

中国百种杰出学术期刊  
中国精品科技期刊  
中国科协优秀期刊  
中国科学院优秀科技期刊  
新中国 60 年有影响力的期刊  
国家期刊奖

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica

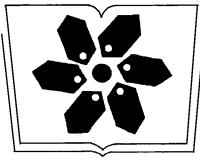
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 21 期  
Vol.30 No.21  
**2010**



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 30 卷 第 21 期 2010 年 11 月 (半月刊)

## 目 次

棉铃虫幼虫对人类呈味物质的取食反应·····	李为争,付国需,王英慧,等 (5709)
西藏拉萨机场周边风沙源空间分布及演变趋势·····	李海东,沈渭寿,邹长新,等 (5716)
新疆沙湾冷泉沉积物的细菌系统发育多样性·····	曾 军,杨红梅,徐建华,等 (5728)
应用鱼类完整性评价体系评价辽河流域健康·····	裴雪姣,牛翠娟,高 欣,等 (5736)
不同海拔天山云杉叶功能性状及其与土壤因子的关系·····	张慧文,马剑英,孙 伟,等 (5747)
滨河湿地不同植被对农业非点源氮污染的控制效果·····	徐华山,赵同谦,贺玉晓,等 (5759)
内蒙古温带荒漠草原能量平衡特征及其驱动因子·····	阳伏林,周广胜 (5769)
南北样带温带区栎属树种功能性状对气象因子的响应·····	冯秋红,史作民,董莉莉,等 (5781)
伏牛山自然保护区物种多样性分布格局·····	卢训令,胡 楠,丁圣彦,等 (5790)
减弱 UV-B 辐射对烟草形态、光合及生理生化特性的影响 ·····	陈宗瑜,钟 楚,王 毅,等 (5799)
川西亚高山针阔混交林乔木层生物量、生产力随海拔梯度的变化 ·····	刘彦春,张远东,刘世荣,等 (5810)
三峡库区消落带水淹初期地上植被与土壤种子库的关系·····	王晓荣,程瑞梅,肖文发,等 (5821)
洞庭湖西岸区防护林土壤和植物营养元素含量特征·····	柏方敏,田大伦,方 晰,等 (5832)
择伐对阔叶红松林主要树种径向与纵向生长的影响·····	蒋子涵,金光泽 (5843)
野鸭湖典型湿地植物光谱特征·····	刘 克,赵文吉,郭逍宇,等 (5853)
三种线性模型在杉木与马尾松地位指数相关关系研究中的比较·····	朱光玉,吕 勇,林 辉,等 (5862)
不同干扰类型下羊草种群的空间格局·····	陈宝瑞,杨桂霞,张宏斌,等 (5868)
基于 SWAT 模型的祁连山区最佳水源涵养植被模式研究——以石羊河上游杂木河流域为例 ·····	王军德,李元红,李赞堂,等 (5875)
2D 与 3D 景观指数测定山区植被景观格局变化对比分析 ·····	张志明,罗亲普,王文礼,等 (5886)
基于投影寻踪的珠江三角洲景观生态安全评价 ·····	高 杨,黄华梅,吴志峰 (5894)
海峡两岸 16 个沿海城市生态系统功能比较 ·····	张小飞,王如松,李 锋,等 (5904)
同安湾围(填)海生态系统服务损害的货币化预测评估 ·····	王 萱,陈伟琪,张璐平,等 (5914)
太阳辐射对玉米农田土壤呼吸作用的影响 ·····	孙敬松,周广胜,韩广轩 (5925)
水分胁迫下 AM 真菌对沙打旺生长和抗旱性的影响·····	郭辉娟,贺学礼 (5933)
宁夏南部旱区坡地不同粮草带比间作种植模式比较·····	路海东,贾志宽,杨宝平,等 (5941)
节节草生长对铜尾矿砂重金属形态转化和土壤酶活性的影响·····	李 影,陈明林 (5949)
自然植物群落形成过程中铜尾矿废弃地氮素组分的变化 ·····	安宗胜,詹 婧,孙庆业 (5958)
硅介导的水稻对二化螟幼虫钻蛀行为的影响 ·····	韩永强,刘 川,侯茂林 (5967)
饥饿对转基因鲤与野生鲤生长竞争和性腺发育的影响·····	刘春雷,常玉梅,梁利群,等 (5975)
<b>专论与综述</b>	
河流水质的景观组分阈值研究进展 ·····	刘珍环,李 猷,彭 建 (5983)
<b>研究简报</b>	
长期模拟增温对岷江冷杉幼苗生长与生物量分配的影响 ·····	杨 兵,王进闯,张远彬 (5994)
环境因素对长额斗蟋翅型分化的影响 ·····	曾 杨,朱道弘,赵吕权 (6001)

# 基于投影寻踪的珠江三角洲景观生态安全评价

高 杨<sup>1,2,3,4</sup>, 黄华梅<sup>3</sup>, 吴志峰<sup>2,\*</sup>

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640; 2. 广东省生态环境与土壤研究所, 广州 510650;  
3. 国家海洋局南海海洋工程勘察与环境研究院, 广州 510300; 4. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 区域景观生态安全是生态安全的重要组成部分, 对于国家安全和可持续发展具有重要影响。以 1990 年和 2005 年珠江三角洲 Landsat 5 TM 和 Landsat 7 ETM + 遥感数据为基本数据源, 选取聚集度、景观破碎度、景观形状指数、Shannon 多样性指数, 并构建了景观脆弱度指数和景观安全邻接指数, 对研究区景观空间格局变化进行对比分析。在此基础上, 利用基于遗传算法的投影寻踪方法, 计算景观生态安全指数, 评价研究区的景观生态安全状况。结果表明: (1) 从 1990 年到 2005 年, 珠江三角洲 9 市的聚集度、破碎度、景观形状指数和 Shannon 多样性指数变化不大, 而景观脆弱度和景观安全邻接指数变化显著, 9 市的景观脆弱度都呈现减少趋势, 而 9 市景观安全邻接指数都呈增加趋势。(2) 从 1990 年到 2005 年, 珠海和惠州两市景观生态安全状况一直保持良好, 而东莞和中山两市的景观生态安全值一直较低; 除佛山和广州两市景观生态安全状况略有提高外, 其它 7 市景观生态安全值都有一定程度的减小, 其中以肇庆市降低最多。珠江三角洲地区经济高速发展, 人为活动剧烈, 利用投影寻踪方法构建景观生态安全指数, 评价高强度发展区域的景观生态安全状况是有效、可行的。

**关键词:** 景观生态安全; 景观指数; 投影寻踪; 珠江三角洲

## Landscape ecological security assessment based on projection pursuit: a case study of nine cities in the Pearl River Delta

GAO Yang<sup>1,2,3,4</sup>, HUANG Huamei<sup>3</sup>, WU Zhifeng<sup>2,\*</sup>

1 Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

2 Guangdong Institute of Eco-environment and Soil Sciences, Guangzhou 510650, China

3 South China Sea Marine Engineering and Environment Institute of State Oceanic Administration, Guangzhou 510300, China

4 Graduated University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract:** Regional landscape ecological security is an important issue for overall ecological security, and also has a great influence on national security and social sustainable development. Based on the products of the Landsat 5 TM images in 1990 and the Landsat 7 ETM + images in 2005, landscape classification maps of nine cities in the Pearl River Delta (PRD) have been compiled by using remote sensing (RS) and geographic information system (GIS) technology. Using the aggregation index, crush index, landscape shape index, Shannon diversity index, landscape fragility index and landscape security adjacent index, the spatial-temporal characteristics of landscape patterns in the PRD were analyzed. On the basis of these results, the landscape ecological security index was calculated by using projection pursuit which is based on a genetic algorithm, and the landscape ecological security of the nine cities in the PRD was thus evaluated.

The main results of this research were: (1) from 1990 to 2005, there was little change in the aggregation index, crush index, landscape shape index, and Shannon diversity index of the nine cities, while the landscape fragility index and landscape security adjacent index changed substantially. The landscape fragility index showed a decreasing trend, but the landscape security adjacent index has been increasing; (2) from 1990 to 2005, the landscape ecology of Zhuhai and Huizhou cities maintained a good security situation, but relatively low values of ecological security were seen in Dongguan

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(40571164); 广东省自然科学基金资助项目(04201163, 06105518)

**收稿日期:** 2009-09-30; **修订日期:** 2009-12-11

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zfwu@soil.gd.cn

and Foshan cities. Except for Foshan and Guangzhou cities, whose landscape ecological security situation improved slightly, the other seven cities had reduced values of landscape ecological security, among which the largest decrease was 0.5193 in Zhaoqing City.

The PRD has experienced rapid economic development and intensive human activities in recent years. This study, based on landscape analysis, provides a sound method to discover the alteration of character among different landscape types and to understand the landscape ecological security status. The results of this study might offer important information for regional eco-construction and natural resource exploitation.

**Key Words:** landscape ecological security; landscape index; projection pursuit; Pearl River Delta

生态安全是指一个国家,或人类社会生存与发展所需的生态环境处于不受或少受破坏与威胁的状态<sup>[1]</sup>。区域景观生态安全是生态安全的重要组成部分,对于国家安全和可持续发展具有重要影响。近年来,随着景观格局变化研究<sup>[2-11]</sup>的逐渐增多,对于景观生态安全变化的探讨也越来越受到研究学者们的重视。目前,基于景观生态学基础上的区域生态安全的定量化评价方法主要有基于压力-状态-响应模型(PSR模型)构建生态安全评价指标体系<sup>[12-14]</sup>的方法,利用景观指数评价景观生态安全和构建景观生态安全格局的方法<sup>[15-16]</sup>以及运用其它景观生态学理论来构建景观生态安全指数进行景观生态安全研究的方法<sup>[17-18]</sup>等。其中,PSR模型指标体系主要基于社会经济统计数据的基础上,一定程度上受到统计尺度和统计方法的约束;景观指数评价法是指选取较少的景观指数,对各景观指数赋予相应权重进行区域景观生态安全的评价;部分生态学者将生态足迹的理论和方法引入到景观生态安全评价中来,提出了生态安全度预测模型<sup>[17]</sup>。然而,这些方法很大程度上受到各指标权重的影响,基于遗传算法的投影寻踪方法则不受指标权重的约束,可以找到最优化的解<sup>[19-20]</sup>,从而解决难以确定权重时产生的问题。将投影寻踪方法与景观指数相结合,评价一个区域的生态安全状况,解决了指标权重问题所带来的影响,具有重大意义。

改革开放以来,珠江三角洲地区经济高速发展,城市化水平不断提高<sup>[21]</sup>,地区的景观破碎化程度加剧。近年来,对于珠江三角洲下级行政单元的景观格局与景观生态安全方面的研究越来越多<sup>[22-25]</sup>,然而对于整个珠江三角洲大环境下的景观生态研究较少<sup>[26]</sup>。本文选取具有代表性的聚集度(AI)、景观破碎度(LCI)、景观形状指数(LSI)、Shannon多样性指数(SHDI)、并构建了景观脆弱度指数(LFI)和景观安全邻接指数(LSAI),继而对珠江三角洲景观格局进行变化分析。在此基础上,将基于遗传算法的投影寻踪方法引入到景观生态安全指数(LESI)的计算中来,分析整个珠江三角洲景观生态安全的变化情况,为珠江三角洲地区生态安全维护提供依据。

## 1 研究区概况

珠江三角洲位于广东省中南部,在行政区划上包括广州、深圳、珠海、中山、东莞、佛山、江门七市及肇庆市和惠州市的一部分,地理范围为111°59.7'—115°25.3'E、21°17.6'—23°55.9'N,西至恩平,东至惠东,北至从化,南至珠江口海岸,总面积约41000 km<sup>2</sup>。

珠江三角洲是由珠江水系的西江、北江、东江及其支流潭江、绥江、增江带来的泥沙在珠江口河口湾内堆积而成的复合型三角洲,是我国南亚热带最大的冲积平原。三角洲内有五分之一的面积为星罗棋布的丘陵、台地、残丘,海岸线长达1059 km,岛屿众多,珠江分八大口门出海,形成所谓“三江汇合,八口分流”的独特地貌特征。珠江三角洲大部分地区位于北回归线以南,地处南亚热带,属亚热带海洋季风气候,雨量充沛,热量充足,气候温和,雨热同季,多年平均降雨量达1800 mm。该地区年日照为2000 h,四季分布比较均匀,多年平均气温约为21.4—22.4℃。地带性土壤主要为发育于砂岩、页岩和花岗岩母质上的赤红壤和红壤<sup>[27]</sup>。

## 2 研究数据及方法

### 2.1 研究数据

因研究区域范围太大,很难收集同一时段的覆盖整个区域的遥感数据,故根据现有资料,收集到的代表

1990 年珠江三角洲区域的 Landsat TM 遥感影像主要有 1991 年 10 月 9 日(轨道号为 121/43,121/44),1993 年 10 月 5 日(轨道号为 122/43),1990 年 10 月 13 日(轨道号为 122/44),1988 年 11 月 24 日(轨道号为 122/45),1991 年 9 月 21 日(轨道号为 123/44),1990 年 9 月 2 日(轨道号为 123/45),代表 2005 年珠江三角洲区域的遥感影像主要有 2005 年 3 月 5 日(轨道号为 121/43,121/44),2005 年 11 月 23 日(轨道号为 122/43,122/44,122/45),2005 年 9 月 11 日(轨道号为 123/44,123/45)。以遥感影像为主要数据源,以珠江三角洲行政区划图(2000 年区划图)、珠江三角洲地形图(1:100 万)等为辅助数据。图象处理软件主要有 Erdas 8.5、Arc/info 8.3、Photoshop 8.0、Coreldraw 12.0 等,数据处理软件主要有 Excel, Fragstats 3.0, Matlab 2007, Oringin 7.0, 等。

## 2.2 研究方法

### 2.2.1 遥感图像前期处理

利用地形图以及已有纠正好的 TM 遥感影像对 1990 年和 2005 年不同轨道号的数据进行几何纠正,合并纠正好的影像,依据珠江三角洲行政区划图对其裁剪,得到 1990 年和 2005 年两个时相的珠江三角洲的遥感影像。对两期遥感影像进行监督分类和人工目视解译相结合的方法,采用中国科学院土地资源分类系统中一级分类标准,将研究区土地利用分为耕地、林地、园地、水域、建筑用地和未利用地六大景观类型,制作景观类型图,根据实地验证,分类精度可达 80% 以上,符合研究要求。

### 2.2.2 景观指数选择

为既能全面反映样带景观的格局特征,又不使冗余度过大,本文选择具有代表性的聚集度、景观破碎度、景观形状指数、Shannon 多样性指数、景观脆弱度指数和景观安全邻接指数 6 种指数来进行研究区的景观格局动态变化和景观安全评价分析。

聚集度、景观破碎度、景观形状指数、Shannon 多样性指数的计算与定义在相关文献中已有介绍<sup>[28-29]</sup>,这里仅描述景观脆弱度指数和景观安全邻接指数。

不同生态系统对维护生物多样性、保护物种、完善整体结构和功能、促进景观结构自然演替等方面的作用是不同的,同时抵抗外界干扰的能力、对外界的敏感程度也有差别,研究中把景观类型与景观脆弱性联系,借鉴他人研究成果<sup>[16]</sup>,对景观类型赋以权重,以表示其脆弱程度的大小;未利用地-6,水域-5,耕地-4,草地-3,林地-2,建筑用地-1,未利用地最为敏感,城市居民建筑用地最稳定,将土地利用类型的权重进行标准化作为该类型景观的脆弱度,未利用地、水域、耕地、草地、林地和建筑用地的脆弱度分别为 0.2857、0.2181、0.1905、0.1429、0.0952 和 0.047。景观脆弱度指数(LFI):

$$LFI = \frac{\sum_{i=1}^n k_i CA_i}{\sum_{i=1}^n CA_i} \quad (1)$$

式中, $k_i$  是各景观类型脆弱度权重, $CA_i$  是各景观类型面积。景观脆弱度越小,抵抗干扰能力越强,景观安全性越高。

城市的扩张必然伴随着耕地和林地的流失,3 种景观类型之间的关系一定情况下反映了城市安全性能的高低<sup>[30]</sup>。文中构建景观安全邻接指数(LSAI)来反映这 3 种景观类型之间的关系:

$$LSAI = \frac{\left( \frac{E_c}{E_{cul} + E_{con}} + \frac{E_{cf}}{E_{for} + E_{con}} \right)}{2} \quad (2)$$

式中, $E_c$  是城市建设用地景观与耕地景观公共的边界长度, $E_{cf}$  是城市建设用地景观与林地景观公共的边界长度, $E_{cul}$  是耕地景观的边界长度, $E_{for}$  是林地景观的边界长度, $E_{con}$  是城市建设用地景观的边界长度。景观安全邻接指数越大,景观安全性越低。

### 2.2.3 投影寻踪

投影寻踪方法的基本思想是:利用计算机技术,把高维数据投影到低维子空间上,通过优化投影函数,求

出能反映原高维数据结构或特征的投影向量,在低维空间上对数据结构进行分析,以达到研究和分析高维数据的目的<sup>[31]</sup>。评价模型的建立如下:

步骤1 样本评价指标集的归一化处理。设各指标值的样本集为 $\{x^*(i,j) \mid i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,p\}$ ,其中 $x^*(i,j)$ 为第 $i$ 个样本第 $j$ 个指标值, $n,p$ 分别为样本的个数(样本容量)和指标的数目。为消除各指标值的量纲和统一各指标值的变化范围,可采用下式进行极值归一化处理:

$$\text{对于越大越优的指标} \quad x(i,j) = \frac{x^*(i,j) - x_{\min}(j)}{x_{\max}(j) - x_{\min}(j)} \quad (3)$$

$$\text{对于越小越优的指标} \quad x(i,j) = \frac{x_{\max}(j) - x^*(i,j)}{x_{\max}(j) - x_{\min}(j)} \quad (4)$$

式中, $x_{\max}(j), x_{\min}(j)$ 分别为第 $j$ 个指标值的最大值和最小值, $x(i,j)$ 为指标特征值归一化的序列。

步骤2 构造投影指标函数 $Q(a)$ 。投影寻踪方法就是把 $p$ 维数据 $\{x(i,j) \mid j=1,2,\dots,p\}$ 综合成以 $a = \{a(1), a(2), a(3), \dots, a(p)\}$ 为投影方向的一维投影值 $z(i)$ :

$$z(i) = \sum_{j=1}^p a(j)x(i,j) \quad i=1,2,\dots,n \quad (5)$$

式中, $a$ 为单位长度向量。综合投影指标值时,要求投影值 $z(i)$ 的散布特征应为:局部投影点尽可能密集,最好凝聚成若干个点团,而在整体上投影点团之间尽可能散开。因此,投影指标函数可以表达成:

$$Q(a) = S_z D_z \quad (6)$$

式中, $S_z$ 为投影值 $z(i)$ 的标准差, $D_z$ 为投影值 $z(i)$ 的局部密度,即:

$$S_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z(i) - E(z))^2}{n-1}} \quad (7)$$

$$D_z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (R - r(i,j)) \cdot (R - r(i,j)) \quad (8)$$

式中, $E(z)$ 为序列 $\{z(i) \mid i=1,2,\dots,n\}$ 的平均值; $R$ 为局部密度的窗口半径; $r(i,j)$ 表示样本之间的距离, $r(i,j) = |z(i) - z(j)|$ ;  $u(t)$ 为一单位阶跃函数,当 $t \geq 0$ 时,其值为1,当 $t < 0$ 时其函数值为0。

步骤3 优化投影指标函数。当各指标值的样本集给定时,投影指标函数 $Q(a)$ 只随着投影方向 $a$ 的变化而变化。不同的投影方向反映不同的数据结构特征,最佳投影方向就是最大可能暴露高维数据集中特征结构的投影方向,因此可以通过求解投影指标函数的最大化问题来估计最佳投影方向,即:

$$\text{最大化目标函数} \quad \text{Max: } Q(a) = S_z D_z \quad (9)$$

$$\text{约束条件} \quad \sum_{j=1}^p a^2(j) = 1 \quad (10)$$

这是一个以 $\{a(j) \mid j=1,2,\dots,p\}$ 为优化变量的复杂非线性优化问题,本文通过基于实码的加速遗传算法来进行优化求解。

步骤4 把由步骤3求得的最佳投影方向 $a^*$ 带入(5)式中计算各样本的投影值 $z^*(i)$ 。本文中珠江三角洲9市为样本点,计算出9市的投影值为景观安全指数,对9市景观安全动态变化进行分析。

### 3 结果与分析

#### 3.1 九市景观格局与动态变化

1990—2005年,珠江三角洲经济高速发展,城市由中心向四周不断扩展,9市基本都呈现耕地、林地景观面积不断减少,而城市建筑用地景观面积不断增大的趋势。

选取具有代表性的聚集度、景观破碎度、景观形状指数、Shannon多样性指数、景观脆弱度指数和景观安全邻接指数6种指数对9市的景观格局动态变化进行分析(图1)。

##### 3.1.1 聚集度

珠江三角洲9市的景观聚集度差异不大,集中在94到99之间,说明9市同一斑块类型连接程度较高。

1990年,珠海市的景观聚集度最大,为98.91,中山市的景观聚集度最小,为94.26;2005年,聚集度最大的是珠海市的98.68,最小的是东莞市的94.98;15a来,9市景观聚集度变化不明显,变化最大的也仅是中山市的景观聚集度约增加了0.83。

### 3.1.2 景观破碎度

景观破碎度反映一个地区的景观斑块破碎化程度,1990年,珠江三角洲9市中,中山市景观破碎度最大,为12.61,惠州市景观破碎度最小,为3.94;2005年,中山、珠海和东莞3市景观破碎度较高,分别是7.69,7.66和7.58,最小的为惠州市的3.70;中山市面积较小,景观斑块类型多样,造成其斑块破碎度值较大,而惠州市主要为森林景观类型,面积相对其它几市较大,且受人为活动影响较小,景观破碎程度较小。15a来,珠江三角洲经济高速发展,使得原本破碎的景观类型逐渐呈现合并趋势,城市建筑用地面积不断增大,除江门和肇庆两市外,景观破碎度都有不同程度的减小。

### 3.1.3 景观形状指数

景观形状指数反映一个地区景观形状的复杂程度,指数值越大,表示该地区景观形状越复杂。珠江三角洲9市景观形状指数差异较大,分布在20到90之间。1990年,江门市景观形状指数最大,为71.22,珠海市最小,为20.96;2005年,景观形状指数最大的仍然是江门市,为86.25,深圳和珠海两市较小,分别为31.71和23.10。江门、东莞、佛山、广州四市景观形状较为复杂,而深圳和珠海两市景观形状相对则较为简单。15a来,江门市景观形状复杂程度仍呈上升趋势,而东莞、佛山、深圳、中山等市则呈下降趋势。

### 3.1.4 Shannon 多样性指数

Shannon 多样性指数用于衡量景观要素的丰富度和分布特征,斑块类型数量确定,则主要反映各斑块类型在面积上分布的均匀程度。1990年,东莞和中山两市 Shannon 多样性指数较大,分别为1.42和1.37,珠海市最小,约为0.62;2005年,9市的景观 Shannon 多样性指数形状图与1990年基本保持一致,仍为东莞和中山两市较大,珠海市最低。东莞和中山两市各景观类型面积差异较大,而珠海市各景观类型面积差异相对不明显,比例较为均匀。15a来,9市 Shannon 多样性指数都略有增长。

### 3.1.5 景观脆弱度

1990年,佛山和中山两市景观脆弱度指数较大,分别为0.1923和0.1885,深圳市最小,为0.1414;2005年9市景观脆弱度指数形状图呈现与1990年基本保持一致,广州、惠州、江门、珠海和肇庆五市差异不大,佛山和中山两市相对较高,其中最大的为佛山市的0.1378,最小的为深圳市的0.0912;15a来,珠江三角洲地区经济高速发展,人类活动加剧,城市化水平不断提高,城市建筑用地面积急剧增加,森林面积大幅度减少,9市景观脆弱度程度不断减小,东莞、深圳、珠海三市较为明显,其中减少最多的是东莞市,景观脆弱度指数减少了0.0690,佛山由于水域面积的大量增加,其景观脆弱指数也减少了0.0546。

### 3.1.6 景观安全邻接指数

珠江三角洲9市景观安全邻接指数差异较为明显。1990年,9市景观安全邻接指数最大的为深圳市的33.45,惠州和中山两市较小,分别为12.28和12.25;2005年,深圳市的景观安全邻接指数依然最大,为45.16,佛山最小,为30.81;15a来,飞快的城市扩张速度造成大量的耕地和林地流失,城市建筑用地面积大大增加,城市建筑用地景观边界不断加大,耕地和林地边界不断减少,使得景观安全邻接指数不断增大,其中中山、惠州、肇庆和江门四市增加较大,分别增加了24.68、22.90、21.05和20.71。

## 3.2 九市景观生态安全动态变化

借鉴他人研究成果<sup>[17,19]</sup>,选择相关性很小的6种景观指数作为景观生态安全评价的指标,以珠江三角洲9市作为样本,应用基于加速遗传算法的投影寻踪方法,分别对1990年和2005年9市的景观生态安全状况进行评价,依据该方法的计算步骤,其中 $n=9, p=6$ ,对9市各景观指数数据进行归一化处理(表1、表2),经过运算得到1990年最优目标函数值为0.4329,最佳投影方向向量 $a^*=(0.5542, 0.3573, 0.3775, 0.5777, 0.1517, 0.2567)$ ,将 $a^*$ 代入(5)式中,得到1990年9市投影值 $z^*=(0.4103, 0.7883, 1.1059, 1.1116, 1.7013,$

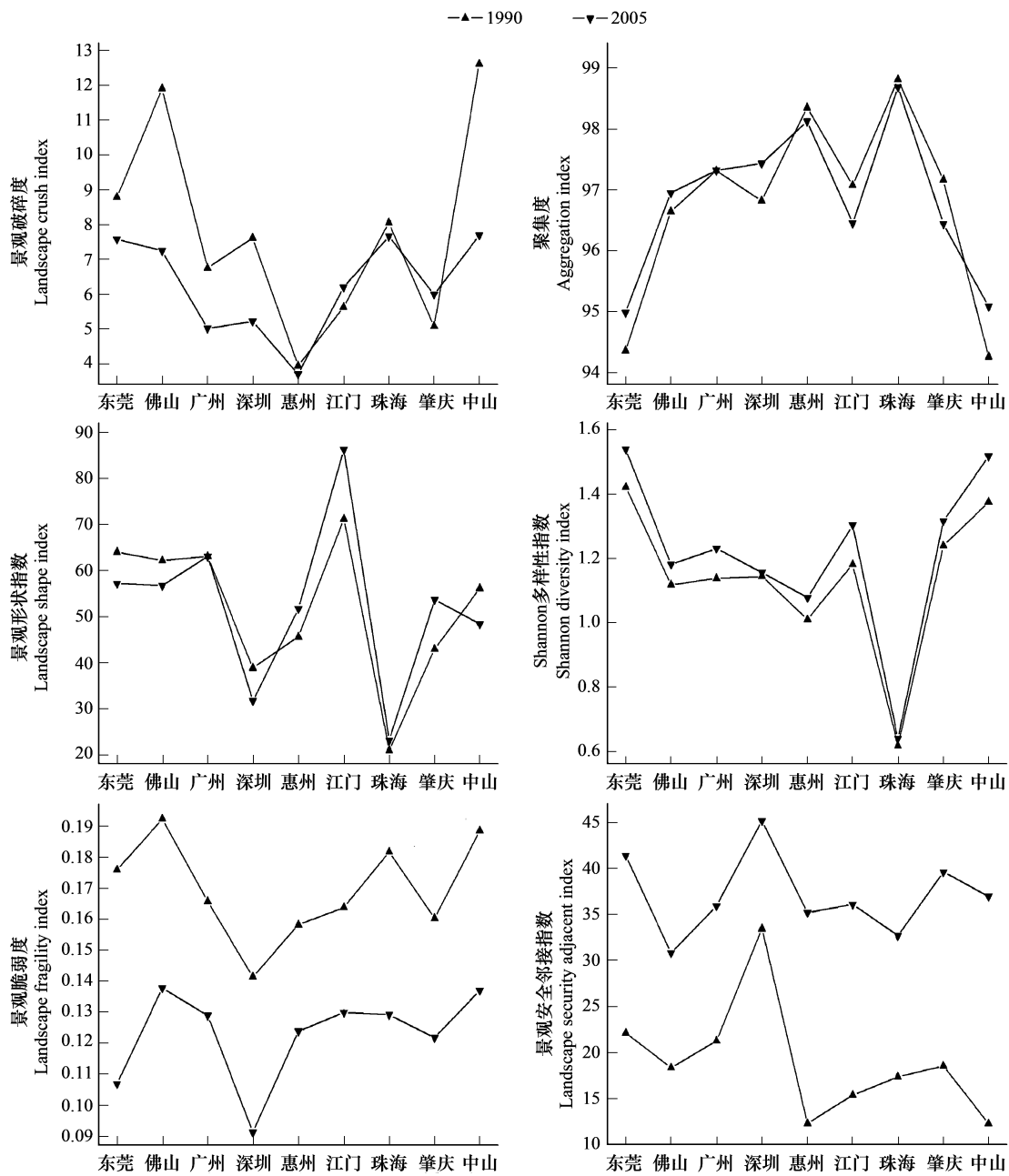


图1 珠江三角洲九市景观指数图

Fig. 1 The landscape index maps of nine cities in PRD

1. 1075, 1. 9240, 1. 2833, 0. 4152); 2005 年最优目标函数值为 0. 3388, 最佳投影方向向量  $a^* = (0. 7248, 0. 1485, 0. 1116, 0. 4406, 0. 2194, 0. 4448)$ , 将  $z^*$  代入(5)式中, 得到 2005 年 9 市投影值  $z^* = (0. 3182, 1. 0737, 1. 1939, 1. 0750, 1. 4262, 0. 7771, 1. 7064, 0. 7640, 0. 3562)$ , 投影寻踪方法下计算出来的各市投影值是基于最优目标函数状况下得出的结果, 可作为各市的景观生态安全指数。

珠江三角洲 9 市景观生态安全状况差异较大, 景观生态安全指数变化较为明显(图 2)。1990 年, 珠海市景观生态安全值最高, 为 1. 9240, 其次依次为惠州、肇庆、深圳、江门、广州、佛山、中山等市, 东莞市景观生态安全性最差, 为 0. 4103; 2005 年, 珠海和惠州两市景观生态安全状况依然保持良好, 分别为 1. 7064 和 1. 4262, 其次依次为广州、佛山、深圳、江门、肇庆、中山等市, 景观生态安全值最低的是东莞市的 0. 3182。15a 来, 除佛山和广州两市景观生态安全状况略有提高外, 其它 7 市景观生态安全值都有一定程度的减小, 降低最多的为



肇庆市,减少了 0.5193。珠江三角洲地区经济高速发展带来的生态环境退化问题已经引起政府和有关环保部门的高度重视。2006 年,随着《珠江三角洲环境保护规划》的出版发行,各地方政府和部门加大环保力度,生态环境得到进一步改善,珠江三角洲景观生态安全状况将逐渐向着稳定、安全的趋势发展。

表 1 1990 年珠江三角洲九市景观指数归一化处理结果

Table 1 Normalized results of the landscape index of nine cities in PRD in 1990

城市 City	聚集度 <i>AI</i>	破碎度 <i>LCI</i>	景观形状指数 <i>LSI</i>	Shannon 多样性指数 <i>SHDI</i>	景观脆弱度指数 <i>LFI</i>	景观安全邻接指数 <i>LSAI</i>
东莞	0.0222	0.4412	0.1431	0.0000	0.3222	0.5353
佛山	0.5239	0.0807	0.1799	0.3775	0.0000	0.7134
广州	0.6713	0.6762	0.1621	0.3531	0.5226	0.5758
深圳	0.5626	0.5764	0.6438	0.3447	1.0000	0.0000
惠州	0.8985	1.0000	0.5099	0.5116	0.6699	0.9989
江门	0.6188	0.8060	0.0000	0.2988	0.5599	0.8531
珠海	1.0000	0.5258	1.0000	1.0000	0.2083	0.7602
肇庆	0.6385	0.8689	0.5622	0.2263	0.6287	0.7037
中山	0.0000	0.0000	0.3004	0.0584	0.0747	1.0000

表 2 2005 年珠江三角洲九市景观指数归一化处理结果

Table 2 Normalized results of the landscape index of nine cities in PRD in 2005

城市 City	聚集度 <i>AI</i>	破碎度 <i>LCI</i>	景观形状指数 <i>LSI</i>	Shannon 多样性指数 <i>SHDI</i>	景观脆弱度指数 <i>LFI</i>	景观安全邻接指数 <i>LSAI</i>
东莞	0.0000	0.0286	0.4598	0.0000	0.6631	0.2635
佛山	0.5311	0.1122	0.4673	0.3976	0.0000	1.0000
广州	0.6311	0.6709	0.3669	0.3429	0.0000	1.0000
深圳	0.6619	0.6191	0.8637	0.4257	1.0000	0.0000
惠州	0.8488	1.0000	0.5471	0.5125	0.3004	0.6963
江门	0.3963	0.3743	0.0000	0.2618	0.1695	0.6335
珠海	1.0000	0.0076	1.0000	1.0000	0.1845	0.8719
肇庆	0.3935	0.4262	0.5162	0.2478	0.3455	0.3888
中山	0.0275	0.0000	0.5998	0.0235	0.0172	0.5737

#### 4 讨论与结论

本文以珠江三角洲为典型区域,基于遥感解译数据,选取聚集度、景观破碎度、景观形状指数、Shannon 多样性指数,并构建了景观脆弱度指数和景观安全邻接指数为评价指标,利用投影寻踪方法对人类活动影响下两个时期的高速城市化区域进行生态安全定量分析。结果表明:

(1)从 1990 年到 2005 年,珠江三角洲 9 市聚集度、破碎度、景观形状指数和 Shannon 多样性指数变化不大,而景观脆弱度和景观安全邻接指数变化显著,不同年份指数变化趋势基本保持一致,9 市景观脆弱度都呈现减少趋势,而 9 市景观安全邻接指数都呈增加趋势,主要是由于城市化水平的不断提高导致耕地和林地大量流失,城市建筑用地面积大量增加所造成的。

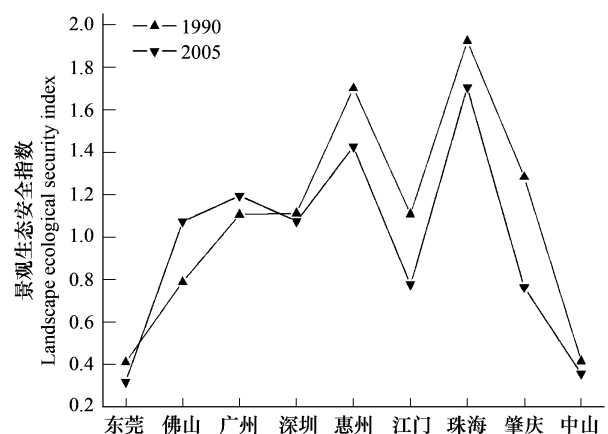


图 2 珠江三角洲九市景观生态安全指数图

Fig. 2 The landscape ecological security index map of nine cities in PRD

(2)从1990年到2005年,珠海和惠州两市景观生态安全状况一直保持良好的,而东莞和中山两市的景观生态安全值一直较低;除佛山和广州两市景观生态安全状况略有提高外,其它7市景观生态安全值都有一定程度的减小,降低最多的为肇庆市,减少了0.5193。

景观指数由于能够高度浓缩景观格局信息,反映其结构组成和空间配置某些方面特征。近年来,已越来越广泛运用到景观格局动态变化分析和景观生态安全评价中来<sup>[29,32-34]</sup>,但是,景观指数类型多样<sup>[35]</sup>,且各景观指数之间存在一定的相关性<sup>[36-37]</sup>,因此,如何选择合适的景观指数,或者构建新的景观指数对不同区域进行分析则显得更为重要,尤其要强调景观指数和生态过程的相关性。本文在计算了大量的景观指数基础上,进行相关分析,最后选择了6种相关性很小具有代表性的景观指数,在不受指标权重约束的投影寻踪方法下进行研究区生态安全分析,具有一定的科学意义。

生态安全已经成为国家安全的组成部分,成为区域、国家可持续发展研究的重要内容。如果生态安全不牢固,就意味着区域会失去对国民经济的生态承载能力,会给社会经济造成巨大的损失。生态安全还有其自身的特点:一是整体性,生态环境是相连相通的,任何一个局部环境的破坏,都有可能引发全局性的灾难;二是不可逆性,生态环境的支撑能力有其一定限度,一旦超过其自身修复的“阈值”,往往造成不可逆转的后果。三是长期性,许多生态环境问题一旦形成,要想解决它就要在时间和经济上付出很高代价。本文研究中,东莞和中山两市的景观生态安全值一直较低,对于整个珠三角而言,除佛山和广州两市的景观生态安全略有提高外,其它7市的景观生态安全值都有下降的趋势。珠三角地区的景观生态安全应引起足够的重视,未来珠江三角洲生态安全建设中应加强城市生态环境综合整治,从宏观尺度上对剧烈城市化所造成的不良生态后果予以积极预防和有效调控,从而降低城镇化的生态风险。从加强生态安全管理的角度看,下一步的工作将是建立珠三角区域生态安全的预警系统,及时了解珠三角地区生态安全的现状和变化趋势,为经济发展和城市发展规划部分提供相关的决策依据。

#### References:

- [ 1 ] Rogers K S. Ecological security and multinational corporations//Environmental Change and Security Project (ECSP) Report, 1997, 3: 29-36.
- [ 2 ] Hulshof R M. Landscape indices describing a Dutch landscape. *Landscape Ecology*, 1995, 10(2): 101-111.
- [ 3 ] Liu A J, Cameron G N. Analysis of landscape patterns in coastal wetlands of Galveston Bay, Texas. *Landscape Ecology*, 2001, 16: 581-595.
- [ 4 ] Palang H, Mander Ü, Luud A. Landscape diversity changes in Estonia. *Landscape and Urban Planning*, 1998, 41(3): 163-169.
- [ 5 ] Fu B J. The spatial pattern analysis of agricultural landscape in the loess area. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(4): 468-473.
- [ 6 ] Wang X L, Xiao D N, Bu R C, Hu Y M. Analysis on landscape patterns of Liao He Delta wetland. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(3): 317-323.
- [ 7 ] Chang X L, Wu J G. Spatial analysis of pattern of sandy landscape in Kerqin, Inner Mongolia. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(3): 225-232.
- [ 8 ] Zhao Q, Zhen G Q, Huang Q H. Characteristics of urban forest landscape pattern and optimization of urban forest spatial structure: A case study of Nanjing City. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(8): 870-878.
- [ 9 ] Bai J H, Ouyang H, Cui B S, Wang Q G, Chen H. Changes in landscape pattern of alpine wetlands on the Zoige Plateau in the past four decades. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 28(5): 2245-2251.
- [ 10 ] Liu L C, Lu S H, Gao J X, Lu X S. Spatial-temporal landscape dynamics in the Hulunbeir forest-steppe ecotone. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(10): 4982-4991.
- [ 11 ] Zong X Y, Liu G H, Qiao Y L, Lin S. Study on dynamic changes of wetland landscape pattern in Yellow River Delta. *Journal of Geo-information Science*, 2009, 11(1): 91-97.
- [ 12 ] Yu F, Li X B, Wang H, Yu H J. Land Use Change and Eco-security Assessment of Huangfuchuan Watershed. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(6): 645-653.
- [ 13 ] Gao C B, Chen X G, Wei C H, Peng X C. Quantitative evaluation of ecological security status and trends: a case study of Guangdong Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7): 2191-2197.
- [ 14 ] Sun X, Zhu X D, Li Y F. Landscape ecological security assessment in rapidly urbanizing bay area: a case study of Xiamen City, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(8): 3563-3573.
- [ 15 ] Guo M, Xiao D N, Li X. Changes of landscape pattern between 1986 and 2000 in Jiuquan oasis, Heihe River basin. *Acta Ecologica Sinica*, 2006,

- 26(2): 457-466.
- [16] Wang J, Cui B S, Yao H R, Liu S L. The temporal and spatial characteristic of landscape ecological security at Lancang River Watershed of longitudinal range gorge region in Southwest China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(4): 1681-1690.
- [17] Ren Z Y, Huang Q, Li J. Quantitative analysis of dynamic change and spatial difference of the ecological safety: the case of Shanxi Province. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(4): 597-606.
- [18] Xiao Y, Mao X Q. Spatial analysis of regional landscape ecological risk. *China Environmental Science*, 2006, 26(5): 623-626.
- [19] Friedman J H, Stuetzle W. Projection pursuit regression. *Journal of the American Statistical Association*, 1981, 76: 817-823.
- [20] Fu Q, Fu H. Applying PPE model based on RAGA in the investment decision-making of water saving irrigation project. *Nature and Science*, 2003, 1(1): 57-58.
- [21] Ouyang T P, Kuang Y Q, Hu Z Y, Sun B. Urbanization in the Pearl River Delta Economic Zone, China. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2005, 12: 48-54.
- [22] Gao A, Xia L H, Chen J F. Changes of landscape pattern in Shunde district of Foshan city. *Tropical Geography*, 2007, 27(4): 327-331, 359.
- [23] Gong J Z, Xia B C, Chen J F, Lin M Z. Dynamic analysis of the Guangzhou landscape eco-security pattern based on 3S technology. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(9): 4323-4333.
- [24] Zhou T, Peng S L, Ren W T. Influence of landscape pattern changes on the restoration of stream in Dongjiang River riparian buffer. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(1): 231-239.
- [25] Karen C S, Michail F. Quantifying spatiotemporal patterns of urban land-use change in four cities of China with time series landscape metrics. *Landscape Ecology*, 2005, 20: 871-888.
- [26] Gao Y, Wu Z F, Liu X N, Zhang J H. An analysis of landscape spatial pattern in the Pearl River Delta. *Tropical Geography*, 2008, 28(1): 26-31.
- [27] Editorial committee of the Pearl River Delta environmental protection plans. *The Pearl River Delta Environmental Protection Plans*. Beijing: China Environmental Science Press, 2006: 110-111.
- [28] Philip C E, Robert S R, Angus P C. *Patch Analyst User's Manual//NWST Technical Manual TM-002*. Ontario: Queen's Printer, 1999: 3-19.
- [29] Wu J G. *Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Hierarchy (2nd edition)*. Beijing: Higher Education Press, 2007: 102-158.
- [30] Tan M H, Li X B, Xie H, Lu C H. Urban land expansion and arable land loss in China — a case study of Beijing-Tianjin-Hebei region. *Land Use Policy*, 2005, 22: 187-196.
- [31] Fu Q, Zhao X Y. *Projection Pursuit Model: Principle and Applications*. Beijing: Science Press, 2006: 46-51.
- [32] Xiao D N, Zhao Y, Sun Z W. Changes in spatial pattern of west suburb landscape in Shenyang City//Xiao D N ed. *Landscape Ecology: Theory, Methods and Applications*. Beijing: Chinese Forestry Press, 1991: 186-195.
- [33] O'Neill R V, Krummel J R, Gardner R H, Sugihara G, Jackson B, Deangelis D L, Milne B T, Turner M G, Zygmunt B, Christensen S W, Dale V H, Graham R L. Indices of Landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1988, 1(3): 153-162.
- [34] Turner M G, Gardner R H. *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. New York, USA: Springer-Verlage, 1991: 399-417.
- [35] Chen L D, Liu Y, Lu Y H, Feng X M, Fu B J. Landscape pattern analysis in landscape ecology: current, challenges and future. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(11): 5521-5531.
- [36] Lausch A, Herzog F. Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability. *Ecological Indicators*, 2002, 2: 3-15.
- [37] Gong J Z, Xia B C. Response to classification numbers of vegetation types on correlative coefficients among landscape metrics. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(10): 4075-4085.

#### 参考文献:

- [5] 傅伯杰. 黄土区农业景观空间格局分析. *生态学报*, 1999, 19(4): 468-473.
- [6] 王宪礼, 肖笃宁, 布仁仓, 胡远满. 辽河三角洲湿地的景观格局分析. *生态学报*, 1997, 17(3): 317-323.
- [7] 常学礼, 邹建国. 科尔沁沙地景观格局特征分析. *生态学报*, 1998, 18(3): 225-232.
- [8] 赵清, 郑国强, 黄巧华. 南京城市森林景观格局特征与空间结构优化. *地理学报*, 2007, 62(8): 870-878.
- [9] 白军红, 欧阳华, 崔保山, 王庆改, 陈辉. 近40年来若尔盖高原高寒湿地景观格局变化. *生态学报*, 2007, 28(5): 2245-2251.
- [10] 刘立成, 吕世海, 高吉喜, 卢欣石. 呼伦贝尔森林-草原交错区景观格局时空动态. *生态学报*, 2008, 28(10): 4982-4991.
- [11] 宗秀影, 刘高焕, 乔玉良, 林松. 黄河三角洲湿地景观格局动态变化分析. *地球信息科学学报*, 2009, 11(1): 91-97.
- [12] 喻锋, 李晓兵, 王宏, 余弘婧. 皇甫川流域土地利用变化与生态安全评价. *地理学报*, 2006, 61(6): 645-653.
- [13] 高长波, 陈新庚, 韦朝海, 彭晓春. 广东省生态安全现状及趋势定量评价. *生态学报*, 2006, 26(7): 2191-2197.

- [14] 孙翔,朱晓东,李杨帆. 港湾快速城市化地区景观生态安全评价——以厦门市为例. 生态学报, 2008,28(8): 3563-3573.
- [15] 郭明,肖笃宁,李新. 黑河流域酒泉绿洲景观生态安全格局分析. 生态学报, 2006,26(2): 457-466.
- [16] 王娟,崔保山,姚华荣,刘世梁. 纵向岭谷区澜沧江流域景观生态安全时空分异特征. 生态学报, 2008,28(4): 1681-1690.
- [17] 任志远,黄青,李晶. 陕西省生态安全及空间差异定量分析. 地理学报, 2005,60(4): 597-606.
- [18] 肖杨,毛显强. 区域景观生态风险空间分析. 中国环境科学, 2006,26(5): 623-626.
- [22] 高爱,夏丽华,陈健飞. 佛山市顺德区土地景观格局变化研究. 热带地理, 2007,27(4): 327-331, 359.
- [23] 龚建周,夏北成,陈健飞,林媚珍. 基于3S技术的广州市生态安全景观格局分析. 生态学报, 2008,28(9): 4323-4333.
- [24] 周婷,彭少麟,任文韬. 东江河岸缓冲带景观格局变化对水体恢复的影响. 生态学报, 2009,29(1): 231-239.
- [26] 高杨,吴志峰,刘晓南,张景华. 珠江三角洲景观空间格局分析. 热带地理, 2008,28(1): 26-31.
- [27] 珠江三角洲环境保护规划编委会. 珠江三角洲环境保护规划. 北京:中国环境科学出版社,2006: 110-111.
- [29] 邬建国. 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,2007:102-158.
- [31] 付强,赵小勇. 投影寻踪模型原理及其应用. 北京:科学出版社,2006: 46-51.
- [32] 肖笃宁,赵弈,孙中伟. 沈阳西郊景观格局变化研究//肖笃宁主编. 景观生态学:理论、方法及应用. 北京:中国林业出版社,1991: 186-195.
- [35] 陈利顶,刘洋,吕一河,冯晓明,傅伯杰. 景观生态学中的格局分析:现状、困境与未来. 生态学报, 2008, 28(11): 5521-5531.
- [37] 龚建周,夏北成. 景观格局指数间相关关系对植被覆盖度等级分类数的响应. 生态学报, 2007, 27(10): 4075-4085.

# 2008 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊\*

(源于 2009 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	8956	1	生态学报	1.669
2	应用生态学报	7979	2	植物生态学报	1.656
3	植物生态学报	3742	3	应用生态学报	1.632
4	西北植物学报	3584	4	生物多样性	1.474
5	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3460	5	生态学杂志	1.276
6	植物生理学通讯	3187	6	植物学通报	1.058
7	生态学杂志	3148	7	西北植物学报	1.046
8	遗传学报	2142	8	植物生理与分子生物学 学报	1.034
9	植物生理与分子生物学学报	1855	9	遗传学报	0.887
10	昆虫学报	1580	10	遗传	0.835

★《生态学报》2008 年在核心版的 1868 种科技期刊排序中总被引频次 8956 次,全国排名第 2;影响因子 1.669,全国排名第 14;第 1~8 届连续 8 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 30 卷 第 21 期 (2010 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 30 No. 21 2010

**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** 冯宗炜  
**主 管** 中国科学技术协会  
**主 办** 中国生态学会  
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

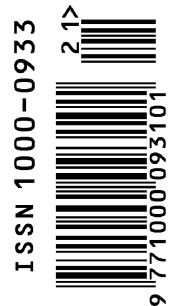
**Editor-in-chief** FENG Zong-Wei  
**Supervised** by China Association for Science and Technology  
**Sponsored** by Ecological Society of China  
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS  
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

**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 70.00 元