息。

表 1 海拔和坡度分区表

Table 1 Zonal classification table of elevation and slope

| 海拔<br>Elevation/m | 比例<br>Proportion/% | 坡度<br>Slope/(°) | 比例<br>Proportion/% |
|-------------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| ≤500              | 11.97              | ≤5              | 17.78              |
| 500—1000          | 30.75              | 5—10            | 7.76               |
| 1000—1500         | 21.95              | 10—15           | 10.39              |
| 1500—2000         | 13.43              | 15—20           | 11.24              |
| 2000—2500         | 14.26              | 20—25           | 11.30              |
| 2500—3000         | 6.76               | 25—30           | 10.42              |
| >3000             | 0.88               | 30—35           | 9.20               |
|                   |                    | 35—40           | 7.98               |
|                   |                    | 40—45           | 6.14               |
|                   |                    | >45             | 7.80               |

### 2.3 景观格局分析方法

景观格局指数作为景观格局分析常用的方法,能够高度概况景观镶嵌体的组成和空间构造方面的特征,为景观生态学研究提供简单而有效的定量信息<sup>[10]</sup>。但多数景观格局指数之间存在高度的相关性<sup>[11-12]</sup>,并且对于指数的解释需要根据不同的格局特征以及指数随格局的变化规律来进行,特别是在格局指数与类型组分之间经常存在的非线性关系<sup>[13-15]</sup>,给指数的解释带来困难<sup>[16]</sup>。基于此,本文主要选择几个描述格局基本特征的指数,从斑块面积、斑块数目、斑块形状、斑块周长面积关系方面,对景观格局的变化及其生态学意义进行阐述,包括平均斑块面积、斑块密度、最大斑块指数、边缘密度、平均形状指数、平均周长-面积比等 6 个指数,并采用 Fragstats 3.4<sup>[17]</sup> 软件从类型和景观水平分别进行计算,指数计算方式和意义请参阅软件说明。

## 3 结果与分析

### 3.1 景观格局总体特征

在 1994 年和 2009 年这两个时期,耕地和林地均为洪雅县主要的景观类型,二者的面积之和占景观总面积的 85% 以上(图 2)。林地作为最大的景观类型,在整个景观中占据支配地位,面积比例由 60.58% 上升到 66.30%,而耕地类型则由 27.39% 减少到 22.27%,草地作为第三大类型同样呈减少趋势,面积比例由 7.32% 减少到 5.81%,其他类型变化相对较小。从 1994 年到 2009 年,洪雅县有近 1/3 的景观发生了类型转变,其中耕地和林地转出最多,分别占景观总面积的 12.85% 和 10.49%,其次为草地(6.14%),这 3 种类型发生的变化占洪雅县景观变化面积的 90% 以上,是景观变化的主体类型。其中,林地是转入面积最多的类型,占转入总面积的 50% 以上,其次为耕地(23.97%)和草地(14.35%)。因而,耕地、草地减少,林地增加,是 1994—2009 年间洪雅县主要的景观变化特征。

从 1994 年到 2009 年,洪雅县景观整体平均斑块面积略有增大,由 5.57 hm<sup>2</sup> 增加到 6.08 hm<sup>2</sup>;斑块密度则由 17.96 个/km<sup>2</sup> 降低到 16.45 个/km<sup>2</sup>;最大斑块指数由 47.31% 增大到 56.27%;边缘密度由 116.17 m/hm<sup>2</sup> 减少到 105.53 m/hm<sup>2</sup>。这些指数的变化表明景观总体似乎具有这样一种变化趋势,即景观中小的斑块聚合成为

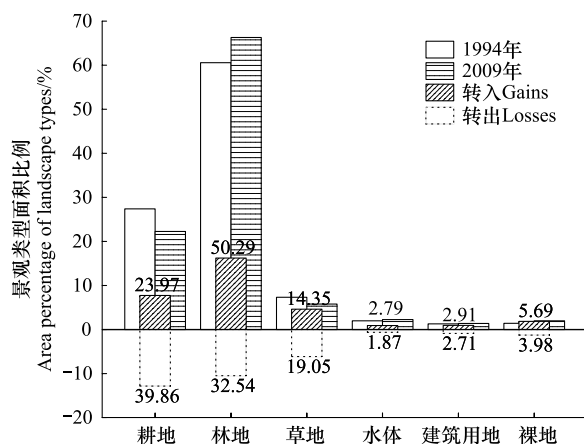


图 2 1994 年和 2009 年景观类型面积比例及转移

Fig. 2 Area percentage of each landscape type in 1994 and 2009, and gains and losses as a percentage of study area from 1994 to 2009

柱端数字为各类型转移面积占总转入和总转出的比例;耕地 farmland;林地 forestland;草地 grassland;水体 water;建筑用地 building land;裸地 bare land

更大的斑块、斑块间的边界减少、景观由多个小斑块分散分布向集中聚合的方式转变、大斑块在景观中的比重更大,景观总体有逆破碎化的变化趋势。

### 3.2 耕地、林地空间分布变化

对不同海拔和坡度梯度上景观总面积、耕地和林地面积,以及耕地和林地转入和转出面积进行统计,得到耕地和林地不同海拔和坡度区段上的分布及其变化,可以反映景观变化主体类型在空间上的分布变化特征。从统计结果得出(图 3),洪雅县 85%以上的林地分布在海拔 500—2500 m 的区域,并且随着海拔升高,在 2500 m 以下,林地各区段内的比例不断增加,而在 2500 m 以上区域,接近森林分布的垂直边界,比例出现下降;林地坡度梯度上主要分布在 $>10^{\circ}$ 的区域,且随着坡度的增大,林地各坡度区段内的比例不断升高;耕地则主要分布在海拔 1500 m 以下区域,且随着海拔升高,比例不断下降;而在坡度梯度上,85%以上的耕地分布在 $\leq 25^{\circ}$ 的区域,并且坡度越大,耕地在坡度区段内的比例越低。总体上,洪雅县林地主要分布在中高海拔的陡坡区域,而耕地则主要存在于低海拔的平地、缓坡区域。

从 1994 年到 2009 年,林地在海拔 2500 m 以下区域均表现为增加的趋势,而在海拔 2500 m 以上呈减少趋势。这其中,林地的净增加以海拔 500—1000 m 的区段最多,占有区段林地净增加总面积的 58.50%,是林地净增加的主要区域;其次为 500 m 以下区段,比例达到净增加总面积的 18.72%;而在海拔 1000 m 以上区域,林地的面积变化则相对较小。在林地净变化率方面,海拔 500 m 以下区域林地增加最为明显(图 4),达到了 87.66%;其次为 500—1000 m 区域,增加了 29.40%;而在 1500—2500 m 区域,变化率相对较小;海拔 2500 m 以上区域,随着海拔升高,林地的减少趋势更为明显。林地各坡度梯度上均表现为增加趋势(图 3),除 $\leq 5^{\circ}$ 的平缓地增加较多外,在 20—25°区段存在一个面积增加的峰值。而在净变化率上(图 4),林地以 $\leq 30^{\circ}$ 区域增加相对明显,除 $\leq 5^{\circ}$ 的平缓地之外,在 20—25°区段也存在一个峰值,但相对于海拔梯度来说,差异相对较小。

从 1994 年到 2009 年,耕地在所有的海拔区段均呈减少趋势(图 3)。其中以海拔 500—1000 m 区段减少最多,占耕地净减少总面积的近 60%,是耕地减少的主要分布区段;其次为 500 m 以下区域,耕地减少面积占净减少总面积的 20.47%;其他区段耕地面积变化相对较小。在耕地净变化率方面(图 4),低海拔的 500 m 以下区域减少的比例最少,且总体上海拔越高,减少愈加明显。但海拔 1000—1500 m 的区域比较特殊,这一区域耕地的转入和转出大体相抵,与林地在这一区段的特征相对应,均没有表现出明显的变化,这可能与退耕还林等林业工程实施之前,该区域存在过毁林开荒有关。耕地在各坡度区段上也呈减少趋势(图 3),以 $\leq 30^{\circ}$ 的区域减少较多,占耕地净减少总面积的 88.28%。在净变化率方面,坡度 20—25°区段存在一个峰值(图 4),耕地的减少最为明显。

由此,从 1994 年到 2009 年,林地不同海拔梯度上的变化趋势可以分为 3 种类型:海拔 1000 m 以下,是人口和经济活动分布的主要区域,受人为活动影响,如退耕还林、宜林荒山荒地造林等,林地增加明显,且低海拔的 500 m 以下区域,受到的影响更为强烈;海拔 1000—2500 m 区域,人口分布相对较少,受人为活动影响较弱,尽管也受到诸如林场经营采伐活动的影响,但总体上这一区域表现为近自然的森林恢复,林地变化较为稳定;海拔 2500 m 以上区域,人口稀少,主要受到自然环境的影响,林地中灌木林有向草地转化的趋势,但同时受到影像成像时植被的物候影响,这一结论有待进一步验证。耕地在低海拔的 1000 m 以下区域与林地的变化相对应,耕地的减少对应着林地的增加,这与退耕还林的实施密切相关。而在高海拔的 1000 m 以上区域,耕地面积较少,林地的变化更多地受到天然林保护、荒山造林,以及自然环境的影响,耕地与林地之间的转换关系不明显。

在坡度梯度上,林地的增加除 $\leq 5^{\circ}$ 的平缓地面积较多,受人为影响强烈外,在 5—25°区域随着坡度升高,增加越为明显。一方面,中等坡度的 25°附近面积较多,造林潜力大;另一方面,与 $>25^{\circ}$ 的陡坡区域相比,受到人为活动影响更大,退耕还林在其中起到了关键作用,与耕地在 25°附近的减少率峰值相对应。 $>25^{\circ}$ 的陡坡区域林地的增加随着坡度升高逐渐减少,尽管退耕还林工程以 $>25^{\circ}$ 的陡坡耕地为实施的重点区域,但这一区

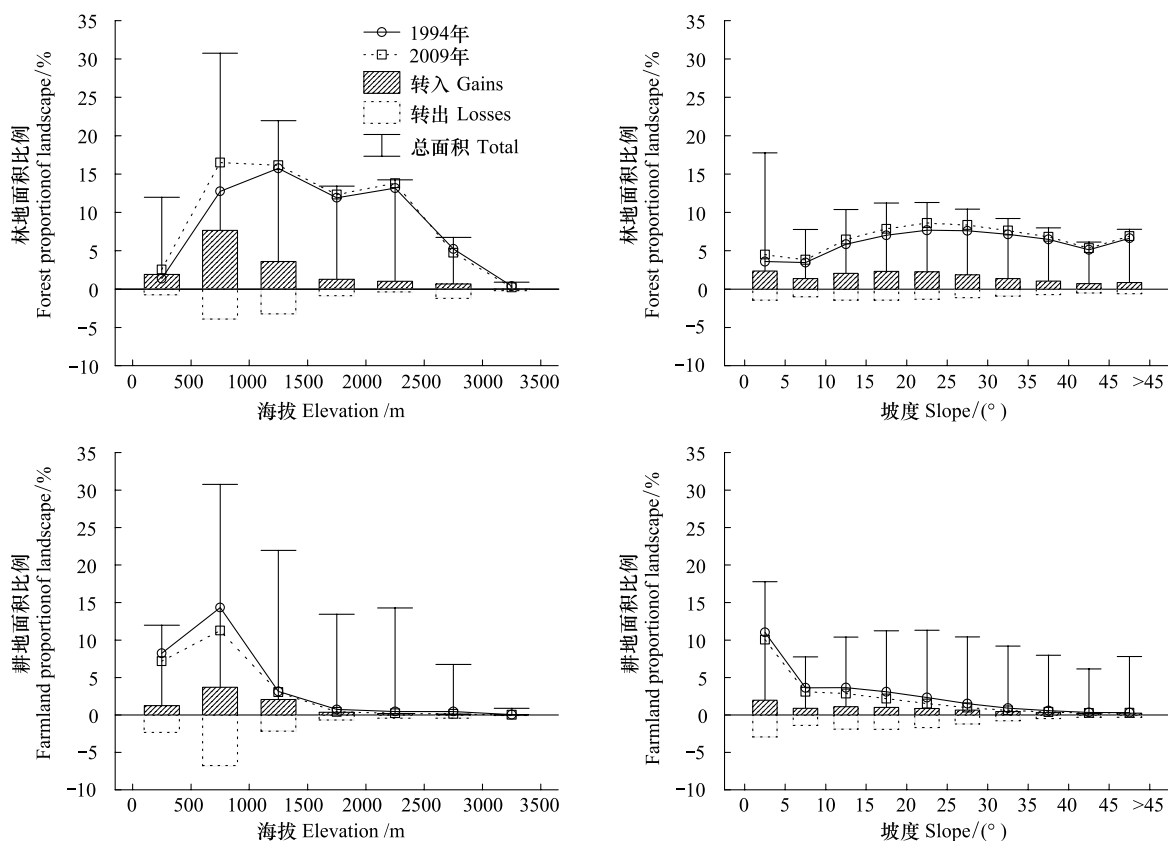


图3 1994年和2009年林地、耕地面积比例随海拔和坡度梯度分布对比

Fig.3 Comparison of forest and farmland distributions along elevation and slope gradients in 1994 and 2009

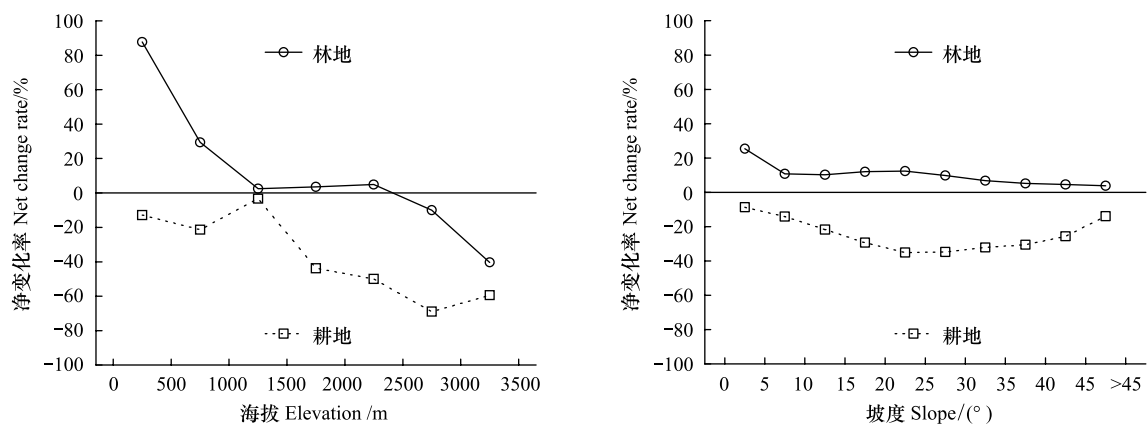


图4 1994—2009年耕地、林地随海拔和坡度梯度净变化率

Fig.4 Net change rates of forest and farmland along elevation and slope gradients from 1994 to 2009

域原有的林地比例较高,因而林地并没有明显的增加趋势。

### 3.3 类型水平格局特征

在类型水平,景观中各类型的格局变化特征不相一致。从1994年到2009年,耕地类型的平均斑块面积有所减小,由 $4.94 \text{ km}^2$ 减少到 $3.71 \text{ km}^2$ (图5),斑块规模介于水体和建筑用地之间,远小于林地;而林地则一直具有最大的斑块规模,并且平均斑块面积从 $18.80 \text{ km}^2$ 增加到 $26.13 \text{ km}^2$ ;草地的平均斑块面积相对较小,且变化不大。从斑块密度上来看(图5),相对于其他类型,耕地的斑块密度一直处于较高的水平,并且由5.50

个/ $\text{km}^2$ 增加到 6.00 个/ $\text{km}^2$ ;而林地的斑块密度在三大类型当中最低,且由 3.22 个/ $\text{km}^2$ 降低到 2.54 个/ $\text{km}^2$ ,与耕地的变化特征相反;草地的斑块密度降低明显,由 6.09 个/ $\text{km}^2$ 降低到 4.61 个/ $\text{km}^2$ 。最大斑块指数中(图 5),耕地和林地也表现出相反的变化特征,耕地中最大的斑块受到分割,面积减少,而林地中的最大斑块得到补充,面积增大,且增加显著。在描述边界特征的指数边缘密度中(图 5),耕地和林地一直具有较高的边缘密度,其次为草地,表现为具有较多的边界。从平均形状指数来看(图 5),林地较耕地具有更加复杂的形状,而在平均周长-面积比中(图 5),耕地则具有更大的周长-面积比。

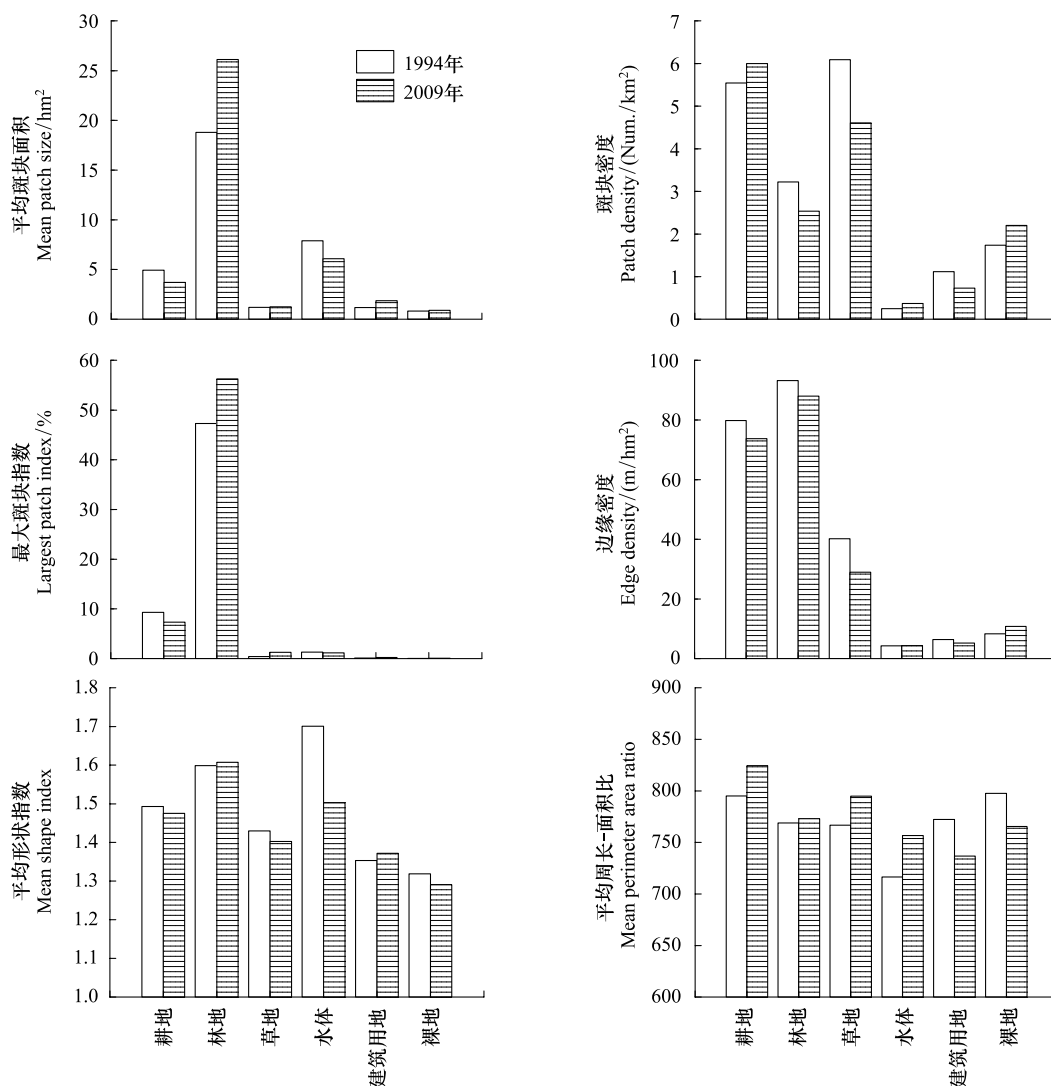


图 5 1994 年和 2009 年类型水平格局指数

Fig.5 Class level landscape pattern indices in both 1994 and 2009

总体上,对于耕地类型来说,受退耕还林工程实施的影响,类型总面积减少,类型中大的斑块受到其他类型的分割,平均斑块面积减小,斑块数目增多,大斑块在景观中的比例被削弱,表现出破碎化的倾向;而林地类型则与耕地相反,受退耕还林和天然林保护工程实施的影响,斑块间空隙得到补充,总面积增大,斑块规模增大,斑块数目减少,大斑块在景观中的影响力得到增强,森林总体呈现连片式发展趋势,连通性增大,有明显的逆破碎化倾向。

#### 4 讨论

本文采用两期 TM 遥感影像,对洪雅县近 15 年来植被恢复对景观格局的影响进行了研究,反映了重大林业工程的实施前后景观格局变化的主要特点。退耕还林工程实施引起的耕地减少、林地增加主要集中于海拔

1000 m 以下区域,且对景观类型组成的影响强于格局的空间构造。而天然林保护工程实施对景观格局的影响主要针对海拔 1500 m 以上的林地,林地作为这一区域景观的主体,面积变化较少,但空间构造方面却发生了显著的变化,这一区域林地的斑块规模更大,边界更少,景观的完整性得到恢复和保护,天然林保护对景观格局空间构造方面的影响更为显著。海拔 1000—1500 m 区域,虽然耕地和林地的面积均没有表现出明显的变化趋势,但仍然存在较多的转化。一方面,在工程实施之前,这一区域可能存在毁林开荒等森林砍伐活动,并且瓦屋山水电站的建设也会占用林地,导致林地的转出;另一方面,退耕还林、宜林荒山荒地造林、天然林保护以及林场经营活动,也会导致林地的转入。因而,海拔 1000—1500 m 区域实际上是多种因素共同作用的结果。海拔 1000 m 以下,景观受到退耕还林、宜林荒山荒地造林等因素的驱动,植被的恢复主要是以重建的方式对格局的类型组成带来影响,政策性的人为活动的影响更为强烈;而海拔 1500 m 以上区域,景观主要受到天然林保护等因素的驱动,植被的恢复更多的是以保护、维持的方式对格局的空间构造带来影响,自然因素的影响相对更为明显;海拔 1000—1500 m 区域作为两种影响的交错区域,退耕还林和天然林保护的影响并存,变化过程相对复杂。

尽管研究的区域、尺度,以及数据来源不同,但耕地、草地与林地之间紧密的转换关系,在近几年的相关研究中都有所报道<sup>[18-21]</sup>,退耕还林和天然林保护工程的实施在其中起到了巨大的推动作用。工程的实施不仅提高了研究区森林覆盖率,减少了水土流失,提高了森林的水源涵养能力,也使森林景观的格局发生了显著的变化,景观的破碎化得到缓解和修复,给生物多样性的维持和保护也带来了积极的影响。如果将植被的重建作为植被恢复的第一阶段,那么植被的保护和维持、格局的优化将是低海拔区域退耕还林之后植被恢复的重点。低海拔区域人口集中,社会经济需要持续发展,人为干扰影响巨大,如何在经济发展与生态保护之间取得平衡,实现退得住、保得住,提高人工林稳定性,使格局进一步优化,生态系统服务功能逐步提升,将是今后退耕还林等生态环境建设实现可持续发展的重要方向。而在高海拔区域,在排除各种人为干扰之后,格局趋于优化,以原有植被为本底的景观自我维持能力得到提升,后续的植被恢复应当仍然以保护和维持为主,促进植被向顶级类型演替,逐步提高抵御外界干扰和胁迫的能力,实现生态的完全修复。

本文采用几个描述景观格局基本特征的指数对格局进行分析,反映了不同类型的格局变化趋势,但对指数结果的解释仍然存在困难,特别是几个描述斑块边界特征的指数。耕地由于面积减少,边界总数量降低,并且格局中面积减少对边界数量的影响强于格局的空间构造,因为斑块数量的增加和更大的周长-面积比也可能导致更多的边界;而林地由于面积得到补充,小的斑块被更大的斑块替代,斑块聚合程度更高,边界数量减少,格局的空间构造对边界数量的影响强于面积的增加。但景观格局分析当中,格局的组成成分和空间构造之间关系比较多样,且多为非线性关系,在运用格局指数进行景观格局研究时难以将二者厘清。有必要在以后的景观格局分析中,将不同的变化过程进行区分,将指数的解释与特定的变化过程结合,研究指数对不同过程的响应,可能会对景观格局的分析带来积极的影响。

## 5 结论

(1)从 1994 年到 2009 年,洪雅县植被恢复效果显著,林地面积比例由 60.58% 上升到 66.30%,森林覆盖率上升了 5.72 个百分点,耕地、草地则分别减少了 5.12 和 1.51 个百分点。耕地、草地减少,林地增加,这 3 种类型的变化是洪雅县景观变化的主要特点。

(2)重大林业工程的实施不仅带来了植被的重建与恢复,也给景观的格局带来了积极的影响。从 1994 年到 2009 年,洪雅县景观总体有逆破碎化的趋势。其中林地作为景观的主体,空间分布向低海拔、缓坡度方向扩展,格局总体呈连片式发展趋势;与林地的格局变化相反,耕地的空间分布向低海拔、缓坡度方向收缩,格局总体更加趋于破碎。低海拔的 1000 m 以下区域,景观的变化以类型转换为主,耕地—林地转化强度更大;而高海拔的 1500 m 以上区域,面积变化较小,景观格局的空间构造方面的变化更为显著;海拔 1000—1500 m 区域,退耕还林和天然林保护的影响交错,多种因素共同作用,变化过程相对复杂。坡度  $\leq 5^\circ$  的平缓地面积较多,人为活动影响强烈,林地增加明显;而中等坡度的  $25^\circ$  附近区域坡耕地较多,退耕还林的潜力较大,工程实

施对耕地—林地转化的推动更为显著。

(3) 植被的恢复不仅改变了景观中类型的组成,也给景观的空间构造带来影响。本文选择了几个描述格局基本特征的指数,可以说明格局中存在的基本变化趋势,但景观中存在着多样的土地利用变化过程,不同的区域其变化过程或阶段可能不同。发展新的格局分析方法,将景观格局分析与变化过程结合,研究指数对不同过程的响应,可能会使指数的生态学意义更加明确。

**致谢:**感谢洪雅县林业局在数据收集集中给予的大力支持;感谢同门陈浩、王钧、冯帅、赖元长在数据处理中提供的帮助。

## References:

- [ 1 ] Turner M G. Landscape ecology: What is the state of the science?. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2005, 36(1): 319-344.
- [ 2 ] Turner M G. Landscape ecology: The effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology, and Systematics*, 1989, 20(1): 171-197.
- [ 3 ] Wu J G, Hobbs R. Key issues and research priorities in landscape ecology: An idiosyncratic synthesis. *Landscape Ecology*, 2002, 17(4): 355-365.
- [ 4 ] Peng S L, Lu H F. Some key points of restoration ecology. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(7): 1249-1257.
- [ 5 ] Ren H, Peng S L, Lu H F. The restoration of degraded ecosystems and restoration ecology. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(8): 1756-1764.
- [ 6 ] Li X W, Zhang J, Hu T X, Luo C D. *Theory of the Conversion of Farmland to Forest and Application of Forest-Grass Mode*. Beijing: Science Press, 2009: 45-51.
- [ 7 ] Qiu Y, Zhang Y, Han J, Wang J, Meng Q H. Spatiotemporal pattern of ecological cropland conversion and vegetation succession: A review. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(11): 2002-2009.
- [ 8 ] Shao G F, Wu J G. On the accuracy of landscape pattern analysis using remote sensing data. *Landscape Ecology*, 2008, 23(5): 505-511.
- [ 9 ] Lechner A M, Langford W T, Bekessy S A, Jones S D. Are landscape ecologists addressing uncertainty in their remote sensing data? *Landscape Ecology*, 2012, 27(9): 1249-1261.
- [ 10 ] Li H B, Wu J G. Application of spatial pattern analysis in landscape Ecology // Wu J, ed. *Lectures in Modern Ecology (III): Advances and Key Topics*. Beijing: Higher Education Press, 2007: 228-250.
- [ 11 ] Li H B, Reynolds J F. A simulation experiment to quantify spatial heterogeneity in categorical maps. *Ecology*, 1994, 75(8): 2446-2455.
- [ 12 ] Riitters K H, O'Neill R V, Hunsaker C T, Wickham J D, Yankee D H, Timmins S P, Jones K B, Jackson B L. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape Ecology*, 1995, 10(1): 23-39.
- [ 13 ] Gustafson E J, Parker G R. Relationships between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern. *Landscape Ecology*, 1992, 7(2): 101-110.
- [ 14 ] Hargis C D, Bissonette J A, David J L. The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation. *Landscape Ecology*, 1998, 13(3): 167-186.
- [ 15 ] Long J A, Nelson T A, Wulder M A. Characterizing forest fragmentation: Distinguishing change in composition from configuration. *Applied Geography*, 2010, 30(3): 426-435.
- [ 16 ] Li H B, Wu J G. Use and misuse of landscape indices. *Landscape Ecology*, 2004, 19(4): 389-399.
- [ 17 ] McGarigal K, Cushman S A, Neel M C, Ene E. FRAGSTATS v3: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. [2013-3-18]. <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- [ 18 ] Zhao F, Ju H B, Huang J W. Landscape changes after conversion of cropland to forest project implementation in Xichang Area. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(S1): 56-61, 171-171.
- [ 19 ] Zhu Z Q, Liu L M, Zhang J L. Impact of grain for green project on landscape pattern in hilly loess region in Southern Ningxia: landscape evolution process assessment of Zhong-zhuang-cun small watershed in 1993—2005. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(1): 146-154.
- [ 20 ] Zhang G K, Lu J H, Song K S, Zhang S Q, Liang Y H. The change of landscape pattern in Zhenlai Xian, Jilin Province in recent ten years. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(12): 3958-3965.
- [ 21 ] Zhou D C, Zhao S Q, Zhu C. The impact of the grain for green project on the land use/cover change in the Northern Farming-pastoral Ecotone, China — A case study of Kezuohouqi County. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, 22(4): 442-449.

## 参考文献:

- [ 4 ] 彭少麟, 陆宏芳. 恢复生态学焦点问题. *生态学报*, 2003, 23(7): 1249-1257.
- [ 5 ] 任海, 彭少麟, 陆宏芳. 退化生态系统恢复与恢复生态学. *生态学报*, 2004, 24(8): 1756-1764.
- [ 6 ] 李贤伟, 张健, 胡庭兴, 罗承德. 退耕还林理论基础及林草模式的实践应用. 北京: 科学出版社, 2009: 45-51.
- [ 7 ] 邱扬, 张英, 韩静, 王军, 孟庆华. 生态退耕与植被演替的时空格局. *生态学杂志*, 2008, 27(11): 2002-2009.
- [ 10 ] 李哈滨, 郭建国. 空间分析方法在景观生态学中的应用 // 郭建国. *现代生态学讲座 (III): 学科进展与热点论题*. 北京: 高等教育出版社, 2007: 228-250.
- [ 18 ] 赵峰, 鞠洪波, 黄建文. 西昌地区实施退耕还林工程后的景观格局变化. *林业科学*, 2006, 42(S1): 56-61, 171-171.
- [ 19 ] 朱战强, 刘黎明, 张军连. 退耕还林对宁南黄土丘陵区景观格局的影响——以中庄村典型小流域为例. *生态学报*, 2010, 30(1): 146-154.
- [ 20 ] 张国坤, 卢京花, 宋开山, 张树清, 梁雨华. 吉林省镇赉县近 10 年景观格局变化. *生态学报*, 2012, 32(12): 3958-3965.
- [ 21 ] 周德成, 赵淑清, 朱超. 退耕还林还草工程对中国北方农牧交错区土地利用/覆被变化的影响——以科尔沁左翼后旗为例. *地理科学*, 2012, 22(4): 442-449.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.20 Oct., 2013 (Semimonthly)

## CONTENTS

### Frontiers and Comprehensive Review

- Spatial variability of small and medium scales' resource abundance of *Ommastrephes bartramii* in Northwest Pacific ..... YANG Mingxia, CHEN Xinjun, FENG Yongjiu, et al (6427)
- The effect of moisture and temperature on soil C mineralization in wetland and steppe of the Zoige region, China ..... WANG Dan, LV Yuliang, XU Li, et al (6436)
- Response and population bionomic strategies of desert rodent communities towards disturbance of cultivation ..... YUAN Shuai, FU Heping, WU Xiaodong, et al (6444)
- Effects of Bt-cotton on *Propylea japonica*, an Enemy Insect of *Bemisia tabaci* (Gennadius) ..... ZHOU Fucui, GU Aixiang, YANG Yizhong, et al (6455)
- Research progress in the ecological effects of micro-landform modification ..... WEI Wei, YU Yun, JIA Fuyan, et al (6462)

### Autecology & Fundamentals

- A multi-scale feeding habitat selection of Red-crowned crane during spring migration at the Shuangtaihekou Nature Reserve, Liaoning Province, China ..... WU Qingming, ZOU Hongfei, JIN Hongyang, et al (6470)
- Surface pollen research of Nanshan region, Shihezi City in Xinjiang ..... ZHANG Hui, ZHANG Yun, YANG Zhenjing, et al (6478)
- Dynamics of leaf carbon, nitrogen and phosphorus of two dominant species in a Poyang Lake wetland ..... ZHENG Yanming, YAO Bo, WU Qin, et al (6488)
- Estimation of forest aboveground biomass using high spatial resolution remote sensing imagery ..... HUANG Jinlong, JU Weimin, ZHENG Guang, et al (6497)
- Cost-benefits of the clonal integration of *Cynodon dactylon*, a stolon herbaceous plant, under heterogeneous lighting condition ..... TAO Yingshi, HONG Shengchun, LIAO Yongmei, et al (6509)
- Biological cycling of *Koeleria paniculata* plantation microelements in Xiangtan Manganese Mine wasteland ..... LUO Zhaohui, TIAN Dalun, TIAN Hongdeng, et al (6517)
- Effects of ectomycorrhizal fungi (*tinctorius* (Pers.) Coker & Couch) on the biomass of masson pine (*Pinus massoniana*) seedlings under simulated acid rain ..... CHEN Zhan, WANG Lin, SHANG He (6526)
- Effects of biochar on selected soil chemical properties and on wheat and millet yield ..... CHEN Xinxiang, HE Xusheng, GENG Zengchao, et al (6534)
- Source of variation of plant functional traits in the Yanhe river watershed: the influence of environment and phylogenetic background ..... ZHANG Li, WEN Zhongming, MIAO Lianpeng (6543)
- The general biology and experimental population life table about *Asynacta ambrostomae* ..... WANG Xiumei, ZANG Liansheng, LIN Baoqing, et al (6553)
- Effect of several ecological factors on embryonic development of *Sepia lycidas* ..... PENG Ruibing, JIANG Xiamin, YU Shuguang, et al (6560)

### Population, Community and Ecosystem

- The thinning regular of the the shrubbery at Tongguling National Nature Reserve on Hainan Island, China ..... ZHOU Wei, LONG Cheng, YANG Xiaobo, et al (6569)
- The cause of grassland degradation in Golog Tibetan Autonomous Prefecture in the Three Rivers Headwaters Region of Qinghai Province ..... ZHAO Zhiping, WU Xiaopu, LI Guo, et al (6577)
- Effects of simulated nitrogen deposition on substrate quality of litterfall in a *Pleiblastus amarus* plantation in Rainy Area of West China ..... XIAO Yinlong, TU Lihua, HU Tingxing, et al (6587)
- Phytoplankton community structure based on pigment composition in Qinzhou bay during average water period ..... LAN Wenlu, LI Mingmin, LI Tianshen (6595)
- Functional trait-based evaluation of plant fireproofing capability for subtropical evergreen broad-leaved woody plants ..... LI Xiupeng, YANG Xiaodong, YU Shuquan, et al (6604)
- Interspecific associations between *Parus major* and other bird communities in Beijing Xishan region ..... DONG Daying, FAN Zhongji, LI Zhaxijie, et al (6614)

- Feasibility analysis of passive integrated transponders in population ecology studies of Siberian chipmunk .....  
 ..... YANG Hui, MA Jianzhang, RONG Ke (6634)

### **Landscape, Regional and Global Ecology**

- Dynamic variation of water deficit of winter wheat and its possible climatic factors in Northern China .....  
 ..... LIU Qin, MEI Xurong, YAN Changrong, et al (6643)
- Study on the levels' evaluation of provincial low-carbon development in China based on the FAHP-TOPSIS method .....  
 ..... HU Linlin, JIA Junsong, MAO Duanqian, et al (6652)
- An investigation of the safety threshold of a floodplain wetland: a case study of the Er-Ka Nature Reserve, China .....  
 ..... HU Chunming, LIU Ping, ZHANG Litian, et al (6662)
- Application of le bissonnais method to study soil aggregate stability under different vegetaion on the loess plateau .....  
 ..... LIU Lei, AN Shaoshan, Huang Huawei (6670)
- Analysis of vegetation and soil degradation characteristics under different human disturbance in lakeside wetland, Napahai .....  
 ..... TANG Mingyan, YANG Yongxing (6681)

### **Resource and Industrial Ecology**

- Changes of land surface temperature and its response to urbanization under the extreme high-temperature background in recent  
 ten years of Beijing ..... LI Xiaomeng, SUN Yonghua, MENG Dan, et al (6694)
- Stable isotope ( $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$ ) analysis of fish food web of the Xiaojiang Bay in Three Gorges Reservoir .....  
 ..... LI Bin, XU Dandan, WANG Zhijian, et al (6704)

### **Research Notes**

- Dynamics of  $\text{CO}_2$  exchange and its environmental controls in an urban green-land ecosystem in Beijing Olympic Forest Park .....  
 ..... CHEN Wenjing, LI Chunyi, HE Guimei, et al (6712)
- Effects of vegetation restoration on landscape pattern of Hongya Country in recent 15 years .....  
 ..... WANG Peng, LI Xianwei, ZHAO Anjiu, et al (6721)
- Photosynthetic characteristics and SAMS gene expression in the red alga *Porphyra yezoensis* Ueda under high salinity .....  
 ..... ZHOU Xianghong, YI Lefei, XU Juntian, et al (6730)

# 《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 宋金明

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 20 期 (2013 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 20 (October, 2013)

|               |                                                                                                                    |                 |                                                                                                                                                                                   |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 编 辑           | 《生态学报》编辑部<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085<br>电话:(010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>shengtaixuebao@rcees.ac.cn | Edited by       | Editorial board of<br>ACTA ECOLOGICA SINICA<br>Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China<br>Tel: (010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>shengtaixuebao@rcees.ac.cn |
| 主 编           | 王如松                                                                                                                | Editor-in-chief | WANG Rusong                                                                                                                                                                       |
| 主 管           | 中国科学技术协会                                                                                                           | Supervised by   | China Association for Science and Technology                                                                                                                                      |
| 主 办           | 中国生态学学会<br>中国科学院生态环境研究中心<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085                                                        | Sponsored by    | Ecological Society of China<br>Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS<br>Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China                                  |
| 出 版           | 科 学 出 版 社<br>地址:北京东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100717                                                                       | Published by    | Science Press<br>Add: 16 Donghuangchenggen North Street,<br>Beijing 100717, China                                                                                                 |
| 印 刷           | 北京北林印刷厂                                                                                                            | Printed by      | Beijing Bei Lin Printing House,<br>Beijing 100083, China                                                                                                                          |
| 发 行           | 科 学 出 版 社<br>地址:东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100717<br>电话:(010)64034563<br>E-mail: journal@cspg.net                         | Distributed by  | Science Press<br>Add: 16 Donghuangchenggen North<br>Street, Beijing 100717, China<br>Tel: (010)64034563<br>E-mail: journal@cspg.net                                               |
| 订 购           | 全国各地邮局                                                                                                             | Domestic        | All Local Post Offices in China                                                                                                                                                   |
| 国外发行          | 中国国际图书贸易总公司<br>地址:北京 399 信箱<br>邮政编码:100044                                                                         | Foreign         | China International Book Trading<br>Corporation<br>Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China                                                                                         |
| 广告经营<br>许 可 证 | 京海工商广字第 8013 号                                                                                                     |                 |                                                                                                                                                                                   |



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元