

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 24 期 Vol.31 No.24 **2011**

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 31 卷 第 24 期

2011 年 12 月 (半月刊)

目 次

柑橘黄龙病株不同部位内生细菌群落结构的多样性·····	刘 波,郑雪芳,孙大光,等 (7325)
小兴安岭红松径向生长对未来气候变化的响应·····	尹 红,王 靖,刘洪滨,等 (7343)
污水地下渗透系统脱氮效果及动力学过程·····	李海波,李英华,孙铁珩,等 (7351)
基于生态系统服务的海南岛自然保护区体系规划·····	肖 燧,陈圣宾,张 路,等 (7357)
羌塘地区草食性野生动物的生态服务价值评估——以藏羚羊为例·····	鲁春霞,刘 铭,冯 跃,等 (7370)
湖北省潜江市生态系统服务功能价值空间特征·····	许倍慎,周 勇,徐 理,等 (7379)
滇西北纳帕海湿地景观格局变化及其对土壤碳库的影响·····	李宁云,袁 华,田 昆,等 (7388)
基于连接性考虑的湿地生态系统保护多预案分析——以黄淮海地区为例·····	宋晓龙,李晓文,张明祥,等 (7397)
青藏高原高寒草甸生态系统碳增汇潜力·····	韩道瑞,曹广民,郭小伟,等 (7408)
影响黄土高原地物光谱反射率的非均匀因子及反照率参数化研究·····	张 杰,张 强 (7418)
基于 GIS 的下辽河平原地下水生态敏感性评价·····	孙才志,杨 磊,胡冬玲 (7428)
厦门市土地利用变化下的生态敏感性·····	黄 静,崔胜辉,李方一,等 (7441)
我国保护地生态旅游发展现状调查分析·····	钟林生,王 婧 (7450)
黄腹山鹧鸪稳定的配偶关系限制雄性欺骗者·····	褚福印,唐思贤,潘虎君,等 (7458)
食物蛋白含量和限食对雌性东方田鼠生理特性的影响·····	朱俊霞,王 勇,张美文,等 (7464)
具有捕食正效应的捕食-食饵系统·····	祁 君,苏志勇 (7471)
桑科中 4 种桑天牛寄主植物的挥发物成分研究·····	张 琳,WANG Baode,许志春 (7479)
栗山天牛成虫羽化与温湿度的关系·····	杨忠岐,王小艺,王 宝,等 (7486)
人工巢箱条件下杂色山雀的巢位选择及其对繁殖成功率的影响·····	李 乐,万冬梅,刘 鹤,等 (7492)
鸭绿江口湿地鸕鹚类停歇地的生物生态研究·····	宋 伦,杨国军,李 爱,等 (7500)
锡林郭勒草原区气温的时空变化特征·····	王海梅,李政海,乌 兰,等 (7511)
UV-B 辐射胁迫对杨桐幼苗生长及光合生理的影响·····	兰春剑,江 洪,黄梅玲,等 (7516)
小麦和玉米叶片光合-蒸腾日变化耦合机理·····	赵风华,王秋凤,王建林,等 (7526)
利用稳定氢氧同位素定量区分白刺水分来源的方法比较·····	巩国丽,陈 辉,段德玉 (7533)
2010 年冬季寒冷天气对闽江口 3 种红树植物幼苗的影响·····	雍石泉,仝 川,庄晨辉,等 (7542)
人参皂苷与生态因子的相关性·····	谢彩香,索风梅,贾光林,等 (7551)
芑对黑麦草根系几种低分子量有机分泌物的影响·····	谢晓梅,廖 敏,杨 静 (7564)
盐碱地柠条根围土中黑曲霉的分离鉴定及解磷能力测定·····	张丽珍,樊晶晶,牛 伟,等 (7571)
不同近地表土壤水文条件下雨滴打击对黑土坡面养分流失的影响·····	安 娟,郑粉莉,李桂芳,等 (7579)
煤电生产系统的能值分析及新指标体系的构建·····	楼 波,徐 毅,林振冠 (7591)
专论与综述	
东南亚高山森林植被变化对流域产水量的影响·····	张远东,刘世荣,顾峰雪 (7601)
干旱荒漠区斑块状植被空间格局及其防沙效应研究进展·····	胡广录,赵文智,王 岗 (7609)
利用农业生物多样性持续控制有害生物·····	高 东,何霞红,朱书生 (7617)
研究简报	
洪湖湿地生态系统土壤有机碳及养分含量特征·····	刘 刚,沈守云,闫文德,等 (7625)
氯氰菊酯和溴氰菊酯对萼花臂尾轮虫生殖的影响·····	黄 林,刘昌利,韦传宝,等 (7632)
学术信息与动态	
SCOPE-ZHONGYU 环境论坛(2011)暨环境科学与可持续发展国际会议成功举办·····	(7639)
《生态学报》3 篇文章入选 2010 年中国百篇最具影响国内学术论文 等·····	(I)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2011-12	



封面图说: 泥炭藓大多生长在多水、寒冷和贫营养的生境,同时有少数的草本、矮小灌木也生长在其中,但优势植物仍然是泥炭藓属植物。泥炭藓植物植株死后逐渐堆积形成泥炭。经过若干年的生长演变,形成了大片的泥炭藓沼泽。这种沼泽地有黑黑的泥炭,绿绿的草甸和亮晶晶的斑块状水面相间相衬,远远看去就像大地铺上了锦绣地毯一样美丽壮观。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

许倍慎, 周勇, 徐理, 于雷, 吴文斌. 湖北省潜江市生态系统服务功能价值空间特征. 生态学报, 2011, 31(24): 7379-7387.

Xu B S, Zhou Y, Xu L, Yu L, Wu W B. Spatial characteristics analysis of ecological system service value in QianJiang City of Hubei Province. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(24): 7379-7387.

湖北省潜江市生态系统服务功能价值空间特征

许倍慎¹, 周 勇^{1,*}, 徐 理¹, 于 雷¹, 吴文斌²

(1. 华中师范大学城市与环境科学学院, 武汉 430079, 2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

摘要: 为了揭示生态系统服务功能价值在县级尺度上空间分布状况与特征, 运用探索性空间数据分析(ESDA)方法, 在已有研究基础上, 结合 RS/GIS 技术, 计算潜江市 2009 年生态系统服务功能价值, 分析各样点生态系统服务功能价值强度的全局空间自相关性和局部空间自相关性, 并对各样点生态系统服务功能价值强度进行了半变异函数分析、模型模拟和空间插值。结果表明, 2009 年, 潜江市 V_{ES} 总和为 190344.45 万元。市域空间上生态系统服务功能价值强度呈现明显的全局空间正相关关系, 但相关性随距离增加而下降。局部空间自相关模式表现出一个明显的“热核”区及两个明显的“冷极”区。半变异函数分析得到 $C_0 = 0.005$, $C_0 + C = 0.447$, $a = 1.68$ (km), 表明数据具有很强的空间自相关性。通过克吕格插值发现生态系统服务功能价值空间分布表现为以西南—东北方向为主轴的高值—低值核心扩散形态。

关键词: 生态系统服务功能价值; 空间自相关性; 半变异函数; 克吕格插值

Spatial characteristics analysis of ecological system service value in QianJiang City of Hubei Province

XU Beishen¹, ZHOU Yong^{1,*}, XU Li¹, YU Lei¹, WU Wenbin²

1 College of Urban and Environment, Huangzhong Normal University, Wuhan 430079, China

2 Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

Abstract: In order to reveal the spatial distribution characteristics of ecosystem service value on county scale, this paper carries on the land classification of QianJiang City by making use of the multispectral remote sensing image in 2009 of CBERS-02B. And RS/GIS techniques, the paper calculates the ecosystem service value of QianJiang City in 2009, analyzes the spatial autocorrelation and local spatial autocorrelation of ecosystem service value of every sampling point and conducts the semi-variable analysis, model simulation and spatial interpolation. The result indicates that firstly, the overall ecosystem service value of QianJiang City is 1.903 billion yuan in 2009, of which cultivated land and waters make up the main part, respectively accounting for 47.15% and 43.75%. Secondly, the intensity of ecosystem service value on county scale appears obvious overall positive correlation, though the correlation coefficient decreases with increasing distance, which presents significantly positive correlation in 12 km, negative correlation between 12 and 26 km and no correlation 26 km away ($P < 0.05$). Thirdly, the local spatial autocorrelation analysis shows a high-high aggregation and two low-low aggregations ($P < 0.05$). The high-high aggregation is mainly distributed in the southwest of the city while the two low-low aggregations are mainly distributed in north-central and east area. Lastly, the analyzing result of semi-variable function is $C_0 = 0.005$, $C_0 + C = 0.447$, $a = 1.68$ km, which indicates that the data has a strong spatial autocorrelation. By Kriging interpolation we find out that the ecosystem service value declines from extremely high value in southwest area to low value in northeast area, displaying a diffusion pattern that takes the southwest to northeast as the main axis. In general, the

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2010CB951504); 湖北省自然科学基金重点项目(2010CDA059); 国家自然科学基金(40801078); 华中师范大学人文社会科学“丹桂”计划项目

收稿日期: 2011-01-11; 修订日期: 2011-09-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yzhou@mail.ccnu.edu.cn

analysis results of the study area's ecosystem service value accord with the natural condition and economic development in QianJiang City.

Key Words: ecosystem service value; spatial autocorrelation; semi-variable function; Kriging interpolation

生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及所维持人类赖以生存的自然环境条件和效用,包括对人类生存及生活质量有贡献的生态系统产品和生态系统功能,是实现区域可持续发展的重要基础^[1-3]。寻求合适的方法对生态系统服务功能的价值进行测算和分析是当前生态研究的热点之一^[4]。

我国学者对区域生态系统服务功能的研究主要集中于对其价值的计算,主要采用以下两种思路。其一是根据 Costanza^[3]等人对生态系统服务功能价值内涵的界定和研究思路,通过获取对研究区生态系统服务功能影响显著的各种因素的数据,对各类生态系统的的服务价值进行直接计算^[5-10]。该方法计算结果较为精确,突出了研究区的特点,有利于生态系统服务功能价值的空间表达,但对数据收集和处理要求高,计算比较复杂。另一种思路是运用谢高地等建立的基于专家知识的我国生态系统服务功能价值评估体系和单位价值,对研究区的生态系统服务功能价值进行间接计算^[11-16]。该方法计算简便,计算标准统一,各区域之间可比性强,但不易对生态系统服务功能的空间分布进行表达。

目前国内运用上述两种思路对区域生态系统服务功能价值进行计算并开展生态状况和环境评价等方面的研究案例较多^[17],但对研究区生态系统服务功能价值的本身空间分布特征研究较少。生态系统服务功能价值和区域的自然地理要素分布、社会经济发展状况直接相关。这些因素在空间上均具有随机性和结构性,具有地学特征,因此生态系统服务功能价值和各种地理实体一样,存在着一定的空间关联性,可以运用空间自相关分析等地学统计分析方法^[18]。对区域生态系统服务功能价值的空间分布格局进行研究,有利于揭示研究对象之间的空间相互作用机制和深入了解区域生态系统的特征。

为了对区域生态系统服务功能价值进行定量计算并对其空间特征进行分析,本文借鉴探索性空间数据分析(ESDA)的方法^[19],以 Costanza、谢高地等学者的研究成果为基础,结合遥感(RS)和地理信息系统(GIS)技术,对潜江市 2009 年生态系统服务功能价值进行了计算,并采用地统计学方法对其空间分布格局进行了统计分析,以揭示生态系统服务功能价值在县级空间尺度上的依赖性和异质性,并直观展现研究对象的空间分布状况与特征。

1 研究区概况

潜江市位于长江和汉水之间,湖北省中南部江汉平原的腹地,东连武汉,西至荆州;318 国道,宜黄高速公路和汉宜高速铁路横贯东西。全市国土面积 2004 km²,境内地势平坦,耕地比例大,是湖北省重要的粮棉油生产基地;境内河湖众多,水域密集,受亚热带季风气候影响,光照充足,四季分明,雨水充沛;江汉油田总部位于潜江市广华办事处。

2 数据来源和研究方法

2.1 数据来源及处理

本研究使用中巴资源卫星(CBERS-02B)2009 年 11 月 22 日(Path 2, Row 66)19.5 m 分辨率的多光谱遥感影像^①,在 ENVI4.6 软件中通过几何纠正、多光谱影像波段融合等处理;在此基础上,导入潜江市行政区域的 Shapefile 文件进行裁剪,得到潜江市的遥感影像。以《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2007)的一级分类为基础,结合潜江市土地利用特点,运用人机交互解译进行分类处理,结合实测地物信息进行修正,将全市的土地分为耕地、园地、林地、城乡建设用地、交通水利用地、水域、自然保留地等 7 种。通过精度检验后,将分类影像数据导入到 ARCGIS9.2 软件中,将潜江市行政区域划分为 418 个样方(图 1),每个样方的大小为

① 影像数据来源于中国资源卫星应用中心(<http://www.cresda.com/>)

2.5 km×2.5 km(行政区边缘不完整样方的大小有差别),对每个样方分别计算生态系统服务功能价值和价值强度,并进行空间特征分析。

2.2 生态系统服务功能价值计算方法

2.2.1 价值系数的确定

以谢高地 2007 年提供的代表全国平均状态的“中国不同陆地生态系统单位面积生态服务价值表”^[20]为基础,对部分生态系统的服务功能价值系数进行修正。其中,对耕地的生态系统服务功能价值系数进行生物量因素修正^[20],修正系数为湖北省耕地的平均生物量系数 1.27^[21];借鉴赵同谦、欧阳志云^[22]等人对亚热带常绿落叶阔叶混交林的生态服务功能的研究成果,对林地的生态系统服务功能价值系数进行修正;园地的生态价值系数取耕地和林地价值系数的一半进行计算^[23];水域和自然保留地(湿地)的价值系数未进行修正;建设用地的生态价值系数为 0。

2.2.2 计算公式

运用 Costanza 的生态系统服务功能价值计算公式,结合本文的研究思路和样方划分,对潜江市生态系统服务功能价值及每个样方的价值强度进行计算。

每个样方的生态系统服务功能价值:

$$V_{ESj} = \sum_{i=1}^n A_{ij} \times C_{vi} \quad (1)$$

每个样方的生态系统服务功能价值强度:

$$\bar{V}_{ESj} = \frac{V_{ESj}}{S} \quad (2)$$

研究区生态系统服务功能总价值:

$$V_{ES} = \sum_{j=1}^m V_{ESj} \quad (3)$$

式中, A_{ij} 为第 j 个样方 i 种土地利用类型的分布面积(hm^2); C_{vi} 为第 i 种地类生态价值系数($\text{元} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); s 为每个样方的面积; n 为土地利用类型; m 为样方个数。

2.3 空间统计学方法

2.3.1 空间自相关分析方法

空间自相关分析是通过计算空间自相关系数,以定量描述事物在空间上的分布模式,揭示变量空间依赖性与空间异质性为目的的多种方法的集合。本文选用全局空间自相关指标 Moran's I 来反映整个研究区域生态系统服务功能价值的空间模式;选用局部空间自相关指标 LISA 描述各局部样方与相邻样方之间生态系统服务功能价值的相关程度。计算公式如下:

$$I = \frac{N \sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x}) (x_j - \bar{x})}{(\sum_i \sum_j w_{ij}) \sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

式中, N 代表总共的面状区域数; w_{ij} 代表空间权重值; x_i 代表区域 i 的属性值; $\bar{x}$ 为属性值的平均值。Moran's I 取值范围介于 -1 与 1 之间,在给定显著性水平下,当 Moran's I 显著为正时,表示观测值之间存在显著的正相

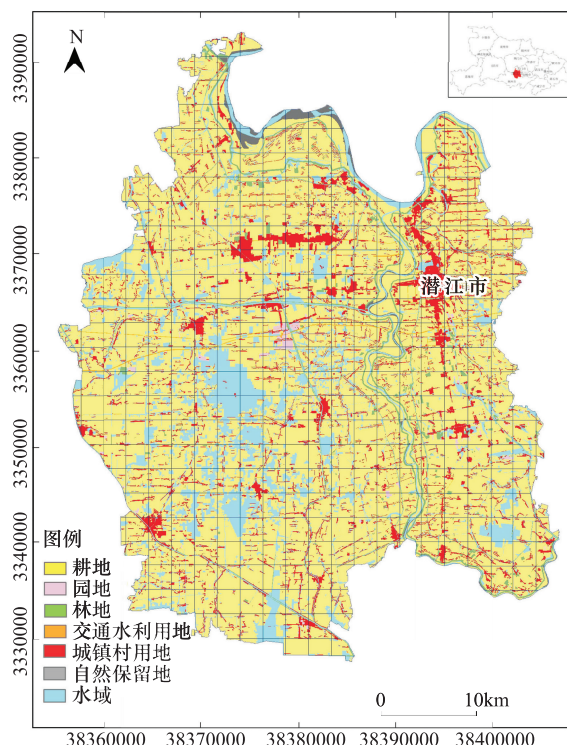


图1 基于遥感影像的 2009 年土地利用图和采样方格

Fig.1 Land use map based on CBERS images in 2009 and samples

关;当 Moran's I , 显著为负时, 表示观测值之间存在显著的负相关。

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{s_x^2} \sum_j [w_{ij}(x_j - \bar{x})] \quad (5)$$

式中, s_x 对应于 x_i 和 x_j 的标准差; $z_i = (x_i - \bar{x})/s_x^2$ 为标准化变量, 其他变量涵义同公式(4)。在一定显著性水平下, 若 I_i 显著为正且 Z_i 大于 0, 则表明位置 i 和周围相邻的观测值都相对较高, 属高高集聚; 若 I_i 显著为正且 Z_i 小于 0, 则表明位置 i 和周围相邻的观测值都相对较低, 属低低集聚; 若 I_i 显著为负且 Z_i 大于 0, 则表明周围相邻的观测值远低于位置 i 上的值, 属高低集聚; 若 I_i 显著为负且 Z_i 小于 0, 则表明周围相邻的观测值远高于位置 i 上的值, 属低高集聚。

2.3.2 半变异函数分析方法

半变异函数是反映区域化变量的空间相关性, 进行空间结构分析和最优模拟的主要工具。计算公式为:

$$r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \quad (6)$$

式中, h 为样本间距; $N(h)$ 为以 h 为间距的所有观测点的成对数目。应用最小二乘法对实测半方差进行不同模型的拟合, 可以估计不同距离的半变异值, 进而对变量进行克吕格差值。

3 结果与分析

3.1 生态系统服务功能价值计算结果

通过公式(1)、(3) 计算得到研究区每个样方的生态系统服务功能价值(图 2) 和全区总价值。结果显示, 2009 年潜江市生态系统服务功能价值总计为 190344.45 万元, 其中耕地为 89756.52 万元, 占总价值的 47.15%; 水域 83272.07 万元, 占总价值的 43.75%; 林地 11168.64 万元, 占总价值的 5.87%; 自然保留地 4879.31 万元, 占总价值的 2.56%; 园地 1267.91 万元, 占总价值的 0.67%。

每个样方的平均价值为 455.32 万元, 最小值为 13.00 万元, 最高值为 1134.53 万元, 各样方之间差异较大。从空间分布来看, 价值较高样方主要集中连片分布在市域中部偏西南方向, 湖泊、水域集中的区域以及市域北缘, 沿汉江流域; 价值较低样方主要以带状分布于市域中北部偏东, 城镇工矿用地分布密集区域。

3.2 空间自相关分析

为了消除边缘网格面积不一致对生态系统服务功能价值分布规律造成的影响, 利用公式(1)、(2) 计算了每个样方的生态系统服务功能价值强度, 并对 $\bar{V}_{ESj}$ 进行 log 变换, 经直方图检验, 符合正态分布形态, 满足进行空间自相关分析的条件。

3.2.1 全局空间自相关分析

跟据公式(4), 运用 GS+7.0 软件计算不同空间尺度下研究区 2009 年生态系统服务功能价值的 Moran's I 值(图 3), 并在软件中通过了标准化 z 值的 P 检验($P < 0.05$)。总体而言, 图中曲线呈下降趋势, 说明了随着空间距离的增大, 生态系统服务功能价值在空间分布上的差异性明显增加, 而相似性减小。从变异程度上来看, 在 12 km 范围内表现出强烈的正相关; 12—26 km 范围内表现为负相关; 26 km 以上相关性不明显, Moran's I 值接近于 0。

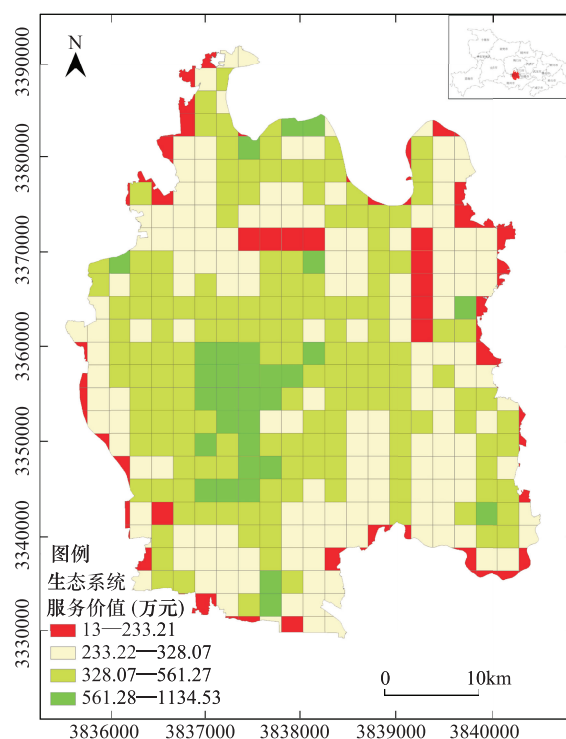


图 2 基于采样方格的 V_{ES} 分布图

Fig. 2 spatial distribution of V_{ES} based on samples

3.2.2 局部空间自相关分析

根据公式(5),利用 GeoDA0.9.5 软件计算潜江市 2009 年生态系统服务功能价值的 Local Moran's I (LISA) 值,并在软件进行 z 检验基础上 ($P < 0.05$) 绘制 LISA 分布图(图 4)。从图中分析可得,潜江市生态系统服务功能价值强度的局部空间自相关模式表现出一个明显的“热核”区(“高一高”集聚)及两个明显的“冷极”区(“低—低”集聚)。“热核”区主要分布于潜江市中部偏西南方向,该区样方生态系统服务功能价值较高,相邻样方生态系统服务功能价值也较高;两个“冷极”区分布于潜江市中北部和偏东区域,以潜江市城区为中心沿潜监公路向南延伸,经杨市办事处至总口管理区;同时向西延伸至广华办事处。该区域样方生态系统服务功能价值较低,其相邻区域生态系统服务功能价值也较低。在“热核”区和“冷极”区为中心分别零星分布着“低—高”集聚和“高一低”集聚的区域。总体来看,全市以“高一高”集聚和“低—低”集聚表现出的局部空间正相关性较强,反映了区域的集聚与相似性。

3.3 半变异函数分析

3.3.1 半变异函数计算和模型拟合

各样方 $\bar{V}_{ESj}$ 经 $\log$ 变换后,其分布符合正态分布规律,满足半变异函数分析的前提条件,运用 ARCGIS9.2 软件的 Geostatistical Analyst 模块,以正北方向呈 0° 、 45° 、 90° 、 135° 4 个方向为典型方向,根据公式(6)分别计算 $r(h)$ 值。结果表明,潜江市 2009 年生态系统服务价值在不同方向基本显示各项同性,可以作为各向同性处理。

应用最小二乘法对各样方 $\bar{V}_{ESj}$ 的半方差进行不同模型(球面模型、指数模型、线性模型和高斯模型)的计算和拟合,通过比较各方程预测误差的均值、预测误差的均方根、平均预测标准差、平均标准差和标准均方根预测误差 5 个参数的大小,对各种模型的拟合效果进行检验,最终确定采用球面模型(图 5),模型如下:

$$r(h) = \begin{cases} 0 & h = 0; \\ C_0 + C \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] & 0 < h < a; \\ C_0 + C & h \geq a \end{cases}$$

式中,半方差达到稳态的最小距离称为变程 a ,用来判断空间自相关的最大范围; C_0 为距离 $h = 0$ 时的半方差值,称为块金方差,主要表示由实验误差和小于取样尺度引起的变异; C 为结构方差,表示空间自相关部分引起的变异; $C_0 + C$ 为稳态时的半方差值,称为基台值,表征系统内总的变异; $C_0 / (C_0 + C)$ 表示随机因素引起的空间异质性占系统总变异的比。

结果表明, $C_0 = 0.005$; $C_0 + C = 0.447$; $a = 1.68$ (km),数据具有很强的空间自相关性;通过软件检验,预测误差的均值(0.013)、平均标准差(0.0013)接近于 0;预测误差的均方根(0.047)、平均预测标准差(0.058)很

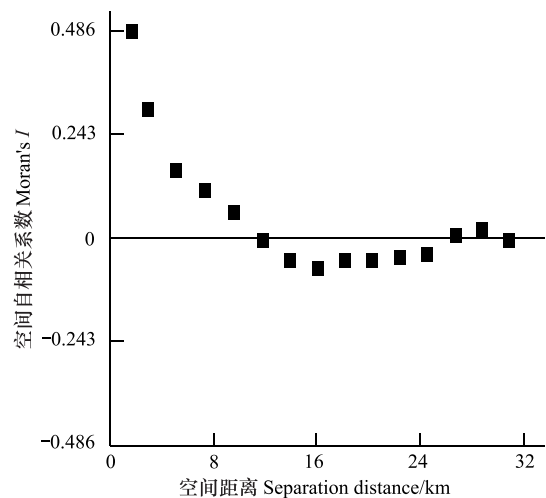


图 3 V_{ES} 的 Moran's I 对空间距离变化的响应

Fig. 3 Moran's I of V_{ES} responds to distance in the study area

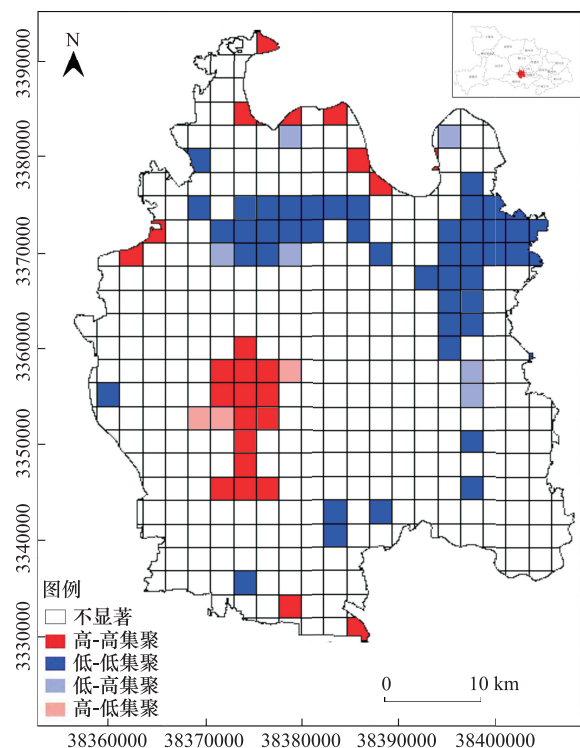


图 4 2009 年潜江市 V_{ES} 局部空间自相关图

Fig. 4 Local spatial autocorrelation of V_{ES} in 2009

小;标准均方根预测误差(0.9483)接近于1,以上数据表明误差在允许范围内。由此采用普通克吕格法对 $\bar{V}_{ESj}$ 进行插值预测和模拟,生成等值线图(图6)。

3.3.2 拟合结果分析

根据图6所示,2009年潜江市生态系统服务功能价值的空间分布主要呈现为以西南—东北为主轴的高值—低值核心扩散形态。以市域中部后湖管理区、龙湾镇、浩口镇相接地带为高值核心逐步向外扩展降低,至东北方向园林办事处、杨市办事处北部、竹根滩镇南部区域形成低值核心区。另外,潜江市北部沿江流域形成一个规模较小的高值区,两个高值区之间为以广华办事处(江汉油田)为中心的次级低值区。

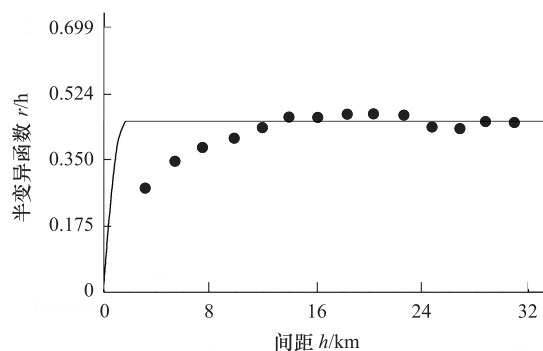


图5 经 $\log$ 变换的 V_{ES} 的半变异函数曲线

Fig. 5 Semi-variable function sketch of V_{ES} after $\log$ transformation

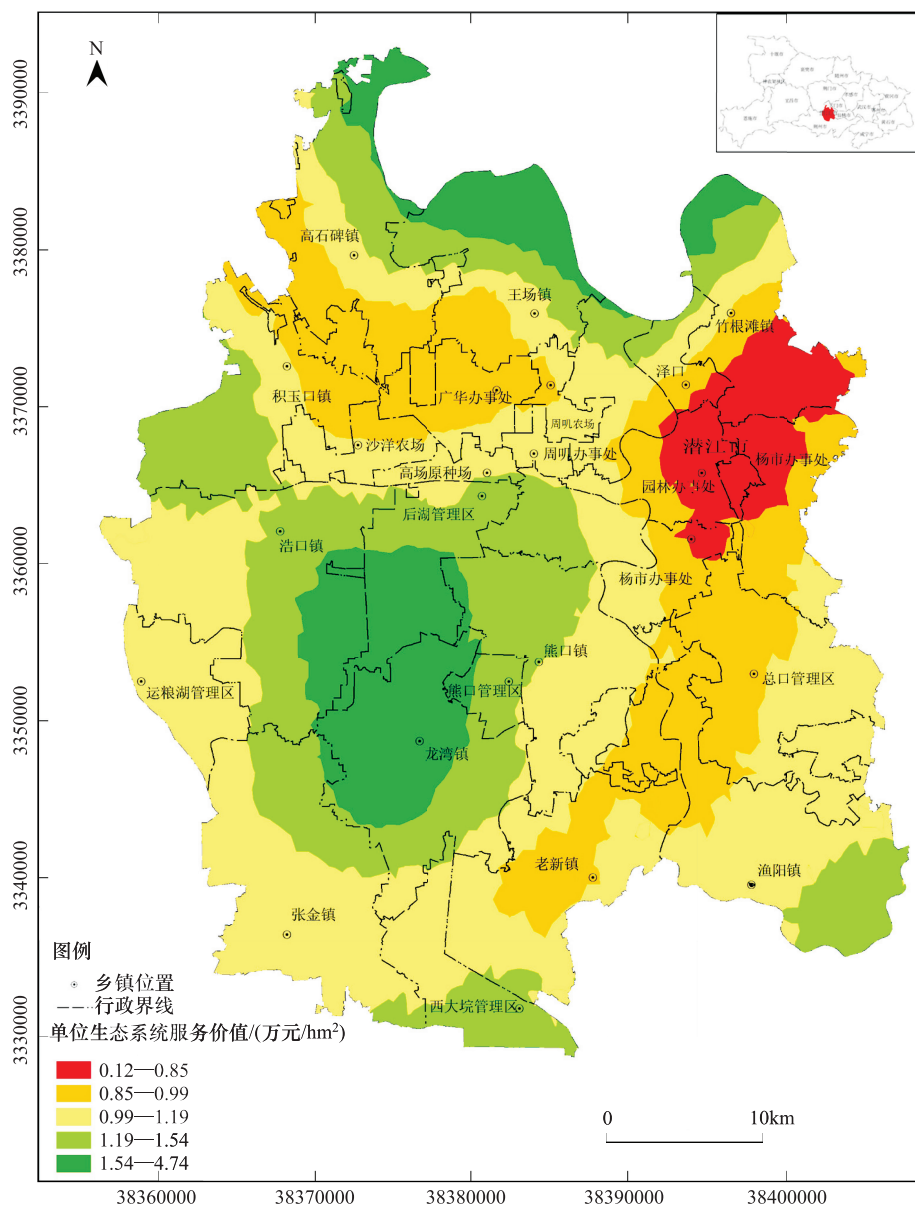


图6 基于克吕格差值的 V_{ES} 等值线图

Fig. 6 Equivalent section map of V_{ES} produced by Kriging

潜江市生态系统服务价值强度的空间分布主要受土地利用格局、区位因素和经济发展水平的影响。中北部为市区两个办事处和一个省级经济开发区所在地,是潜江市政治、经济的中心;石油天然气开采和化工产业为主导产业;该区域交通条件优越,城镇、工矿分布密集、人口众多,形成了零碎、复杂的土地利用格局,是全市生态环境压力最大的区域,因此在该区域形成了生态系统服务价值的低值核心区。生态系统服务功能价值的高值核心区以潜江市境内最大的湖泊——返湾湖为中心,其周边大小湖泊、湿地星罗棋布,具有很强的生态服务功能,同时该区域长期以来以种植业、水产养殖为主,区域内基本无城镇分布,工业基础较弱,环境污染相对较小。

4 小结和讨论

通过对研究区生态系统服务功能价值及其空间分布特征进行计算和分析表明,2009 年,潜江市生态系统服务功能价值总和为 190344.45 万元,其中耕地和水域构成了生态系统服务功能价值的主体。

对研究区生态系统服务功能价值进行全局 Moran's I 和 LISA 分析表明,潜江市生态系统服务功能价值总体上呈现较强的正相关性,随着空间距离的增加,相关性逐渐下降;局部空间自相关模式表现出一个明显的“热核”区及两个明显的“冷极”区,分别分布于潜江市中部偏西南方向和中北部。通过半变异函数分析及球状模型拟合,潜江市生态系统服务功能价值的空间分布主要呈现为以西南—东北方向为主轴的高值—低值核心扩散形态,且等值区分布趋势与 LISA 分布模式基本相同。结合《潜江市城市总体规划(2008—2020)》可以发现,潜江市的产业布局将以市区向西至江汉油田,向南至杨市、总口为主要轴线,这样的布局在最大程度上避开了市域西南部生态系统服务价值的高值核心,有利于生态的保护,但同时靠近沿汉江的次级高值区,因此应重视产业发展过程中的环境影响,维护和促进区域生态系统服务功能的发挥。

本文借鉴 Costanza、谢高地等学者的研究成果,运用探索性空间数据分析的方法,在对潜江市 2009 年生态系统服务功能价值进行计算的基础上,尝试分析了其空间分布的内在特点,在现有的研究水平和技术条件下,该方法较为简便^[11],结果展示比较直观,对于区域可持续发展具有一定的指导作用,并且易于在不同区域之间开展比较,但计算结果较宏观。在今后的研究中应注重对生态系统服务功能的精确性、定量和定位的研究^[3],特别是加强不同区域不同空间尺度下对生态系统服务功能价值进行精确计算的方法和模型研究,并制定适合区域特点的生态服务价值系数,在突出区域特点的基础上,还应保持不同区域之间计算结果的可比性。同时,应加强生态系统服务功能和区域生态安全、可持续发展之间相互联系的研究^[24],弄清生态系统服务功能的分布和变化对人类生活和区域发展的实际影响,为合理开展功能分区并制定相应的发展策略和生态补偿措施,保证区域生态状况的稳定,促进区域可持续发展提供支持。

References:

- [1] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington DC: Island Press, 1997: 122-134.
- [2] Ouyang Z Y, Wang R S, Zhao J Z. Ecosystem services and their economic valuation. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(5): 635-640.
- [3] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387(6630): 253-260.
- [4] Chen N W, Li H C, Wang L H. Reviews on ecosystem services: connotation, valuation and GIS-based mapping. Ecology and Environmental Sciences, 2009, 18(5): 1987-1994.
- [5] Huang X W, Chen B M. The theory and application about the regionalization of Chinese ecological assets. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(5): 602-606.
- [6] Xie G D, Zhang Y L, Lu C X, Zheng D, Cheng S K. Study on valuation of rangeland ecosystem services of China. Journal of Natural Resources, 2001, 16(1): 47-53.
- [7] Chen N W, Zhang X Y, Lu X M. Mapping direct use value of ecosystem services: a GIS-based approach. China Environmental Science, 2008, 28(7): 661-666.

- [8] Li J, Ren Z Y. Changes in ecosystem service values on the Loess Plateau in northern Shaanxi province, China. *Agricultural Sciences in China*, 2008, 7(5): 606-614.
- [9] Xie G D, Lu C X, Leng Y F, Zheng D, Li S C. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(2): 189-196.
- [10] Bai X F, Chen H W, Peng J F. Study on spatial change of ecosystem services value a case study of Yi Jin Huo Luo County. *China Land Science*, 2006, 20(6): 16-20.
- [11] Sun H L, Li W H, Chen Y P, Xu C C. Response of ecological services value to land use change in the Ili River Basin, Xinjiang, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(4): 887-894.
- [12] Wang Y M, Chang X L, Ding J X, Wei X H. The economic evaluation of ecosystem service values in Huhhot city based on RS/GIS. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2009, 23(8): 9-13.
- [13] Min J, Gao W, Li X Y, Zhang A L. Analysis on spatial-temporal changes of land use and ecosystem services value in Wuhan City. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(4): 170-174.
- [14] Song J N, Mei J P, Jin X B, Zhou Y K, Yu L T. Amendment of regional ecosystem service value based on coordination index. *Geography and Geo-Information Science*, 2010, 26(1): 86-89.
- [15] Chen K L, Li S C, Zhou Q F, Duo H R, Chen Q. Analyzing dynamics of ecosystem service values based on variations of landscape patterns in Qinghai Lake Area in recent 25 years. *Resources Science*, 2008, 30(2): 274-280.
- [16] Li W K, Li T H, Qing Z H. Impact of land use change on ecosystem service values in Shenzhen. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23(3): 440-446.
- [17] Yang G M, Li W H, Min Q W, Zhen L, Lucas M. Reflection on the limitation of ecological service studies in China and suggestion for future research. *China Population Resources and Environment*, 2007, 17(1): 95-91.
- [18] Xu J H. *Mathematical Methods in Contemporary Geography*. Beijing: Higher Education Press, 2002: 105-106.
- [19] Goodchild M F, Maguire D J. *Geographical Information Systems, Principles, Technical Issues, Management Issues and Applications*. 2nd ed. Indianapolis: John Wiley and Sons, Inc, 1999: 253-266.
- [20] Xie G D, Zhen L, Lu C X, Xiao Y, Chen C. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23(5): 911-919.
- [21] Xie G D, Xiao Y, Zhen L, Lu C X. Study on ecosystem services value of food production in China. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2005, 13(3): 10-13.
- [22] Zhao T Q, Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. Forest ecosystem services and their valuation in China. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(4): 480-491.
- [23] Wu K N, Zhao K, Zhao J S, Cao Z H, Zhu J W, Lv Q L, Zhang L. The environmental impact assessment of land use planning based on the theory of ecosystem services value: taking Anyang as an example. *China Land Science*, 2008, 22(2): 23-28.
- [24] Guo Z W, Gan Y L. Some scientific questions for ecosystem services. *Biodiversity Science*, 2003, 11(1): 63-69.

参考文献:

- [2] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价. *应用生态学报*, 1999, 10(5): 635-640.
- [4] 陈能汪, 李焕承, 王莉红. 生态系统服务内涵、价值评估与 GIS 表达. *生态环境学报*, 2009, 18(5): 1987-1994.
- [5] 黄兴文, 陈百明. 中国生态资产区划的理论与应用. *生态学报*, 1999, 19(5): 602-606.
- [6] 谢高地, 张钰铨, 鲁春霞, 郑度, 成升魁. 中国自然草地生态系统服务价值. *自然资源学报*, 2001, 16(1): 47-53.
- [7] 陈能汪, 张潇尹, 卢晓梅. 基于 GIS 的生态系统服务直接利用价值评估方法. *中国环境科学*, 2008, 28(7): 661-666.
- [9] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. *自然资源学报*, 2003, 18(2): 189-196.
- [10] 白晓飞, 陈焕伟, 彭晋福. 生态系统服务价值空间变化研究——以伊金霍洛旗为例. *中国土地科学*, 2006, 20(6): 16-20.
- [11] 孙慧兰, 李卫红, 陈亚鹏, 徐长春. 新疆伊犁河流域生态服务价值对土地利用变化的响应. *生态学报*, 2010, 30(4): 887-894.
- [12] 王玉梅, 常学礼, 丁俊新, 魏兴华. 基于 RS/GIS 的呼和浩特市生态系统服务价值评估. *干旱区资源与环境*, 2009, 23(8): 9-13.

- [13] 闵捷, 高魏, 李晓云, 张安录. 武汉市土地利用与生态系统服务价值的时空变化分析. 水土保持学报, 2006, 20(4): 170-174.
- [14] 宋佳楠, 梅建屏, 金晓斌, 周寅康, 于凌涛. 基于协调系数修正的区域生态系统服务价值测算研究. 地理与地理信息科学, 2010, 26(1): 86-89.
- [15] 陈克龙, 李双成, 周巧富, 朵海瑞, 陈琼. 近 25 年来青海湖流域景观结构动态变化及其对生态系统服务功能的影响. 资源科学, 2008, 30(2): 274-280.
- [16] 李文楷, 李天宏, 钱征寒. 深圳市土地利用变化对生态服务功能的影响. 自然资源学报, 2008, 23(3): 440-446.
- [17] 杨光梅, 李文华, 闵庆文, 甄霖, Lucas M. 对我国生态系统服务研究局限性的思考及建议. 中国人口·资源与环境, 2007, 17(1): 85-91.
- [18] 徐建华. 现代地理学中的数学方法. 北京: 高等教育出版社, 2002: 105-106.
- [20] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 肖玉, 陈操. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911-919.
- [21] 谢高地, 肖玉, 甄霖, 鲁春霞. 我国粮食生产的生态服务价值研究. 中国生态农业学报, 2005, 13(3): 10-13.
- [22] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 王效科, 苗鸿. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价. 自然资源学报, 2004, 19(4): 480-491.
- [23] 吴克宁, 赵珂, 赵举水, 曹志宏, 朱嘉伟, 吕巧灵, 张雷. 基于生态系统服务功能价值理论的土地利用规划环境影响评价——以安阳市为例. 中国土地科学, 2008, 22(2): 23-28.
- [24] 郭中伟, 甘雅玲. 关于生态系统服务功能的几个科学问题. 生物多样性, 2003, 11(1): 63-69.

CONTENTS

The community structure of endophytic bacteria in different parts of huanglongbing-affected citrus plants	LIU Bo, ZHENG Xuefang, SUN Daguang, et al (7325)
A research on the response of the radial growth of <i>Pinus koraiensis</i> to future climate change in the XiaoXing'AnLing	YIN Hong, WANG Jing, LIU Hongbin, et al (7343)
Efficiency and kinetic process of nitrogen removal in a subsurface wastewater infiltration system (SWIS)	LI Haibo, LI Yinghua, SUN Tieheng, et al (7351)
Designing nature reserve systems based on ecosystem services in Hainan Island	XIAO Yi, CHEN Shengbin, ZHANG Lu, et al (7357)
Assessing ecological services value of herbivorous wild animals in Changtang grassland: a case study of Tibetan antelope	LU Chunxia, LIU Ming, FENG Yue, et al (7370)
Spatial characteristics analysis of ecological system service value in QianJiang City of Hubei Province	XU Beishen, ZHOU Yong, XU Li, et al (7379)
Landscape pattern change and its influence on soil carbon pool in Napahai wetland of Northwestern Yunnan	LI Ningyun, YUAN Hua, TIAN Kun, et al (7388)
Multi-scenarios analysis for wetlands ecosystem conservation based on connectivity: a case study on HuangHuaiHai Region, China ...	SONG Xiaolong, LI Xiaowen, ZHANG Mingxiang, et al (7397)
The potential of carbon sink in alpine meadow ecosystem on the Qinghai-Tibetan Plateau	HAN Daorui, CAO Guangmin, GUO Xiaowei, et al (7408)
The relations of spectrum reflectance with inhomogeneous factors and albedo parameterization ...	ZHANG Jie, ZHANG Qiang (7418)
Groundwater ecological sensitivity assessment in the lower Liaohe River Plain based on GIS technique	SUN Caizhi, YANG Lei, HU Dongling (7428)
Ecological sensitivity of Xiamen City to land use changes	HUANG Jing, CUI Shenghui, LI Fangyi, et al (7441)
Investigation and analysis on situation of ecotourism development in protected areas of China	ZHONG Linsheng, WANG Jing (7450)
Handicapping male-cheaters by stable mate relationship in yellow-bellied prinia, <i>Prinia flaviiventris</i>	CHU Fuyin, TANG Sixian, PAN Hujun, et al (7458)
Effects of dietary protein content and food restriction on the physiological characteristics of female <i>Microtus fortis</i>	ZHU Junxia, WANG Yong, ZHANG Meiwen, et al (7464)
Predator-prey system with positive effect for prey	QI Jun, SU Zhiyong (7471)
Volatile constituents of four moraceous host plants of <i>Apriona germari</i>	ZHANG Lin, WANG Baode, XU Zhichun (7479)
Relationship between adult emergence of <i>Massicus raddei</i> (Coleoptera: Cerambycidae) and temperature and relative humidity	YANG Zhongqi, WANG Xiaoyi, WANG Bao, et al (7486)
Nest site selection and reproductive success of <i>Parus varius</i> in man-made nest boxes	LI Le, WAN Dongmei, LIU He, et al (7492)
A study on bio-ecology of the stopover site of waders within China's Yalu River estuary wetlands	SONG Lun, YANG Guojun, LI Ai, et al (7500)
The spatial-temporal change variations of temperature in Xilinguole steppe zone	WANG Haimei, LI Zhenghai, WU Lan, et al (7511)
The growth and photosynthetic responses of <i>Cleyera japonica</i> Thunb. seedlings to UV-B radiation stress	LAN Chunjian, JIANG Hong, HUANG Meiling, et al (7516)
Photosynthesis-transpiration coupling mechanism of wheat and maize during daily variation	ZHAO Fenghua, WANG Qiufeng, WANG Jianlin, et al (7526)
Comparison of the methods using stable hydrogen and oxygen isotope to distinguish the water source of <i>Nitratia Tangutorum</i>	GONG Guoli, CHEN Hui, DUAN Deyu (7533)
Effects of cold weather on seedlings of three mangrove species planted in the Min River estuary during the 2010 winter	YONG Shiquan, TONG Chuan, ZHUANG Chenhui, et al (7542)
Correlation between ecological factors and ginsenosides	XIE Caixiang, SUO Fengmei, JIA Guanglin, et al (7551)
Effects of pyrene on low molecule weight organic compounds in the root exudates of ryegrass (<i>Lolium perenne</i> L.)	XIE Xiaomei, LIAO Min, YANG Jing (7564)
Isolation of phosphate solubilizing fungus (<i>Aspergillus niger</i>) from <i>Caragana</i> rhizosphere and its potential for phosphate solubili- zation	ZHANG Lizhen, FAN Jingjing, NIU Wei, et al (7571)
Effect of raindrop impact on nutrient losses under different near -surface soil hydraulic conditions on black soil slope	AN Juan, ZHENG Fenli, LI Guifang, et al (7579)
Emergy analysis of coal-fired power generation system and construction of new emergy indices	LOU Bo, XU Yi, LIN Zhenguan (7591)
Review and Monograph	
The impact of forest vegetation change on water yield in the subalpine region of southwestern China	ZHANG Yuandong, LIU Shirong, et al (7601)
Reviews on spatial pattern and sand-binding effect of patch vegetation in arid desert area	HU Guanglu, ZHAO Wenzhi, WANG Gang (7609)
Sustainable management on pests by agro-biodiversity	GAO Dong, HE Xiahong, ZHU Shusheng (7617)
Scientific Note	
Characteristics of organic carbon and nutrient content in five soil types in Honghu wetland ecosystems	LIU Gang, SHEN Shouyun, YAN Wende, et al (7625)
Effects of cypermethrin and deltamethrin on reproduction of <i>Brachionus calyciflorus</i>	HUANG Lin, LIU Changli, WEI Chuanbao, et al (7632)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 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

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 31 卷 第 24 期 (2011 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 24 2011

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	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
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
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 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	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@csppg.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 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元