

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica

中国生态学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 19 期 Vol.33 No.19 **2013**

中国生态学会  
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19期 2013年10月 (半月刊)

## 目次

### 中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

- 生态系统服务研究文献现状及不同研究方向评述 ..... 马凤娇,刘金铜,A. Egrinya Eneji (5963)
- 非人灵长类性打搅行为研究进展 ..... 杨斌,王程亮,纪维红,等 (5973)
- 密度制约效应对啮齿动物繁殖的影响 ..... 韩群花,郭聪,张美文 (5981)
- 食物链长度远因与近因研究进展综述 ..... 王玉玉,徐军,雷光春 (5990)
- AM 真菌在植物病虫害生物防治中的作用机制 ..... 罗巧玉,王晓娟,李媛媛,等 (5997)
- 保护性耕作对农田碳、氮效应的影响研究进展 ..... 薛建福,赵鑫,Shadrack Batsile Dikgwatlhe,等 (6006)
- 圈养大熊猫野化培训期的生境选择特征 ..... 张明春,黄炎,李德生,等 (6014)
- 利用红外照相技术分析野生白冠长尾雉活动节律及时间分配 ..... 赵玉泽,王志臣,徐基良,等 (6021)
- 风速和持续时间对树麻雀能量收支的影响 ..... 杨志宏,吴庆明,董海燕,等 (6028)
- 白马雪山自然保护区灰头小鼯鼠的巢址特征 ..... 李艳红,关进科,黎大勇,等 (6035)
- 生境片段化对千岛湖岛屿上黄足厚结猛蚁遗传多样性的影响 ..... 罗媛媛,刘金亮,黄杰灵,等 (6041)
- 基于 28S, COI 和 Cytb 基因序列的薛荔和爱玉子传粉小蜂分子遗传关系研究 .....  
..... 吴文珊,陈友铃,孙伶俐,等 (6049)
- 高榕榕果内 *Eupristina* 属两种榕小蜂的遗传进化关系 ..... 陈友铃,孙伶俐,武蕾蕾,等 (6058)
- 镉胁迫下杞柳对金属元素的吸收及其根系形态构型特征 ..... 王树凤,施翔,孙海菁,等 (6065)
- 邻苯二甲酸对萝卜种子萌发、幼苗叶片膜脂过氧化及渗透调节物质的影响 .....  
..... 杨延杰,王晓伟,赵康,等 (6074)
- 极端干旱区多枝桧柳幼苗对人工水分干扰的形态及生理响应 ..... 马晓东,王明慧,李卫红,等 (6081)
- 贝壳砂生境酸枣叶片光合生理参数的水分响应特征 ..... 王荣荣,夏江宝,杨吉华,等 (6088)
- 陶粒覆盖对土壤水分、植物光合作用及生长状况的影响 ..... 谭雪红,郭小平,赵廷宁 (6097)
- 不同林龄短枝木麻黄小枝单宁含量及养分再吸收动态 ..... 叶功富,张尚炬,张立华,等 (6107)
- 珠江三角洲不同污染梯度下森林优势种叶片和枝条 S 含量比较 ..... 裴男才,陈步峰,邹志谨,等 (6114)
- AM 真菌和磷对小马安羊蹄甲幼苗生长的影响 ..... 宋成军,曲来叶,马克明,等 (6121)
- 盐氮处理下盐地碱蓬种子成熟过程中的离子积累和种子萌发特性 ..... 周家超,付婷婷,赵维维,等 (6129)
- CO<sub>2</sub> 浓度升高条件下内生真菌感染对宿主植物的生理生态影响 ..... 师志冰,周勇,李夏,等 (6135)
- 预处理方式对香蒲和芦苇种子萌发的影响 ..... 孟焕,王雪宏,佟守正,等 (6142)
- 镉在土壤-金丝垂柳系统中的迁移特征 ..... 张雯,魏虹,孙晓灿,等 (6147)
- 马尾松人工林近自然化改造对植物自然更新及物种多样性的影响 ..... 罗应华,孙冬婧,林建勇,等 (6154)
- 濒危海草贝克喜盐草的种群动态及土壤种子库——以广西珍珠湾为例 .....  
..... 邱广龙,范航清,李宗善,等 (6163)
- 毛乌素沙地南缘沙丘生物结皮对凝结水形成和蒸发的影响 ..... 尹瑞平,吴永胜,张欣,等 (6173)
- 塔里木河上游灰胡杨种群生活史特征与空间分布格局 ..... 韩路,席琳乔,王家强,等 (6181)
- 短期氮素添加和模拟放牧对青藏高原高寒草甸生态系统呼吸的影响 ..... 宗宁,石培礼,蒋婧,等 (6191)
- 松嫩平原微地形下土壤水盐与植物群落分布的关系 ..... 杨帆,王志春,王云贺,等 (6202)

广州大夫山雨季林内外空气 TSP 和 PM <sub>2.5</sub> 浓度及水溶性离子特征 .....	肖以华,李 炯,旷远文,等 (6209)
马鞍列岛岩礁生境鱼类群落结构时空格局 .....	汪振华,赵 静,王 凯,等 (6218)
黄海细纹狮子鱼种群特征的年际变化 .....	陈云龙,单秀娟,周志鹏,等 (6227)
三种温带森林大型土壤动物群落结构的时空动态 .....	李 娜,张雪萍,张利敏 (6236)
笔管榕榕小蜂的群落结构与物种多样性 .....	陈友铃,陈晓倩,吴文珊,等 (6246)
海洋生态资本理论框架下的生态系统服务评估 .....	陈 尚,任大川,夏 涛,等 (6254)
中国地貌区划系统——以自然保护区体系建设为目标 .....	郭子良,崔国发 (6264)
生态植被建设对黄土高原农林复合流域景观格局的影响 .....	易 扬,信忠保,覃云斌,等 (6277)
华北农牧交错带农田-草地景观镶嵌体土壤水分空间异质性 .....	王红梅,王仲良,王 堃,等 (6287)
中国北方春小麦生育期变化的区域差异性与气候适应性 .....	俄有浩,霍治国,马玉平,等 (6295)
中国南方喀斯特石漠化演替过程中土壤理化性质的响应 .....	盛茂银,刘 洋,熊康宁 (6303)
气候变化对东北沼泽湿地潜在分布的影响 .....	贺 伟,布仁仓,刘宏娟,等 (6314)
内蒙古不同类型草地土壤氮矿化及其温度敏感性 .....	朱剑兴,王秋风,何念鹏,等 (6320)
黑河中游荒漠绿洲区土地利用的土壤养分效应 .....	马志敏,吕一河,孙飞翔,等 (6328)
成都平原北部水稻土重金属含量状况及其潜在生态风险评价 .....	秦鱼生,喻 华,冯文强,等 (6335)
大西洋中部延绳钓黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系 .....	杨胜龙,马军杰,张 禹,等 (6345)
夏季台湾海峡南部海域上层水体的生物固氮作用 .....	林 峰,陈 敏,杨伟锋,等 (6354)
北长山岛森林乔木层碳储量及其影响因子 .....	石洪华,王晓丽,王 媛,等 (6363)
植被类型变化对长白山森林土壤碳矿化及其温度敏感性的影响 .....	王 丹,吕瑜良,徐 丽,等 (6373)
油松遗传结构与地理阻隔因素的相关性 .....	孟翔翔,狄晓艳,王孟本,等 (6382)
基于辅助环境变量的土壤有机碳空间插值——以黄土丘陵区小流域为例 .....	文 雯,周宝同,汪亚峰,等 (6389)
基于生命周期视角的产业资源生态管理效益分析——以虚拟共生网络系统为例 .....	施晓清,李笑诺,杨建新 (6398)
生态脆弱区贫困与生态环境的博弈分析 .....	祁新华,叶士琳,程 煜,等 (6411)
“世博”背景下上海经济与环境的耦合演化 .....	倪 尧,岳文泽,张云堂,等 (6418)



**封面图说:** 毛乌素沙地南缘沙丘的生物结皮——生物土壤结皮广泛分布于干旱和半干旱区,它的形成和发育对荒漠生态系统生态修复过程产生重要的影响。组成生物结皮的藻类、苔藓和地衣是常见的先锋植物,它们不仅能在严重干旱缺水、营养贫瘠恶劣的环境中生长、繁殖,并且能通过其代谢方式影响并改变环境。其中一个重要的特点是,生物结皮表面的凝结水显著大于裸沙。研究表明,凝结水是除降雨之外最重要的水分来源之一,在水分极度匮乏的荒漠生态系统,它对荒漠生态系统结构、功能和过程的维持产生着重要的影响。

**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/stxb201306071389

易扬, 信忠保, 覃云斌, 肖玉玲. 生态植被建设对黄土高原农林复合流域景观格局的影响. 生态学报, 2013, 33(19): 6277-6286.

Yi Y, Xin Z B, Qin Y B, Xiao Y L. Impact of ecological vegetation construction on the landscape pattern of a Loess Plateau Watershed. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(19): 6277-6286.

## 生态植被建设对黄土高原农林复合流域景观格局的影响

易 扬, 信忠保\*, 覃云斌, 肖玉玲

(北京林业大学水土保持学院, 北京 100083)

**摘要:** 自 1999 年以来, 黄土高原大规模地实施了退耕还林工程, 生态环境呈显著恢复态势。采用 2002 年和 2008 年两期 Spot5 遥感影像, 评估了退耕还林工程实施前后黄土高原典型农林复合流域土地利用与景观格局的动态变化。结果表明: 在退耕还林工程实施的驱动下, 流域土地利用变化剧烈, 总变化率高达 36.77%, 主要变化的土地利用类型包括耕地、果园、幼林地、林地等。28.95% 的耕地转为其他土地利用类型, 其中 48.83% 转为果园, 44.69% 转为幼林地。景观格局变化呈明显的空间分布规律, 山腰缓坡区以转化为果园为主, 中、高海拔多转化为幼林地。退耕后流域生态景观得以优化, 呈现良好发展态势。

**关键词:** 生态恢复; 黄土高原; 土地利用; 景观格局; 动态变化

### Impact of ecological vegetation construction on the landscape pattern of a Loess Plateau Watershed

YI Yang, XIN Zhongbao\*, QIN Yunbin, XIAO Yuling

School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

**Abstract:** Due to loose soil property and sparse vegetation coverage, the Loess Plateau is a famous soil erosion region in China or even the world. Although widespread ecological restoration efforts have been devoted in past decades, little progress could be seen in the loess region as a result of its unique natural environments. The ecological environment has not been significantly restored until 1999 with the introduction of the Grain for Green Project. As the largest program in history to restore ecological environment, this project has attracted the participation of huge number of farmers. Furthermore, it has involved the most extensive area and the largest amount of domestic investment and as a result, the degraded ecological environment has been gradually restored. With the implementation of the project, it is expected the land use/landscape has been changed accordingly. Prior studies have widely investigated the spatial-temporal dynamics and their driving forces of landscape patterns in medium-to-large watersheds by analyzing Landsat TM remote sensing data. In contrast, studies on landscape patterns in small watersheds through high-resolution remote sensing images are lacking, in particular on the land use dynamics resulted from various ecological restoration projects. Up to now, the Grain for Green projects has been implemented for more than 10 years, and it is now in the benefit consolidation phase. Therefore, an urgent need at present is to quantitatively evaluate the impacts of the ecological restoration project on land use change and landscape patterns through remote sensing and GIS techniques, with which to provide guidelines for future policies and decision making. Based on the Luoyugou watershed in Tianshui (Gansu Province), this study evaluated the dynamic changes of land use and landscape patterns between 2002 and 2008 by analyzing Spot5 remote sensing images. The results show that its land use and landscape patterns have been substantially changed due to the implementation of the Grain for Green project, with a total change of 36.77%. Major changed land use categories were cropland, orchards, young forest plantation, and forestland. In particular, 28.95% of the cropland had been converted to other land use patterns during the study period, of which,

**基金项目:** 国家自然科学基金青年科学基金项目(41001362); 水利部黄土高原水土流失过程与控制重点实验室开放课题基金项目(201301)

**收稿日期:** 2013-05-07; **修订日期:** 2013-07-25

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xinzhongbao@126.com

48.83% had been converted to orchards and 44.69% to young forest plantation. The changes of landscape patterns showed an obvious spatial distribution, with most of the gentle slope regions being converted to orchards and the medium-to-high altitudes mainly to young forest plantation regions. After the implementation of the Grain for Green project, the ecological landscape in the Luoyugou watershed has been greatly improved, indicating a good sign for future development.

**Key Words:** ecological restoration; the Loess Plateau; land use; landscape pattern; dynamic change

黄土高原地形破碎、土壤疏松、植被稀疏,是我国乃至世界著名的水土流失区。我国在黄土高原长期开展了生态恢复工作,但由于其特殊地理环境特征,生态恢复效果一直不甚理想。自1999年,我国大规模地实施了退耕还林工程,有史以来规模最大,投资最多,在国内外引起了广泛关注<sup>[1-3]</sup>。黄土高原是退耕还林工程的重点实施区,采用自然恢复为主,人工恢复为辅的方式,经近10年治理,黄土高原生态环境呈现明显的上升趋势。随着退耕还林工程的实施,黄土高原土地利用/景观格局势必随之发生相应变化。目前,黄土高原土地利用/景观格局时空变化、驱动力分析、环境影响等方面都取得了诸多进展<sup>[4-10]</sup>。刘秀丽等计算和分析近十年宁武县土地利用变化过程,得出黄土高原土地利用程度与供给服务和文化服务的相关性较强,而与调节服务和支撑服务的相关性较差<sup>[11]</sup>。朱战强等分析了宁南黄土丘陵区的景观格局变化,认为退耕还林工程是当地景观格局良性演化的主要驱动力,退耕还林后,大量耕地转化为林地,景观格局演化剧烈<sup>[8]</sup>。这些研究多采用 Landsat TM 遥感数据对大中尺度流域开展土地利用/景观格局研究,缺乏基于高分辨率影像对中小流域土地利用/景观格局的定量研究,特别缺乏针对退耕还林等生态工程驱动下的流域土地利用/景观格局动态的专门研究。截止目前,退耕还林工程实施已有10余年,项目已进入后期巩固阶段。当前迫切需要利用遥感/GIS手段,开展退耕还林工程的监测与评价,客观定量地评估它对土地利用/景观格局的影响,为生态建设政策制定、管理和决策提供科学依据。本研究以甘肃省天水市罗玉沟流域为研究区,基于 SPOT5 遥感影像与 GIS 空间分析功能,定量评估退耕还林前后流域土地利用/生态景观的变化强度与空间格局,分析土地利用/生态景观时空变化与地形因子的相互关系,以期为黄土高原生态植被建设规划、政策、决策等方面提供科学依据。

## 1 研究区概况

罗玉沟流域位于甘肃省天水市北郊,属黄土丘陵沟壑区第三副区,是黄河主要支流渭河的二级支流<sup>[12]</sup>。流域面积 72.79 km<sup>2</sup>,呈狭长形,羽状沟系,平均宽度 3.37 km,主沟长 21.63 km,海拔 1165—1895 m。罗玉沟地貌属于黄土梁状地貌,沟深坡陡,平均坡度为 19°<sup>[13]</sup>。流域属于典型的大陆性季风气候,年平均降水量为 531.1 mm,年平均气温为 10.7 °C,流域 91.7% 的土壤为山地灰褐土。流域内果园栽植树种主要包括苹果、樱桃、桃、梨、杏,其中樱桃和苹果具有主导性;林地乔木均为人工栽植物种,主要为刺槐 (*Robinia pseudoacacia*)、侧柏 (*Platycladus orientalis*)、油松 (*Pinus tabulaeformis*)、旱柳 (*Salix matsudana* Roidz) 和白榆 (*Ulmus pumila*) 等;灌木分布较为破碎,主要包括狼牙刺 (*Sophora viciifolia* Honce)、沙棘 (*Hippophae rhamnoides* Linn) 和花椒 (*Zanthoxylum bungeanum* Maxim) 等<sup>[14]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 数据处理

本研究遥感影像为 2002-08-25 和 2008-05-05 两期 SPOT5 影像,包括 4 个通道 10 m 分辨率的多光谱数据和 2.5 m 分辨率的全色波段数据。为提高遥感影像解译的精度,在综合考虑遥感影像数据光谱信息、纹理特征的基础上,根据所获取的统计资料、地形图及各种专题图件,于 2012 年 7 月利用 GPS 完成对罗玉沟流域 17 个几何校正配准点空间定位采集工作。按照幼林地、林地、耕地、果园、裸地、草地、建设用地、居民点、河流、公路等 10 种土地利用类型,记录 118 个典型土地利用样地经纬度,用于图像解译精度验证。利用野外采集的 17 个配准点,对 2008 年全色影像进行二次多项式几何精确校正,误差控制在 0.5 个象元内,以精确校正的 2008 年全色影像为参考,对其余影像进行精确校正。在 ArcGIS 和 Erdas 软件支持下,采用监督分类的方法进行遥感影像计算及辅助解译,获得 2002 年和 2008 年 2 期土地利用数据,分类的总精度分别为 87.50% 和 90.10%,Kappa 系数分别是 0.85 和 0.87。利用 118 个野外验证点的数据对 2008 年解译影像进行验证,精度为 95.74%,完全满足流域土地利用与景观格局分析的要求。

### 2.2 土地利用/覆被变化研究方法

单一土地利用/覆被变化类型的面积净变化 ( $N_c$ ) 为土地类型一定时期内转入面积与转出面积之差,总变化 ( $T_c$ ) 指转入面积与转出面积之和,趋势与状态指数 ( $P_i$ ) 反映了土地变化的动态,净变化速度 ( $R_i$ ) 表征了土地类型面积随时间变化的快慢。总体土地利用/覆被变化的面积净变化 ( $S_a$ )、总变化 ( $S_s$ )、趋势与状态指数 ( $P_i$ ) 和净变化速度 ( $R_i$ ) 反映了流域总体变化。

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

$$T_c = \frac{\Delta U_{in} + \Delta U_{out}}{U_a} \times 100\% \quad (2)$$

$$P_s = \frac{N_c}{T_c} \quad (3)$$

$$R_s = \left[ \sqrt{\frac{U_b}{U_a}} - 1 \right] \times 100\% \quad (4)$$

$$S_a = \frac{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (|U_{bi} - U_{ai}|)}{\sum_{i=1}^n U_{ai}} \times 100\% \quad (5)$$

$$S_s = \frac{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (|U_{in-i} + U_{out-i}|)}{\sum_{i=1}^n U_{ai}} \times 100\% \quad (6)$$

$$P_t = \frac{S_a}{S_s} \quad (7)$$

$$R_t = \left[ \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n U_{ai} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (|U_{bi} - U_{ai}|)}{\sum_{i=1}^n U_{ai}}} - 1 \right] \times 100\% \quad (8)$$

式中,  $U_a$ 、 $U_b$  分别为研究初期和研究末期 LUC 类型 A 的面积/ $\text{hm}^2$ ;  $\Delta U_{out}$  为 A 转变为其它的面积之和/ $\text{hm}^2$ ;  $\Delta U_{in}$  为其它类型转变为 A 的面积之和/ $\text{hm}^2$ ;  $U_{ai}$ 、 $U_{bi}$  分别为研究初期和研究末期第  $i$  种土地类型的面积/ $\text{hm}^2$ ;  $\Delta U_{out-i}$  为研究时段内第  $i$  种 LUC 类型转变为其它类型的面积之和/ $\text{hm}^2$ ;  $\Delta U_{in-i}$  为其它类型转变为第  $i$  种类型的面积之和/ $\text{hm}^2$ ;  $n$  为 LUC 的类型数,  $T$  为研究时段;  $N_c$ 、 $T_c$ 、 $R_s$ 、 $S_a$ 、 $S_s$ 、 $R_t$  均用百分比量化/%,  $P_s$  和  $P_t$  介于 -1 与 1 之间, 表征土地变化的动态和方向<sup>[15]</sup>。

### 2.3 土地景观格局变化表征模型

景观格局既是景观异质性的具体体现, 又是各种生态过程在不同尺度上作用的结果<sup>[16]</sup>。在景观类型水平上分析景观指标时, 选取退耕还林评估时常用景观指数斑块数、斑块密度、平均斑块面积、平均形状指数、散布与并列指数、蔓延度指数、香农多样性指数和香农均匀度共 8 个指标<sup>[17, 8, 18]</sup>。其中, 斑块数可以决定景观各种物种及其次生种的空间分布特征, 改变物种间相互作用和协同共生的稳定性。斑块密度表示景观中单位面积斑块数量。平均斑块面积可以表征景观类型的破碎度。平均形状指数可以直接表征斑块的复杂程度。香农多样性指数反应了生态学种的多样性与物种多样性。香农均匀度表征了景观中斑块分布是否受某一优势类型支配或分布均匀。散布与并列指数对受到某种自然条件严重制约的生态系统特征反映显著。蔓延度指数描述了景观里不同拼块的团聚程度和延展趋势。

### 2.4 地形面积分布

地形是导致景观格局差异的重要原因, 在人类活动影响较大地区, 地形特征通常成为控制土地利用空间分布的决定要素。为综合反映土地利用类型的出现频率, 表达不同地形因子梯度(高程、坡度、坡向)上的土地覆盖类型分布特征, 利用 ArcGIS 空间叠加分析的方法, 计算了不同地形因子下主要土地覆盖类型的面积变化:

1) 坡度面积分布 采用栅格像元统计的方式将研究区不同坡度分为 20 个坡度级, 每个坡度级的面积占总流域面积的 5%。

2) 高程面积分布 采用栅格像元统计的方式将研究区不同高程分为 20 个高程带, 每个高程带的面积占总流域面积的 5%。

3) 坡向面积分布 以正北方为  $0^\circ$ , 按顺时针方向旋转来划分坡向,  $0-45^\circ$  和  $315-360^\circ$  为北坡;  $45-90^\circ$  和  $90-135^\circ$  为东坡;  $135-180^\circ$  和  $180-225^\circ$  为南坡;  $225-270^\circ$  和  $270-315^\circ$  为西坡。

## 3 结果与分析

### 3.1 土地利用结构及其变化

通过定量化的要素或值分析两个时期的 LUC 分类面积以及其面积变化百分比(表 1)。对退耕还林前后两期土地利用图进行统计, 结果表明: 果园、幼林地、林地和耕地是罗玉沟流域主导性的土地利用类型, 占流域总面积 90% 以上(图 1)。研究区自 1999 年退耕还林以来, 耕地面积由原来  $5217.90 \text{ hm}^2$  下降为  $3707.08 \text{ hm}^2$ , 下降了 28.95%, 而幼林地与果园面积分别由 2002 年的  $816.02 \text{ hm}^2$  和  $410.54 \text{ hm}^2$ , 增加到 2008 年的  $1547.52 \text{ hm}^2$  和  $1061.91 \text{ hm}^2$ , 分别增加了  $731.50 \text{ hm}^2$  (89.64%) 和  $651.37 \text{ hm}^2$  (158.66%)。丘陵区主要为耕地转变为幼林地, 而沟壑区, 特别是流域中下游人口密集地区耕地以转变为果园为主。研究时段内草地面积有所增加, 由  $71.02 \text{ hm}^2$  增加到  $131.09 \text{ hm}^2$ , 净增面积为  $60.07 \text{ hm}^2$ , 裸地面积减少了 20.39%。而居民点和建设用地, 不同时段面积总和分别为  $4.98 \text{ hm}^2$  和  $5.86 \text{ hm}^2$ , 变化不大。

就流域总体土地利用面积变化而言, 在 2002 至 2008 年间, 土地利用面积总变化  $S_s$  和净变化  $S_a$  分别为 36.77% 和 20.68%,

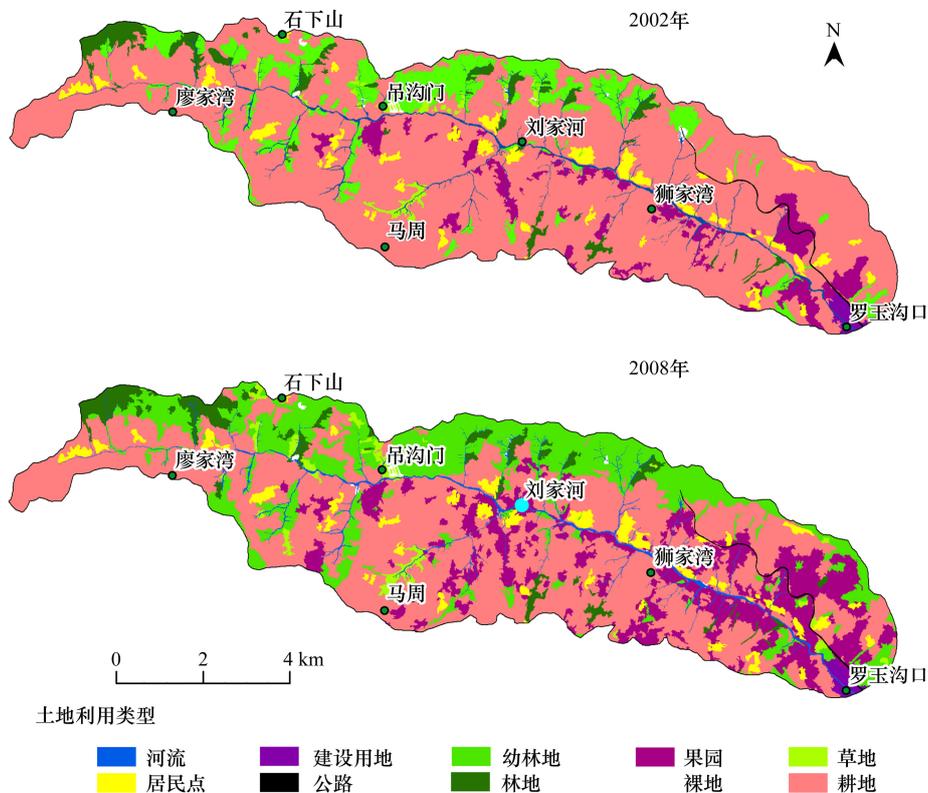


图1 退耕前后罗玉沟流域土地利用格局分布

Fig.1 Distribution of land use of Luoyugou after Grain for Green

变化较大(表1)。导致这种变化的原因主要发生在研究区耕地、生态林和经济林中。就单一土地利用变化而言,河流和耕地的状态趋势指数  $P_i$  分别为-1.00和-0.88,说明这两种土地利用类型主要转换为其它土地利用类型,呈现不平衡状态,致使河流萎缩,耕地减少。而居民点、幼林地、果园的趋势与状态指数分别为0.73、0.75和0.82,同样处于不平衡状态,它们面积持续扩张。草原、裸地、林地和建设用地的趋势与状态指数分别为0.43、-0.36、0.40和0.21,呈现较为平衡的状态,面积变化不大。就整个研究时段而言,流域趋势与状态指数  $P_i$  为0.58,说明流域内土地利用/覆被变化处于不平衡状态,以单向转换为主。土地利用/覆被变化综合净变化速度  $R_i$  为3.21%,与其它流域相比变化速度较高,说明研究时段内研究区土地利用类型发生了剧烈的转变<sup>[19]</sup>。这种趋势主要是耕地面积的转变造成的,这种变化总体可能有利于流域的生态恢复。

表1 罗玉沟流域土地类型的面积、状态及趋势

Table 1 Area, status and trends of different land use in Luoyugou

土地类型 Land use	2002		2008		2002—2008			
	面积 Area /hm <sup>2</sup>	比例 Proportion /%	面积 Area /hm <sup>2</sup>	比例 Proportion /%	净变化 Net change/%	总变化 Total change/%	趋势 Trend and state index	净变化速度 Speed of net change/%
河流 River	160.86	2.22	160.35	2.21	-0.23	0.23	-1.00	-0.05
居民点 Residential points	275.17	3.79	280.51	3.86	1.80	2.46	0.73	0.32
建设用地 Built-up land	35.58	0.49	37.80	0.52	6.18	29.09	0.21	1.01
公路 Highway	21.50	0.30	21.62	0.30	0.00	0.00	0.00	0.09
幼林地 Young plantation	816.02	11.24	1547.52	21.32	89.06	119.07	0.75	11.26
林地 Forestland	234.73	3.23	298.55	4.11	27.16	67.99	0.40	4.09
果园 Orchard	410.54	5.65	1061.91	14.63	158.69	193.46	0.82	17.16
裸地 Bare land	16.72	0.23	13.31	0.18	-21.97	60.75	-0.36	-3.74
草地 Grassland	71.02	0.98	131.09	1.81	84.79	197.38	0.43	10.76
耕地 Cropland	5217.90	71.87	3707.38	51.07	-28.94	32.98	-0.88	-5.54
2002—2008	20.86% ( $S_a$ ) 35.76% ( $S_s$ )		0.58 ( $P_i$ ) 3.21% ( $R_i$ )					

$S_a$ 、 $S_s$ 、 $P_i$  和  $R_i$  分别为总体土地利用净变化、总变化、趋势与状态指数和净变化速度

3.2 空间格局变化

退耕还林工程实施前后,天水罗玉沟流域土地利用发生了显著变化(表 2)。耕地转出面积总和为 1575.68 hm<sup>2</sup>,其中,转为幼林地和果园的面积分别为 769.41 hm<sup>2</sup> 和 704.10 hm<sup>2</sup>,占总转出面积的 48.83%和 44.69%(图 2)。退耕前后幼林地转入部分面积为 821.51 hm<sup>2</sup>,原有面积为 816.02 hm<sup>2</sup>,转入部分面积占原有面积的 100.67%。表明研究期间耕地转为幼林地是流域最主要的植被变化过程,植被建设效果显著(图 2)。流域内果园基本分布在东南方地势较为平缓的地带,其面积在原有基础上处于扩展趋势,由原来的 410.54 hm<sup>2</sup> 增加到 1061.91 hm<sup>2</sup>,面积增加了 158.66%。退耕还林工程驱动下,耕地大规模地转为生态幼林地和果园经济林,这种剧烈的土地利用变化,一方面源于退耕还林工程项目实施,致使大量坡耕地转为幼林地,减缓水土流失,改善生态环境;一方面由于果园经济效益明显好于农业耕种,在市场经济效益驱动下,耕地大规模地转为更容易提高自身经济效益的果园,当前多种植苹果、樱桃、梨。流域内天水花牛苹果、万亩樱桃园在甘肃乃至全国都有一定的影响,近年来成为当地人民重要的经济收入来源。

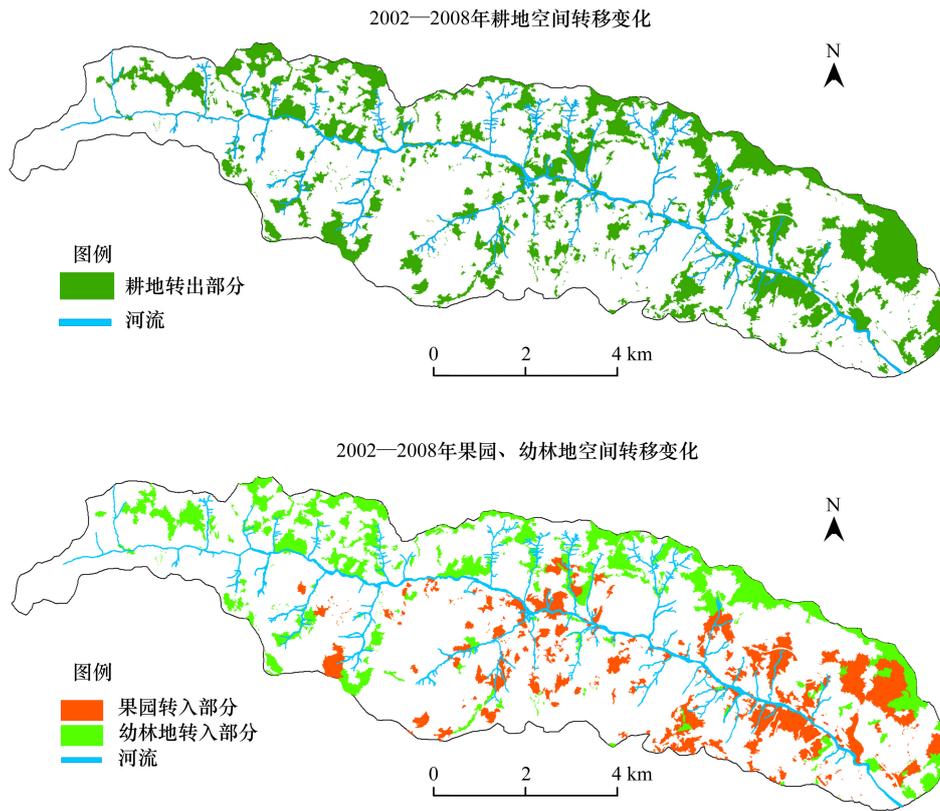


图 2 2002—2008 年土地利用空间转移图

Fig.2 Spatial transition diagram of land use in Luoyugou during 2002 and 2008

表 2 罗玉沟流域土地类型的面积转移矩阵/hm<sup>2</sup>

Table 2 Transition matrix type of different land use in Luoyugou

		2002									
2008		河流 River	居民点 Residential points	建设用地 Built-up land	公路 Highway	幼林地 Young plantation	林地 Forestland	果园 Orchard	裸地 Bare land	草地 Grassland	耕地 Cropland
河流 River		161.09									
居民点 Residential points			274.44								5.74
建设用地 Built-up land				314.95							5.16
公路 Highway					21.61			1.11			
幼林地 Young plantation						693.32	14.89	4.93	32.28		769.41
林地 Forestland						90.27	186.50				
果园 Orchard								393.30		1.90	704.10
裸地 Bare land									9.74		
草地 Grassland									4.77	31.03	70.85
耕地 Cropland									1.39	4.89	3601.97

### 3.3 景观水平上的景观格局分析

退耕还林后流域斑块数增加,景观多样性提高,破碎度大,密度增大,斑块平均面积逐渐减小(表3)。这种变化对许多生态过程都有影响,决定了景观中各种物种及其次生种的空间分布特征。说明退耕还林后,物种间相互作用和协同共生的稳定性得到了提高,这对某些干扰的蔓延(虫灾、火灾等)有抑制作用。

罗玉沟流域退耕还林前后的香农多样性指数分别为 1.07 和 1.42,且 2008 年流域香农多样性指数与其它流域相比较高<sup>[20]</sup>,表明退耕还林后,研究区景观多样性提高,不定性信息含量增加,而景观多样性与物种多样性的关系成正态分布,说明退耕还林对当地物种多样性恢复起到促进作用。香浓均匀度较小时优势度一般较高,可以反映出景观受到一种或少数几种优势斑块类型所支配,2002 年和 2008 年香浓均匀度分别为 0.46 和 0.62,表明流域内受到主要斑块的支配,即耕地斑块,但退耕还林后,林地和果园斑块逐渐增多,香浓均匀度逐渐增大,各斑块景观分布逐渐向均匀方向发展。

退耕还林前后罗玉沟流域的散布与并列指数分别为 56.88%和 61.32%,随时间变化呈现增大的趋势,表明研究区不同景观类型斑块之间的相邻分布整体上呈现均匀化的趋势。两个时期蔓延度指数分别为 72.63%和 64.03%,表明退耕后景观形成具有多种要素的密集格局,景观的破碎化程度较高。

综合各个景观格局指数,总体反应流域退耕还林后,景观格局更为丰富,斑块破碎,格局密集,空间异质性提高,这对流域内生物多样性恢复和植被的建设有良好促进作用。

表 3 罗玉沟流域景观水平上的景观格局指数

Table 3 Landscape pattern index in Luoyugou on landscape level

年份 Year	斑块数 Number of patches	斑块密度 Patch density /(块/hm <sup>2</sup> )	平均斑块面积 Mean area /hm <sup>2</sup>	平均形状指数 Mean shape index	散布与并列指数 Interspersion and juxtaposition index/%	蔓延指数 Contagion /%	香浓多样性指数 Shannon diversity index	香浓均匀度 Shannon equation index
2002	511	1.24	14.18	1.74	56.88	72.63	1.07	0.46
2008	659	1.52	11.00	1.75	61.32	64.03	1.42	0.62

## 4 讨论

### 4.1 地形对土地利用变化的影响

在山区,地形控制了太阳辐射和降水的空间再分配,因此能较好地指示局部的小气候条件。地形特征包括坡向、海拔、坡度等。对研究区不同地形因子下土地利用类型进行分析,从坡度分级(图3)来看,退耕还林后,25°以下耕地大面积向幼林地和果园转化,由 4445.98 hm<sup>2</sup> 减少到 3368.17 hm<sup>2</sup>,果园面积由 381.59 hm<sup>2</sup> 增加到 984.84 hm<sup>2</sup>,增加面积占原面积的 158.09%,耕地大面积转化为果园。25°以上耕地面积由原来的 771.98 hm<sup>2</sup> 减少到 339.21 hm<sup>2</sup>,减少了 432.77 hm<sup>2</sup>(56.06%),而幼林地面积由原来的 487.03 hm<sup>2</sup> 增加到 727.09 hm<sup>2</sup>,增加了 240.06 hm<sup>2</sup>(49.29%)。25°以下耕地面积占 4 种主要土地利用总面积百分比从 84.83% 下降到 64.00%,25°以上幼林地面积百分比由 36.42% 上升到 54.76%。这说明研究时段内,流域土地利用发生了剧烈变化,主要表现为耕地向幼林地和果园的转变。从坡向分级(图3)可看出退耕还林后东南西北四个坡向,果园和幼林地都大面积增加,果园面积在东坡较其它坡向有大幅度提升,占总面积百分比从原来的 6.98% 变为 30.00%,这可能是由于人为自主选择造成的,农户选择向阳面的东坡发展果园可提高果树的光照时间,增产优质水果。而东边、南边、西边和北边,幼林地面积占四种主要土地利用类型百分比由原来的 12.58%、12.60%、17.04% 和 11.07% 提升到 17.64%、32.13%、29.50% 和 12.67%。从高程成分级(图3)来看,退耕还林后,耕地类型在 1500 m 以下由 2352.52 hm<sup>2</sup> 减少到 1646.04 hm<sup>2</sup>,集中转化为经济林(果园),1500 m 以上由 2865.38 hm<sup>2</sup> 减少到 2061.34 hm<sup>2</sup>,集中转化为生态林(幼林地和林地),1800 m 以上幼林地和林地总面积由原来的 88.65% 转变为 99.54%。退耕还林后,高海拔地区耕地几乎全为林地,而低海拔地区植被建设也颇有成效,这能够有效的改善研究区环境,利于当地生态恢复。综上,退耕还林后,流域幼林地和果园面积迅速增加,耕地面积大幅下降,低海拔缓坡区域主要向果园转化,高海拔区域主要转化为生态林。

### 4.2 降水对土地利用变化的影响

甘肃罗玉沟流域地处黄土高原丘陵沟壑区第三副区,具有典型的大陆季风性气候。流域内降水在一定程度上会改变区域水系统和水环境,最终影响区域景观的空间分布格局<sup>[21]</sup>。1986—1999 年罗玉沟平均降水量为 453.77 mm,2000 年至 2004 年平均降雨量为 584.92 mm,为退耕还林工程实施提供了良好的水文条件。当然,随着退耕还林的实施,生态植被显著恢复也势必影响到流域水文过程。植被及地面上枯枝落叶拦蓄降水,增加地表入渗量,减少地表径流。根据流域水量平衡,在降水量大致相同的条件下,蒸发量增加,径流量也会相应减少。研究区平均径流量为 0.96 m<sup>3</sup>/s,近年来呈下降趋势,20 世纪后,平均径流量为 0.88 m<sup>3</sup>/s<sup>[22-23]</sup>。这与当地退耕还林工程实施后,林地面积增加密切相关。

### 4.3 社会经济因素对土地利用变化的影响

21 世纪以前大部分农户主要以耕种作为主要经济来源方式,退耕还林后,不少农户选择种植果树或外出务工,2004 年以

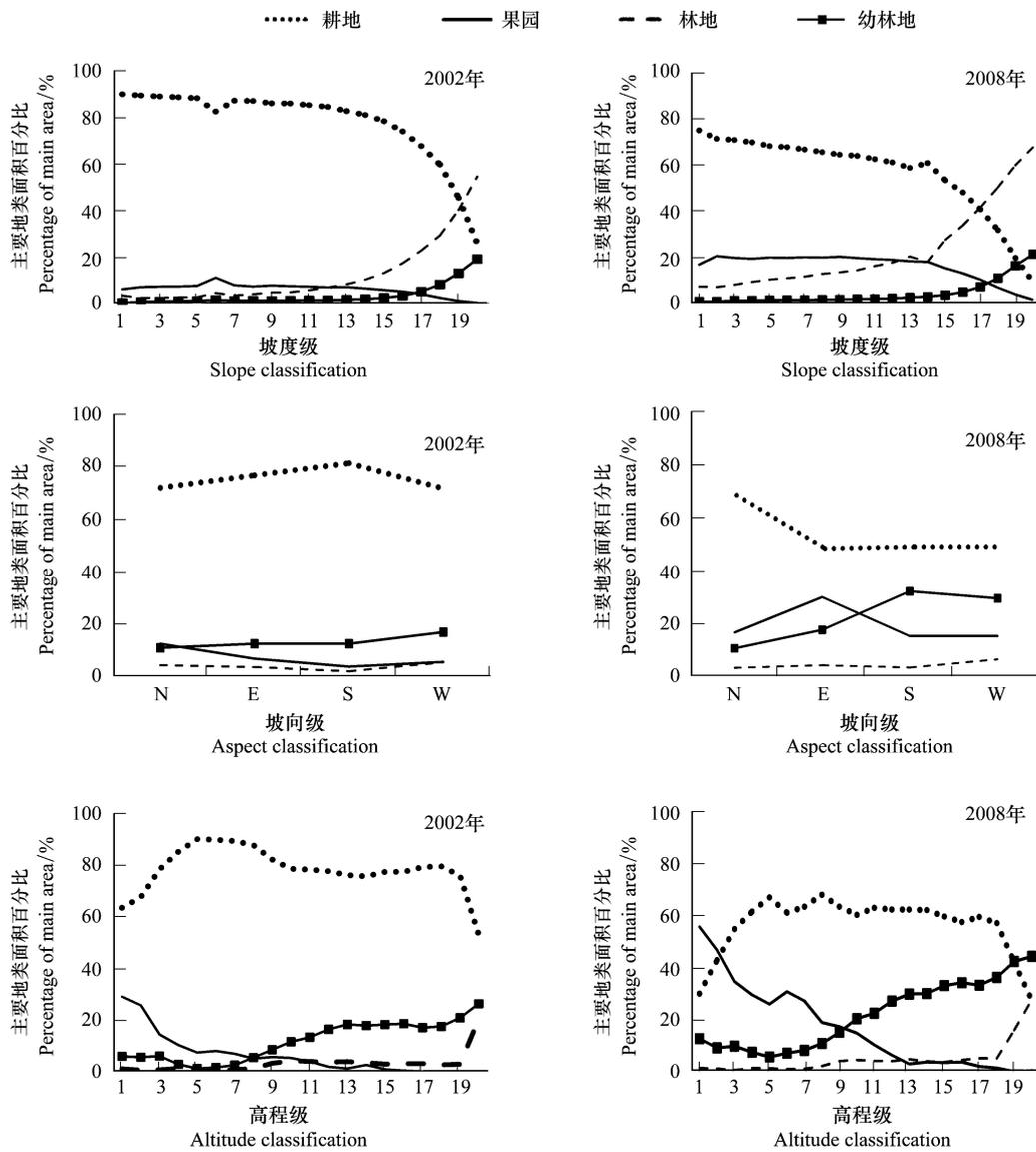


图3 不同地形因子下主要地类总面积的百分比

Fig.3 Percentage of primarily land use under different topographic factors

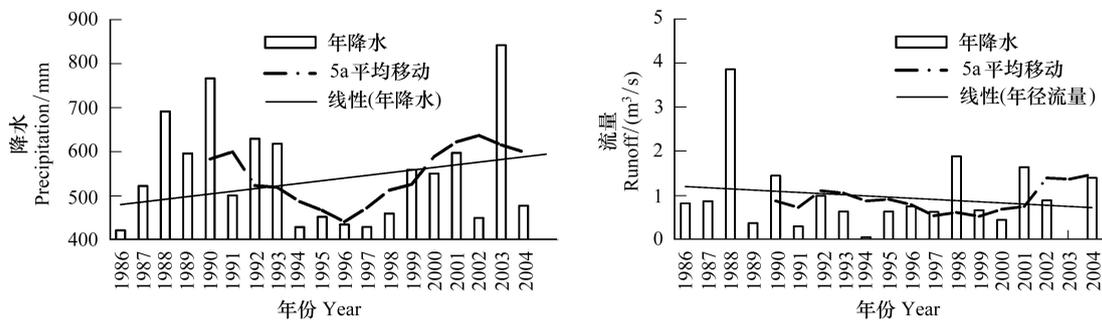


图4 近20年罗玉沟流域降水径流变化

Fig.4 The curves of mean average precipitation and runoff trends about near 20 years in Luoyugou

来,罗玉沟内8个村种植了830 hm<sup>2</sup> 欧美大樱桃,自2008年进入盛果时期后,每年樱桃收入可达8000多万元。驱使更多农户选择发展果树种植行业。根据调查,2007年当地仅靠农业作为经济收入的人口仅占23.4%,22.8%的人口选择了同时发展第一和第二产业,大部分农户选择外出务工,常住人口降低。2000—2005年间,研究区农民的年净收入从831元增加到1205元,其中

退耕还林的财政补助对农民净收入起到支撑作用,且比例随着农民贫困程度的增加而增大<sup>[24]</sup>。研究表明随着退耕还林工程的实施,耕地向林地转变过程中,可降低土壤侵蚀及产流量、增加土壤碳储量、改良土壤结构及质量并使土壤营养元素趋于稳定,这些都成为影响农户经济效益的良性因子。此外,由于人口与经济的发展,对农业用地的需求和对非农业用地的利用随之迅速发展,这也是引起土地利用发生改变的重要因素。土地利用变化的各项动力源之间的作用并非独立的,它们具有层次性,贡献率也各不相同,但人口、经济状况始终是土地利用变化的关键<sup>[25-26]</sup>。

#### 4.4 政策因素对土地利用变化的影响

罗玉沟由于水土流失现象较为严重,在政府未采取大规模生态环境保护政策以前,该区一直以“低投入—低产—开垦荒地—水土流失—旱灾加剧—低产”的方式运营,形成恶性循环。1986年以前,坡耕地面积占总流域的59.67%<sup>[9]</sup>。虽然流域1956年制定农林牧生产及水土保持三年规定,1963年建立了刘家河、南家湾、徐家山、盐池等大面积样板田,但效果不甚理想。直至70年代大规模开展农田建设,才出现大面积水平梯田。该区1983年被列为试点小流域,1982年水平梯田面积为11700 hm<sup>2</sup>,1989年底累计达15800 hm<sup>2</sup><sup>[27]</sup>。在20世纪80年代末期,开展了以梯田建设为突破口的山、水、林、路综合治理示范工程,对土地进行了“坡耕地梯田化、宜林耕地绿化”的“两化”行动,至此,流域内改变了以往的掠夺经营方式。

1999年以来,当地相应政府号召,初步开展了退耕还林工作,2002年流域内全面启动退耕还林工程。2007年对当地311户人家进行调查其中70%的农户参加了退耕还林,涉及土地面积巨大。退耕还林工程的实施和当地农户的响应都使得当地的土地利用类型和生态景观发展了巨大的转变<sup>[28]</sup>。至今,罗玉沟内植被恢复已见成效,农业产业结构调整明显加快,广大群众环保意识明显增强,农民收入不断提高。但经调查,也有农户表示在2018年工程补助停止发放时将重新开垦退耕的土地,将对流域内植被恢复造成威胁,建议政府针对西北地区贫困户,深入进行专题调研,科学界定补助标准,确保退耕还林经济补偿政策的合理性。

## 5 结论

本文在遥感影像解译的基础上,结合各驱动因子,分析了退耕还林前后罗玉沟的土地利用/覆盖动态变化,主要结论如下:

(1)研究区耕地面积大幅度下降,28.95%的耕地转化为其他土地利用类型,主要是幼林地和果园。幼林地增长率为89.64%,果园增长率为185.66%。整个研究时段内,土地利用变化剧烈,流域内土地利用/覆被变化处于不平衡状态,主要表现为单向转化。

(2)各个景观指数表明,该区最为活跃的土地利用类型(耕地)逐渐破碎化,退耕还林后,景观格局更为丰富,空间异质性提高,各斑块景观分布逐渐向均匀化方向发展,这将有利于流域内植被建设、生物多样性和景观生态恢复。

(3)受地形因子的影响,退耕还林后,低海拔缓坡地段主要以耕地向果园的转化为主,中高海拔坡度较陡的地段主要以耕地向幼林地转化。1800 m以上高海拔地区林地面积总和占该海拔面积百分比由88.65%提升至99.54%。综合而言,东南西北4个坡向上耕地面积下降,幼林地、果园和林地面积都有所上升。

(4)流域土地利用变化受自然、社会、经济等多重要素综合影响。但退耕还林生态工程实施与经济效益的影响处于主导地位。自该工程实施以来,当地产业、生产方式和经济发展方向都发生了变化,进而驱动了土地利用与生态景观格局的变化。

## References:

- [ 1 ] Sun Z H, Lei Y P, Zhuo J, Cao X M, Liu Z C, Li D K. Remote sensing analysis of the effectiveness of converting farmland into forest or grass in the hilly gully region of Northern Yanan. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(23): 6555-6562.
- [ 2 ] Zhang X B, Guo L P, Huang L Q. Using of method and result of LUCC study in field of Chinese medicine resources. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2012, 37(11): 1517-1522.
- [ 3 ] López C D, Davis J, Jankowska M M, Grant L, López-Carr A C, Clark M. Space versus place in complex human-natural systems: Spatial and multi-level models of tropical land use and cover change (LUCC) in Guatemala. *Ecological Modelling*, 2012, 229: 64-75.
- [ 4 ] Guo X D, Qiu Y, Lian G, Wang J, Zhang A P. Land quality indicators based on “Press-State-Response” framework at catchment for soil degradation by water erosion. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9): 1884-1894.
- [ 5 ] Zhang Q L, Ma J H, Zhao C Y. Analyze landscape pattern changes of Xinglong mountains and driving force. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(8): 3206-3214.
- [ 6 ] Chen C C, Xie G D, Zhen L, Geng Y H, Leng Y F. Analysis of Jinghe watershed vegetation dynamics and evaluation of its relation to precipitation. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(3): 925-938.
- [ 7 ] Yu X X, Zhang X M, Niu L L, Yue Y J, Wu S H, Zhang M L. Dynamic evolution and driving force analysis of land use/cover change on Loess Plateau Watershed. *Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(7): 220-225.
- [ 8 ] 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.
- [ 9 ] Liu S Y, Yu X X, Li Q Y, Li H Y, Lei F Y. Land use change in loess hilly region based on CA-Markov model. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 11(26): 297-303.
- [ 10 ] Cheng T, Chang Q R, Liu J, Qi Y B, Liu M Y. Temporal and spatial variability of soil available nutrients in arable lands of Heyang county in south Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(2): 554-564.
- [ 11 ] Liu X L, Zhang B, Zhang T F, He X Q. Effects of land use change on ecosystem services in earth-rock mountainous area of Loess Plateau, Northwest China; A case study of Ningwu County. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(4): 1017-1022.
- [ 12 ] Li Q Y, Yu X X, Xin Z B, Liu S Y, Li H G, Han J C. Analysis on soil physical properties of different land uses in a typical watershed of the Loess Plateau. *Research of Soil and Water Conservation*, 2010, 17(6): 106-114.
- [ 13 ] Xie Y Y. Study on the sensitivity analysis and calibration of parameter in swat model. *Research of Soil and Water Conservation*, 2012, 19(4): 204-206.
- [ 14 ] Zhang X M, Cao W H, Yu X X, Wu S H. Effect of LUCC on runoff regulation in watershed in Loess gullied-hilly region of China. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2009, 40(6): 641-650.
- [ 15 ] 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—a case study of Kezuohouqi county, China. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, 32(4): 442-449.
- [ 16 ] Wu J G. *Landscape pattern // Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Hierarchy*. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2007: 27-27.
- [ 17 ] Zhang Z M, Sun C Q, Ou X K. Mountain vegetation spatial pattern changes affected by slope land conservation program (SLCP). *Journal of Mountain Science*, 2009, 27(5): 513-523.
- [ 18 ] Zhao H F, Zhang F R. Analysis of agricultural landscape and the zoning layout of agricultural function in Beijing. *Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(1): 78-84.
- [ 19 ] Zhou D C, Zhao S Q, Zhu C. Impacts of the sloping land conversion program on the land use/cover change in the Loess Plateau; a case study in Ansai county of Shaanxi province, China. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(11): 1866-1878.
- [ 20 ] Bi R T, Zhang W P, Yang M, Cao Y. Study on land landscape pattern and soil erosion risk of small watershed in the Loess Plateau. *Journal of Agriculture*, 2012, 2(6): 54-58.
- [ 21 ] Pan J H, Su Y C, Huang Y S, Liu X. Land use and landscape pattern change and its driving forces in Yumen city. *Geographical Research*, 2012, 31(9): 1632-1638.
- [ 22 ] Lee W J, Lin M S. Preparation and application of polyurethane adhesives made from polyhydric alcohol liquefied Taiwan acacia and China fir. *Journal of Applied Polymer Science*, 2008, 109(1): 23-31.
- [ 23 ] Chen F G, Lu Z M. Liquefaction of wheat straw and preparation of rigid polyurethane foam from the liquefaction products. *Journal of Applied Polymer Science*, 2009, 111(1): 508-516.
- [ 24 ] Han J C. *Hydrological Response on Land Use Change in Luoyugou Watershed [D]*. Beijing: Beijing Forestry University, 2011.
- [ 25 ] Li G L, Pang X M. Effect of land-use conversion on C and N distribution in aggregate fractions of soils in the southern Loess Plateau, China. *Land Use Policy*, 2010, 27(3): 706-712.
- [ 26 ] Chang R Y, Fu B J, Liu G H, Liu S G. Soil carbon sequestration potential for “Grain for Green” project in Loess Plateau, China. *Environmental Management*, 2011, 48(6): 1158-1172.
- [ 27 ] Liu S D, Li J L. Soil erosion and its physical and chemical properties on slope in Luoyugou watershed. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1989, 3(1): 43-50.
- [ 28 ] Wu F Z, Yang Z, Niu J Z, Zhang D W, Zhang X M, Chen Y H. Study on relationships between land use change and soil and water conservation measures in typical watershed of Loess Plateau hilly and gully region. *Research of Soil and Water Conservation*, 2010, 17(2): 10-19.

#### 参考文献:

- [ 1 ] 孙智辉, 雷延鹏, 卓静, 曹雪梅, 刘志超, 李登科. 延安北部丘陵沟壑区退耕还林(草)成效的遥感监测. *生态学报*, 2010, 30(23): 6555-6562.
- [ 4 ] 郭旭东, 邱扬, 连纲, 王静, 张爱萍. 基于 PSR 框架, 针对土壤侵蚀小流域的土地质量评价. *生态学报*, 2004, 24(9): 1884-1894.
- [ 5 ] 张秋玲, 马金辉, 赵传燕. 兴隆山地区景观格局变化及驱动因子. *生态学报*, 2007, 27(8): 3206-3214.

- [ 6 ] 陈操操, 谢高地, 甄霖, 耿艳辉, 冷允法. 泾河流域植被覆盖动态变化特征及其与降雨的关系. 生态学报, 2008, 28(3): 925-938.
- [ 7 ] 余新晓, 张晓明, 牛丽丽, 岳永杰, 武思宏, 张满良. 黄土高原流域土地利用/覆被动态演变及驱动力分析. 农业工程学报, 2009, 25(7): 220-225.
- [ 8 ] 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.
- [ 9 ] 刘淑燕, 余新晓, 李庆云, 李洪禹, 雷凤燕. 基于 CA-Markov 模型的黄土丘陵区土地利用变化. 农业工程学报, 2010, 11(26): 297-303.
- [ 10 ] 陈涛, 常庆瑞, 刘京, 齐雁冰, 刘梦云. 黄土高原南麓县域耕地土壤速效养分时空变异. 生态学报, 2013, 33(2): 554-564.
- [ 11 ] 刘秀丽, 张勃, 张调风, 何旭强. 黄土高原土石山区土地利用变化对生态系统服务的影响——以宁武县为例. 生态学杂志, 2013, 32(4): 1017-1022.
- [ 12 ] 李庆云, 余新晓, 信忠保, 刘淑燕, 李海光, 韩洁春. 黄土高原典型流域不同土地利用类型土壤物理性质分析. 水土保持研究, 2010, 17(6): 106-114.
- [ 13 ] 谢媛媛. SWAT 模型在黄土丘陵区参数敏感度分析及率正研究. 水土保持研究, 2012, 19(4): 204-206.
- [ 14 ] 张晓明, 曹文洪, 余新晓, 武思宏. 黄土丘陵沟壑区典型流域土地利用/覆被变化的径流调节效应. 水利学报, 2009, 40(6): 641-650.
- [ 15 ] 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/覆被变化的影像——以科尔沁左翼后旗为例. 地理科学, 2012, 32(4): 442-449.
- [ 16 ] 邬建国. 景观格局 // 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级 (第二版). 北京: 高等教育出版社, 2007: 27.
- [ 17 ] 张志明, 孙长青, 欧晓昆. 退耕还林政策对山地植被空间格局变化的驱动分析. 山地学报, 2009, 27(5): 513-523.
- [ 18 ] 赵华甫, 张凤荣. 北京市农业景观格局变化及功能区划. 农业工程学报, 2012, 24(1): 78-83.
- [ 19 ] 周德成, 赵淑清, 朱超. 退耕还林工程对黄土高原土地利用/覆被变化的影响——以陕西省安塞县为例. 自然资源学报, 2011, 26(11): 1866-1878.
- [ 20 ] 毕如田, 张吴平, 杨明, 曹毅. 黄土高原小流域土地利用景观格局与土壤侵蚀风险评价. 农学学报, 2012, 2(6): 54-58.
- [ 21 ] 潘竞虎, 苏有才, 黄永生, 刘晓. 近 30 年玉门市土地利用与景观格局变化及其驱动力. 地理研究, 2012, 31(9): 1632-1638.
- [ 24 ] 韩洁春. 罗玉沟流域土地利用变化的水文响应研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [ 27 ] 刘世德, 李建牢. 罗玉沟流域坡面土壤侵蚀与土壤理化性质. 水土保持学报, 1989, 3(1): 43-50.
- [ 28 ] 伍飞舟, 杨卓, 牛健植, 张大伟, 张晓明, 陈月红. 黄土高原丘陵沟壑区土地利用与水土保持措施的变化特征. 水土保持研究, 2010, 17(2): 10-19.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.19 Oct. ,2013( Semimonthly)

## CONTENTS

- A review of ecosystem services and research perspectives ..... MA Fengjiao, LIU Jintong, A. Egrinya Eneji (5963)
- Sexual interference in non-human primates ..... YANG Bin, WANG Chengliang, JI Weihong, et al (5973)
- Density-dependent effect on reproduction of rodents; a review ..... HAN Qunhua, GUO Cong, ZHANG Meiwen (5981)
- Proximate and ultimate determinants of food chain length ..... WANG Yuyu, XU Jun, LEI Guangchun (5990)
- Mechanism of biological control to plant diseases using arbuscular mycorrhizal fungi .....  
..... LUO Qiaoyu, WANG Xiaojuan, LI Yuanyuan, et al (5997)
- Advances in effects of conservation tillage on soil organic carbon and nitrogen .....  
..... XUE Jianfu, ZHAO Xin, Shadrack Batsile Dikgwatlhe, et al (6006)
- Habitat selection of the pre-released giant panda in Wolong Nature Reserve .....  
..... ZHANG Mingchun, HUANG Yan, LI Desheng, et al (6014)
- Activity rhythm and behavioral time budgets of wild Reeves's Pheasant (*Syrnaticus reevesii*) using infrared camera .....  
..... ZHAO Yuze, WANG Zhichen, XU Jiliang, et al (6021)
- The energy budget of tree sparrows *Passer montanus* in wind different speed and duration .....  
..... YANG Zhihong, WU Qingming, DONG Haiyan, et al (6028)
- Nest site characteristics of *Petaurista caniceps* in Baima Snow Mountain Nature Reserve .....  
..... LI Yanhong, GUAN Jinke, LI Dayong, HU Jie (6035)
- Effects of habitat fragmentation on the genetic diversity of *Pachycondyla luteipes* on islands in the Thousand Island Lake, East  
China ..... LUO Yuanyuan, LIU Jinliang, HUANG Jieliang, et al (6041)
- The molecular genetic relationship between the pollinators of *Ficus pumila* var. *pumila* and *Ficus pumila* var. *aukeotsang* .....  
..... WU Wenshan, CHEN Youling, SUN Lingli, et al (6049)
- The genetic evolutionary relationships of two *Eupristina* species on *Ficus altissima* .....  
..... CHEN Youling, SUN Lingli, WU Leilei, et al (6058)
- Metal uptake and root morphological changes for two varieties of *Salix integra* under cadmium stress .....  
..... WANG Shufeng, SHI Xiang, SUN Haijing, et al (6065)
- Effects of phthalic acid on seed germination, membrane lipid peroxidation and osmoregulation substance of radish seedlings .....  
..... YANG Yanjie, WANG Xiaowei, ZHAO Kang, et al (6074)
- The morphological and physiological responses of *Tamarix ramosissima* seedling to different irrigation methods in the extremely  
arid area ..... MA Xiaodong, WANG Minghui, LI Weihong, et al (6081)
- Response characteristics of photosynthetic and physiological parameters in *Ziziphus jujuba* var. *spinosa* seedling leaves to soil  
water in sand habitat formed from seashells ..... WANG Rongrong, XIA Jiangbao, YANG Jihua, et al (6088)
- Effects of ceramsite mulching on soil water content, photosynthetic physiological characteristics and growth of plants .....  
..... TAN Xuehong, GUO Xiaoping, ZHAO Tingning (6097)
- Dynamics of tannin concentration and nutrient resorption for branchlets of *Casuarina equisetifolia* plantations at different ages .....  
..... YE Gongfu, ZHANG Shangju, ZHANG Lihua, et al (6107)
- Sulfur contents in leaves and branches of dominant species among the three forest types in the Pearl River Delta .....  
..... PEI Nancai, CHEN Bufeng, ZOU Zhijin, et al (6114)
- Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus on growth dynamics of *Bauhinia faberi* seedlings .....  
..... SONG Chengjun, QU Laiye, MA Keming, et al (6121)
- Characteristics of ion accumulation and seed germination for seeds from plants cultured at different concentrations of nitrate  
nitrogen and salinity ..... ZHOU Jiachao, FU Tingting, ZHAO Weiwei, et al (6129)
- Physio-ecological effects of endophyte infection on the host grass with elevated CO<sub>2</sub> .....  
..... SHI Zhibing, ZHOU Yong, LI Xia, et al (6135)
- Effects of pretreatment on germination of *Typha domingensis* and *Phragmites australis* .....  
..... MENG Huan, WANG Xuehong, TONG Shouzheng, et al (6142)
- Transfer characteristics of cadmium from soil to *Salix × aureo-pendula* ..... ZHANG Wen, WEI Hong, SUN Xiaocan, et al (6147)
- Effect of Close-to-Nature management on the natural regeneration and species diversity in a masson pine plantation .....  
..... LUO Yinghua, SUN Dongjing, LIN Jianyong, et al (6154)
- Population dynamics and seed banks of the threatened seagrass *Halophila beccarii* in Pearl Bay, Guangxi .....  
..... QIU Guanglong, FAN Hangqing, LI Zongshan, et al (6163)
- Effects of biological crusts on dew deposition and evaporation in the Southern Edge of the Mu Us Sandy Land, Northern China .....  
..... YIN Ruiping, WU Yongsheng, ZHANG Xin, et al (6173)
- Life history characteristics and spatial distribution of *Populus pruinosa* population at the upper reaches of Tarim River .....  
..... HAN Lu, XI Linqiao, WANG Jiaqiang, et al (6181)
- Interactive effects of short-term nitrogen enrichment and simulated grazing on ecosystem respiration in an alpine meadow on the  
Tibetan Plateau ..... ZONG Ning, SHI Peili, JIANG Jing, et al (6191)

- The correlation between soil water salinity and plant community distribution under micro-topography in Songnen Plain ..... YANG Fan, WANG Zhichun, WANG Yunhe, et al (6202)
- Comparison of TSP, PM<sub>2.5</sub> and their water-soluble ions from both inside and outside of Dafushan forest park in Guangzhou during rainy season ..... XIAO Yihua, LI Jiong, KUANG Yuanwen, et al (6209)
- Fish community ecology in rocky reef habitat of Ma'an Archipelago II. Spatio-temporal patterns of community structure ..... WANG Zhenhua, ZHAO Jing, WANG Kai, et al (6218)
- Interannual variation in the population dynamics of snailfish *Liparis tanakae* in the Yellow Sea ..... CHEN Yunlong, SHAN Xiujuan, ZHOU Zhipeng, et al (6227)
- Spatial and temporal variation of soil macro-fauna community structure in three temperate forests ..... LI Na, ZHANG Xueping, ZHANG Limin (6236)
- Community structure and species biodiversity of fig wasps in syconia of *Ficus superba* Miq. var. *japonica* Miq. in Fuzhou ..... CHEN Youling, CHEN Xiaoqian, WU Wenshan, et al (6246)
- Marine ecological capital: valuation methods of marine ecosystem services ..... CHEN Shang, REN Dachuan, XIA Tao, et al (6254)
- Geomorphologic regionalization of China aimed at construction of nature reserve system ..... GUO Ziliang, CUI Guofa (6264)
- Impact of ecological vegetation construction on the landscape pattern of a Loess Plateau Watershed ..... YI Yang, XIN Zhongbao, QIN Yunbin, et al (6277)
- Spatial heterogeneity of soil moisture across a cropland-grassland mosaic: a case study for agro-pastoral transition in north of China ..... WANG Hongmei, WANG Zhongliang, WANG Kun, et al (6287)
- The regional diversity of changes in growing duration of spring wheat and its correlation with climatic adaptation in Northern China ..... E Youhao, HUO Zhiguo, MA Yuping, et al (6295)
- Response of soil physical-chemical properties to rocky desertification succession in South China Karst ..... SHENG Maoyin, LIU Yang, XIONG Kangning (6303)
- Prediction of the effects of climate change on the potential distribution of mire in Northeastern China ..... HE Wei, BU Rencang, LIU Hongjuan, et al (6314)
- Soil nitrogen mineralization and associated temperature sensitivity of different Inner Mongolian grasslands ..... ZHU Jianxing, WANG Qiufeng, HE Nianpeng, et al (6320)
- Effects of land use on soil nutrient in oasis-desert ecotone in the middle reach of the Heihe River ..... MA Zhimin, LÜ Yihe, SUN Feixiang, et al (6328)
- Assessment on heavy metal pollution status in paddy soils in the northern Chengdu Plain and their potential ecological risk ..... QIN Yusheng, YU Hua, FENG Wenqiang, et al (6335)
- Relationship between the temporal-spatial distribution of longline fishing grounds of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and the thermocline characteristics in the Central Atlantic Ocean ..... YANG Shenglong, MA Junjie, ZHANG Yu, et al (6345)
- Biological nitrogen fixation in the upper water column in the south Taiwan Strait during summer 2011 ..... LIN Feng, CHEN Min, YANG Weifeng, et al (6354)
- Storage and drivers of forests carbon on the Beichangshan Island of Miaodao Archipelago ..... SHI Honghua, WANG Xiaoli, WANG Ai, et al (6363)
- Impact of changes in vegetation types on soil C mineralization and associated temperature sensitivity in the Changbai Mountain forests of China ..... WANG Dan, LÜ Yuliang, XU Li, et al (6373)
- Analysis of relationship between genetic structure of Chinese Pine and mountain barriers ..... MENG Xiangxiang, DI Xiaoyan, WANG Mengben, et al (6382)
- Soil organic carbon interpolation based on auxiliary environmental covariates: a case study at small watershed scale in Loess Hilly region ..... WEN Wen, ZHOU Baotong, WANG Yafeng, et al (6389)
- Eco-management benefit analysis of industrial resources from life cycle perspective: a case study of a virtual symbiosis network ..... SHI Xiaoqing, LI Xiaonuo, YANG Jianxin (6398)
- The game analysis between poverty and environment in ecologically fragile zones ..... QI Xinhua, YE Shilin, CHENG Yu, et al (6411)
- The coupling development of economy and environment under the background of World Expo in Shanghai ..... NI Yao, YUE Wenzhe, ZHANG Yuntang, et al (6418)

# 《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 陈利顶 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 19 期 (2013 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 33 No. 19 (October, 2013)

编 辑 《生态学报》编辑部  
地址:北京海淀区双清路 18 号  
邮政编码:100085  
电话:(010)62941099  
www.ecologica.cn  
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 王如松  
主 管 中国科学技术协会  
主 办 中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
地址:北京海淀区双清路 18 号  
邮政编码:100085

出 版 科 学 出 版 社  
地址:北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂  
发 行 科 学 出 版 社  
地址:东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717  
电话:(010)64034563  
E-mail: journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局  
国外发行 中国国际图书贸易总公司  
地址:北京 399 信箱  
邮政编码:100044

广告经营 京海工商广字第 8013 号  
许 可 证

Edited by Editorial board of  
ACTA ECOLOGICA SINICA  
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China  
Tel: (010)62941099  
www.ecologica.cn  
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

Editor-in-chief WANG Rusong  
Supervised by China Association for Science and Technology  
Sponsored by Ecological Society of China  
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS  
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,  
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel: (010)64034563  
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China  
Foreign China International Book Trading  
Corporation  
Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元