

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第4期

Vol.33 No.4

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

碳同位素比技术定量估算城市大气 CO ₂ 的来源	刘卫, 位楠楠, 王广华, 姚剑, 曾友石, 范雪波, 耿彦红, 李燕 (1041)
广州大气降水中稳定同位素对 2008 年初华南地区冰雪灾害期间水汽来源的反映	廖聪云, 钟巍, 马巧红, 薛积彬, 尹焕玲, 龙昆 (1050)
北京雾霾天气期间气溶胶光学特性	于兴娜, 李新妹, 登增然登, 德庆央宗, 袁帅 (1057)
白马泉风景区夏季大气 PM _{2.5} 中二次有机物的初步研究	代东决, 李黎, 刘子芳, 赵敏, 冯加良, 赖玮, 曾燕梅, 周宇, 刘露云, 邓仕槐 (1063)
机动车尾气排放 VOCs 源成分谱及其大气反应活性	乔月珍, 王红丽, 黄成, 陈长虹, 苏雷燕, 周敏, 徐骅, 张钢锋, 陈宜然, 李莉, 陈明华, 黄海英 (1071)
法国梧桐叶片氮含量及氮同位素对城市大气湿沉降氮的响应研究	王燕丽, 肖化云, 肖红伟 (1080)
胶州湾及邻近海域表层海水中一氧化氮浓度分布及其影响因素探讨	薛超, 刘春颖, 杨桂朋, 祝陈坚, 张洪海 (1086)
基于不确定性分析的太湖水体多环芳烃的生态风险评价	郭广慧, 吴丰昌, 何宏平, 冯承莲, 张瑞卿, 李会仙 (1091)
流域水质时空分布特征及其影响因素初析	黄金良, 黄亚玲, 李青生, 周增荣, 冯媛, 张祯宇 (1098)
潮白河周丛生物群落元素组成与水质变化的生态计量学关系研究	崔经国, 单保庆, 王帅 (1108)
春季盘溪水质日变化规律及水质评价	张千千, 王效科, 郝丽岭, 逯非, 欧阳志云, 侯培强 (1114)
西南喀斯特流域风化作用季节性变化研究	肖琼, 沈立成, 杨雷, 伍坤宇, 陈展图 (1122)
三峡水库开县消落区水域冬季蓄水期间藻类群落结构与水质评价	郭劲松, 谢丹, 李哲, 陈园, 孙志禹, 陈永柏, 龙曼 (1129)
淀山湖水华高发期浮游植物群落变化特征研究	徐春燕, 杨洁, 马明睿, 胡雪芹, 由文辉 (1136)
三峡库区典型消落带草本植物氮磷养分浸泡释放实验	王建超, 朱波, 汪涛, 易礼军 (1144)
沂蒙山区典型小流域特殊降雨的磷素输出特征	李振伟, 于兴修, 刘前进, 井光花 (1152)
合肥城区地表灰尘氮磷形态分布及生物有效性	李如忠, 周爱佳, 童芳, 李峰, 钱家忠 (1159)
鹤地水库沉积物营养盐及重金属分布和污染特征分析	张华俊, 陈修康, 韩博平, 罗勇, 杨浩文, 曾艳, 陈敬安 (1167)
三门峡库区河流湿地沉积物重金属赋存形态和风险评价	敖亮, 单保庆, 张洪, 唐文忠 (1176)
黄河三角洲滨海湿地表层沉积物重金属区域分布及生态风险评价	刘志杰, 李培英, 张晓龙, 李萍, 朱龙海 (1182)
竺山湾重金属污染底泥环保疏浚深度的推算	姜霞, 王雯雯, 王书航, 金相灿 (1189)
雷州近海、流沙湾和深圳湾沉积物 PAHs 污染特征分析	赵利容, 孙省利, 柯盛 (1198)
中国与印度典型城市道路街尘中多环芳烃与黑碳的对比研究	潘苏红, 张千, 孙亚莉, 解启来 (1204)
三江平原典型灌区井灌地下水中铁的随水迁移特征	邹元春, 于晓菲, 霍莉莉, 吕宪国, 姜明 (1209)
海水淡化水在既有管网输配的铁释放控制研究	田一梅, 刘扬, 赵鹏, 单金林, 杨所印, 刘伟 (1216)
新生态铁的混凝作用探索	杨雪, 张景成, 关小红 (1221)
饮用水中甲羟孕酮的臭氧氧化降解研究	岳婵媛, 缪恒峰, 任洪艳, 阮文权 (1227)
核壳式磁性碳纳米吸附剂的制备及其对水环境中金霉素的吸附研究	王懿萱, 张娣, 牛红云, 孟昭福, 蔡亚岐 (1234)
络合-超滤耦合工艺去除水中镍离子的研究	秦妹, 邵嘉慧, 何义亮, 李雯玺 (1241)
赤铁矿光助类 Fenton 降解有毒有机污染物	张钰, 顾彦, 杨慧, 何燕, 李瑞萍, 黄应平, 张爱清 (1247)
掺氮 Ta ₂ O ₅ 诱发可见光-类 Fenton 体系降解阿特拉津研究	赵璐, 邓一荣, 杜瑛珣, 傅翔 (1252)
O ₃ /H ₂ O ₂ 降解水中扑灭通效能研究	李绍峰, 孙楚 (1260)
Pr-N 共掺杂 TiO ₂ 光电催化降解孔雀石绿动力学	沙爽, 周少奇, 张小娜, 周晓 (1267)
铜陵相思谷尾矿用于处理酸性矿山排水的实验研究	张楠, 陈天虎, 周跃飞, 黎少杰, 金杰, 王延明 (1272)
聚合铝铁对 A ² /O 系统 EPS 及生物絮凝性能的影响	温沁雪, 刘爱翠, 陈志强, 施汉昌, 吕炳南 (1278)
温度对污水脱氮系统污染物去除效果及氧化亚氮释放的影响	张婷婷, 张建, 杨芳, 谢慧君, 胡振, 李一冉 (1283)
温度对厌氧氨氧化反应器脱氮效能稳定性的影响	李祥, 黄勇, 郑宇慧, 袁怡, 李大鹏, 潘杨, 张春蕾 (1288)
好氧颗粒污泥处理制糖工业废水厌氧出水的除磷特性研究	王硕, 于水利, 时文歆, 暴瑞玲, 衣雪松, 李建政 (1293)
除磷颗粒污泥系统中不同粒径颗粒的理化特性分析	李志华, 张玉蓉, 杨帆, 李胜, 姬晓琴 (1299)
利用氧化亚氮还原酶基因 (nosZ) 评价人工湿地系统中的反硝化菌	王晓君, 陈少华, 张兆基, 肖俊超 (1306)
紫外诱变法提高好氧反硝化菌降解性能的研究	于佳佳, 陈浚, 杨宣, 陈建孟 (1313)
1 株异养硝化菌胞外聚合物的研究	陈哲, 张斌, 湛志强, 邱志刚, 郭迎庆, 李君文, 王景峰 (1318)
氨氮对稀有鮕鲫胚胎及卵黄囊期仔鱼的毒性效应研究	王志坚, 鲁增辉, 石萍 (1323)
多年蔬菜连作对土壤氨氧化微生物群落组成的影响	孟德龙, 杨扬, 伍延正, 吴敏娜, 秦红灵, 朱亦君, 魏文学 (1331)
生物质炭施用对土壤中氯虫苯甲酰胺吸附及消解行为的影响	王廷廷, 余向阳, 沈燕, 张超兰, 刘贤进 (1339)
水稻光合同化碳向土壤有机碳库输入的定量研究: ¹⁴ C连续标记法	聂三安, 周萍, 葛体达, 童成立, 肖和艾, 吴金水, 张杨珠 (1346)
油田污染土壤残油组成与特征参数分析	王坚, 张旭, 李广贺 (1352)
挥发性氯代烃在湿润土壤中的平衡吸附研究	孟凡勇, 刘锐, 小林刚, 万梅, 余素林, 陈吕军 (1361)
田间土壤外源铜镍在小麦中的累积及其毒害研究	黄锦孙, 韦东普, 郭雪雁, 马义兵 (1369)
中国磷消费结构的变化特征及其对环境磷负荷的影响	马敦超, 胡山鹰, 陈定江, 李有润 (1376)
基于 3MRA 模型的填埋场安全填埋废物污染物阈值评估方法与应用研究	袁英, 席北斗, 何小松, 魏自民, 李鸣晓, 姜永海, 苏婧, 安达 (1383)
填埋垃圾初始含水率对渗滤液产量的影响及修正渗滤液产量计算公式	兰吉武, 詹良通, 李育超, 陈云敏 (1389)
生物反应器填埋场中邻苯二甲酸二丁酯的迁移转化	方程冉, 龙於洋, 沈东升 (1397)
岩溶区峰丛洼地植被指数的克里格分析	杨奇勇, 蒋忠诚, 马祖陆, 曹建华, 罗为群, 李文军, 段晓芳 (1404)
《环境科学》征订启事 (1062) 《环境科学》征稿简则 (1107) 信息 (1135, 1215, 1396)	

岩溶区峰丛洼地植被指数的克里格分析

杨奇勇¹, 蒋忠诚¹, 马祖陆¹, 曹建华¹, 罗为群¹, 李文军², 段晓芳³

(1. 中国地质科学院岩溶地质研究所, 桂林 541004; 2. 湖南文理学院资源环境与旅游学院, 常德 415000; 3. 邵阳学院城市建设系, 邵阳 422000)

摘要: 为了全面掌握岩溶区峰丛洼地植被指数(NDVI)的空间分布状况, 解决岩溶区峰丛洼地遥感影像山体阴影区域 NDVI 信息“缺失”的问题, 对广西平果县果化生态重建示范区内的典型峰丛洼地非阴影区域 NDVI 进行了提取. 利用地统计学的方法对 NDVI 的空间结构特征进行了分析, 并对山体阴影区的 NDVI 进行了预测与验证. 结果表明, 研究区域 NDVI 主要受到内在因子的作用, 具有强烈的空间自相关性, 自相关距离为 300 m; Kriging 插值结果表明, 研究区域 NDVI 的均值为 0.196, 在空间分布上表现为条带状和斑块状分布, NDVI 高值区域主要分布在峰丛坡度 $> 25^\circ$ 的山体区域, 低值区域主要分布在峰丛坡度 $< 25^\circ$ 的山脚和洼地等区域; Kriging 插值验证结果表明, 研究区域 NDVI 具有非常高的预测精度, 能很好地估计山体阴影区 NDVI, 为岩溶区生态环境监控、石漠化评估提供了新的思路与方法.

关键词: 岩溶区; NDVI; 空间变异; 半方差函数; 遥感

中图分类号: X14 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)04-1404-05

Kriging Analysis of Vegetation Index Depression in Peak Cluster Karst Area

YANG Qi-yong¹, JIANG Zhong-cheng¹, MA Zu-lu¹, CAO Jian-hua¹, LUO Wei-qun¹, LI Wen-jun², DUAN Xiao-fang³

(1. Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin 541004, China; 2. College of Resources and Environment and Tourism, Hunan University of Arts and Science, Changde 415000, China; 3. Urban Construction Department, Shaoyang University, Shaoyang 422000, China)

Abstract: In order to master the spatial variability of the normal different vegetation index(NDVI) of the peak cluster karst area, taking into account the problem of the mountain shadow “missing” information of remote sensing images existing in the karst area, NDVI of the non-shaded area were extracted in Guohua Ecological Experimental Area, in Pingguo County, Guangxi applying image processing software, ENVI. The spatial variability of NDVI was analyzed applying geostatistical method, and the NDVI of the mountain shadow areas was predicted and validated. The results indicated that the NDVI of the study area showed strong spatial variability and spatial autocorrelation resulting from the impact of intrinsic factors, and the range was 300 m. The spatial distribution maps of the NDVI interpolated by Kriging interpolation method showed that the mean of NDVI was 0.196, apparently strip and block. The higher NDVI values distributed in the area where the slope was greater than 25° of the peak cluster area, while the lower values distributed in the area such as foot of the peak cluster and depression, where slope was less than 25° . Kriging method validation results show that interpolation has a very high prediction accuracy and could predict the NDVI of the shadow area, which provides a new idea and method for monitoring and evaluation of the karst rocky desertification.

Key words: rocky desertification area; normal different vegetation index(NDVI); spatial variables; semi-variances; remote sensing

植被指数是对地表植被状况简单、有效、经验的度量. 目前根据植被的光谱特性, 定义了 40 多种植被指数, 已经在土地利用/覆盖^[1,2]、气候与环境变化^[3,4]、叶面积指数和有效光合辐射分量^[5,6]、第一性生产力分析^[7,8]、作物和牧草估产^[9,10]、干旱监测^[11~13]等方面得到了广泛的应用. 峰丛洼地是湿热条件下典型的岩溶地貌形态, 在中国西南地区有着广泛的分布^[14]. 植被指数是该区域生态脆弱环境的良好表征, 是石漠化等级划分的一个重要的指标, 得到越来越多研究者的重视. 如凌成星等^[15]通过对多光谱数据谱间特征与多种植被指数之间的差异进行分析后, 采用改进的 EVI 指数对贵州省务川仡佬族

苗族自治县的石漠化信息进行提取; 胡顺光等^[16]将植被覆盖度作为石漠化信息模糊聚类的一个因子, 利用地质图件、土地利用类型等图件对遥感图像进行掩膜处理剔除非石漠化区域, 从而提高石漠化信息的解译精度; 童立强^[17]利用增强比值型植被指数(ERVI)对遥感影像地理信息化, 通过对图像进

收稿日期: 2011-07-26; 修订日期: 2011-08-27

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2010BAE00739-02); 广西科技攻关计划项目(“桂科转 0719005-2-3”, “桂科转 2010124005”); 水利部公益性行业科研专项(201101019-2)

作者简介: 杨奇勇(1976~), 男, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为岩溶区水土资源持续高效利用和地理信息系统, E-mail: yangqiyong0739@163.com

行二次分类实现了石漠化信息的自动提取。

但是,在中国西南岩溶区峰丛洼地岩溶地貌结构崎岖、复杂^[14],在遥感影像上大量存在“月牙型”、“棒状”的山体阴影分布区域,为遥感目标信息的提取带来很大的误差。很多研究者在实际的遥感解译过程中,对山体阴影区域不够重视,有的将阴影区另归为一类,有的将阴影区与其他区域等同处理,这显然是不符合实际的,有必要对山体阴影区域的遥感解译信息进行预测。Kriging 方法可以给出有限区域内区域变量的最佳线性无偏估计量,在遥感图像处理中也得到了越来越广泛的应用^[18~21]。本研究以广西平果县生态重建果化示范区典型峰丛洼地为例,以遥感影像为数据源,借助 ArcGIS 9.2、ENVI 6.0 软件和地统计学分析方法,分析了研究区域归一化植被指数(normal different vegetation index,NDVI)的空间变异特征,利用 Kriging 插值技术对山体阴影“缺失”区域的 NDVI 信息进行预测,并对插值结果进行了验证,取得了较好的效果,以期为我国西南峰丛洼地区域土地资源合理利用和石漠化防治提供科学依据。

1 研究区域概况及数据来源

1.1 研究区域概况

2001 年以来,中国地质科学院岩溶地质研究所等单位在以广西平果县果化镇龙何屯为核心,约 10 km² 的范围内建立了生态重建示范区,经过多年的治理,生态环境有了很大的改善。选取生态重建示范区内以龙何屯(107°23'E,23°22'N)为中心的典型的岩溶峰丛洼地地貌分布区为研究区域(图 1)。研究区域总面积 5.48 km²,海拔处在 150~530 m 之间。由于研究区域处在北回归线附近,冬季候温均在

10℃ 以上,冬无严寒。平均年雨量 1 400~1 550 mm,迎风坡降水多于背风坡。成土母质主要有残积物、坡积物、洪积物、河积物、红土物质,土壤类型以红壤、砖红壤、黄红壤、棕色石灰土为主。该地区过去生态环境非常脆弱,植被覆盖率不足 10%,森林覆盖率不足 1%,岩石裸露、石漠化严重。耕地资源严重不足,且生产力低,主要粮食作物为玉米。

1.2 数据来源

本研究所收集的数据主要有 2 大类,一类是属性数据,包括自然和社会经济指标,主要来源为文献[22,23];另一类是空间数据,主要包括 2009 年 1 月 30 日的 Landsat ETM+ 遥感影像和研究区域 30 m 分辨率的 DEM 等。影像来源于中国科学院国际数据服务平台。

2 研究方法

2.1 归一化差异植被指数的计算

归一化植被指数通常用来反映植被覆盖、生长等信息,是植被遥感中应用最广泛的植被指数,其计算公式如下:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad (1)$$

式中,NIR 为近红外波段,R 为红波段。NDVI 取值在 (-1.0, 1.0) 之间,与植被密度呈正相关,值越大植被覆盖越好。

2.2 地统计学方法

研究表明,遥感图像中每个像素点的灰度值(digital number)并不是完全独立于其相邻点,它们之间存在一定的相关性,即图像的灰度值是空间相关的,这种相关性与它们的空间距离有关,因而表现出一定的结构性。地统计学方法可以将这种相关性量化并融入植被指数分类中,反映图像灰度值的空间变化^[19]。对于一幅具体的遥感图像而言,半方差函数可以表示为:

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

式中, $N(h)$ 为相距为 h 像素对的数量; $DN(x_i + h)$ 、 $DN(x_i)$ 为像素 $(x_i + h)$ 和 x_i 的灰度值。

2.3 预测精度验证

模型验证的具体指标包括:①相关系数,预测值与验证值之间的相关系数越接近 1 表明拟合度越高;②平均相对误差(MEE),反映预测值偏离验证值的大小,正值表示高估,负值表示低估。文献[24

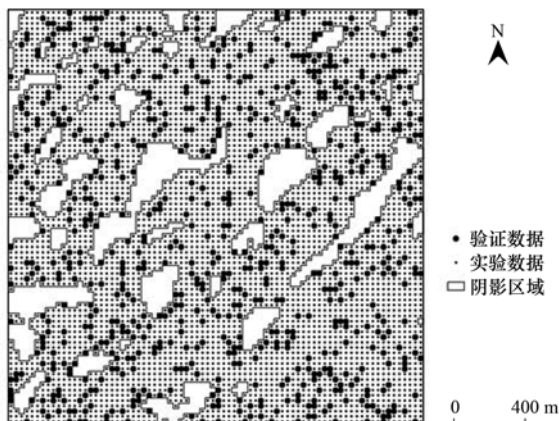


图 1 研究区域半方差函数分析与内插图

Fig. 1 Map of semi-variogram analysis and interpolation in the study area

~26]认为在对验证值与预测值的误差统计时,如果 $MEE \leq \pm 5\%$, 则模型预测的结果很准确, $\leq \pm 10\%$ 时, 则模型预测结果可行; ③预测效率 (ME): $ME = 1$, 预测值等于验证值; ME 介于 0 与 1 之间, 说明预测结果较准确; ME 小于 0, 则预测结果不可靠^[27].

$$MEE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{P_i - O_i}{O_i} \quad (3)$$

$$ME = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (4)$$

式中, O_i 为验证数据, $\bar{O}$ 为验证数据的平均值, P_i 为预测数据, n 为验证数据与预测数据数目.

2.4 数据处理

研究区域图像的镶嵌与裁剪、山体阴影的提取和 NDVI 的计算等采用 ENVI 6.0; 半方差函数的分析和图形的绘制分别采用 GS + 7.0 和 Excel 2003 等软件; 遥感图像灰度值的提取、实验数据与验证数据的生成以及专题图的绘制采用 ArcGIS 9.2.

3 结果与分析

3.1 NDVI 的统计特征

在 ENVI 中提取研究区域的 NDVI 图像共有像元 6 084 个, 其中山体阴影像元数目 1 024 个, 占研究区域总面积的 16.83%, 这将在很大程度上影响研究区域 NDVI 解译的精度. 利用剔除山体阴影后的 NDVI 影像数据, 以 2% 的像素点为验证点, 在 ArcGIS 中利用 Create Subsets 模块随机生成实验数据与验证数据 (图 1), 并对其进行经典统计特征分析, 结果见表 1.

表 1 研究区域 NDVI 的统计特征

Table 1 Statistical characteristics of NDVI in the study area

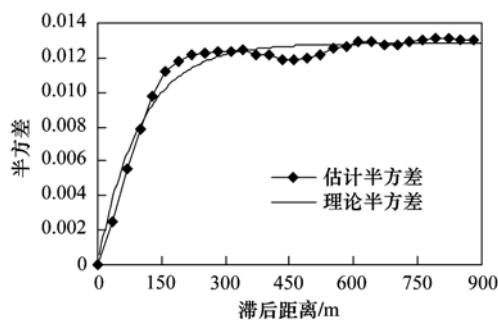
数据源	阴影区域	实验数据	验证数据
像素数目	1 024	4 301	759
最小值	-0.125	-0.046	-0.037
最大值	0.269	0.523	0.5
均值	0.051	0.203	0.203
标准差	0.078	0.114	0.117
变异系数	0.654	1.781	1.735
偏度	0.278	0.343	0.305
峰度	2.412	2.398	2.365

从表 1 中可以看出, 实验数据与验证数据 NDVI 的各项统计特征差异不大, 其变异系数都接近 1.75, 具有强烈的变异性; 但是, 山体阴影区域

NDVI 的统计特征与实验数据和验证数据的统计特征差异较大, 其变异系数只有 0.65, 属中等强度的变异性. 可见, 由于山体阴影的遮挡作用, 阴影区域的光谱特征已经发生了很大的变化, 其 NDVI 趋向于均一性, 已经不能正确地反映峰丛洼地这一特殊区域的植被状况. 因此, 对研究区域山体阴影区域 NDVI 的预测是十分必要的. 研究区域 NDVI 的偏度值都很小, 基本呈正态分布, 适合地统计分析.

3.2 NDVI 的半方差函数结构分析

研究表明滞后距离为 1 个像素时最能准确地描述最邻近像素间光谱亮度的差异^[18,20]. 因此本研究选用了 1 个像元大小的滞后距离来计算 NDVI 的半方差函数. 在 GS + 7.0 中, 进行反复模拟, 得到研究区域 NDVI 的最优半方差函数模型及其参数 (图 2).



模型: 指数模型, $C_0 = 0.000\ 01$, $Sill = 0.012\ 82$, $Range = 300\ m$

图 2 研究区域 NDVI 的半方差函数

Fig. 2 Semi-variogram of NDVI in the study area

从图 2 中可以看出, 研究区域 NDVI 的半方差函数理论模型为指数模型. C_0 为块金效应, 表示随机因素引起的变异; Sill 为基台值, 表示结构性因素引起的空间变异; $C_0/Sill$ 为随机因素部分引起的空间异质性占系统总变异的比重, 反映了 NDVI 空间相关性的强弱, 如果 $C_0/Sill < 25\%$, NDVI 表现为强空间相关性; 在 $25\% \sim 75\%$ 之间, 表现为中等空间相关性; $> 75\%$, 则空间相关性很弱^[28,29]. 研究区域 NDVI 的 $C_0/Sill$ 值为 0.07%, 说明研究区域 NDVI 具有强烈的空间自相关性, 其变异主要受到气候、岩性、地形等结构因素的影响, 而受到砍伐破坏、开垦等随机因素的影响较小, 这与多年来封山育林治理措施的实施是分不开的; Range 表示变程, 两像元之间的距离小于该值时, 说明它们之间存在一定的相关关系, 若大于该值时则说明它们之间是相互独立的, 研究区域 NDVI 的变程为 300 m.

3.3 NDVI 预测精度分析

Kriging 插值的验证结果分析表明 (图 3), 实验

值和预测值之间的相关系数(r)为 0.962,相关性达到极显著水平($P < 0.01$),说明 NDVI 实验值与预测值之间具有较好的一致性。同时,实测值与预测值之间的相对误差(MEE)为 0.076%,接近于 0,预测效率(ME)为 0.964,接近于 1,预测结果准确。因此,研究区域峰丛洼地山体阴影区的 Kriging 预测结果是可信的,运用 Kriging 插值可以对研究区域峰丛洼地山体阴影缺失信息进行有效预测。

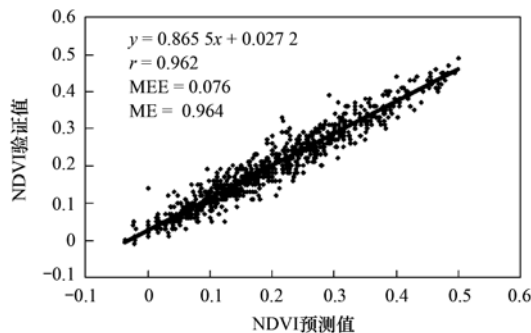


图3 研究区域 NDVI 值的 Kriging 插值精度验证

Fig. 3 Validation results of Kriging interpolation of NDVI in the study area

3.4 NDVI 的空间分布

图 4 为研究区域 NDVI 空间分布。利用图 4 对 NDVI 进行统计分析,研究区域 NDVI 均值为 0.196,最大值为 0.523,最小值为 -0.045,在空间分布上高值区域与低值区域都呈斑块状、条带状的“插花”分布。总的看来,NDVI 高值区域主要分布在西北部,低值区域主要集中在中东部和东南部。

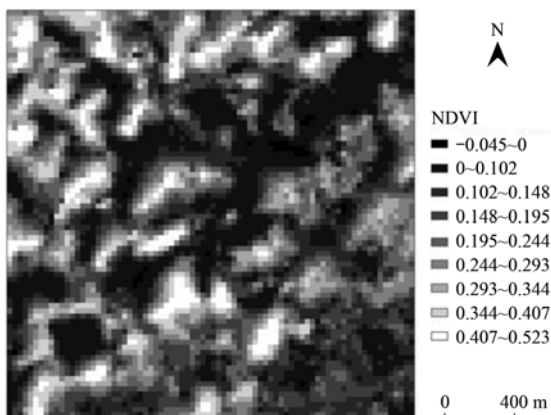


图4 研究区域 2010 年 NDVI 分布预测图

Fig. 4 Prediction map of NDVI index in 2010

在 ENVI 中利用 DEM 进行坡度分析,对不同坡度的 NDVI 值进行统计,发现植被指数 NDVI 值随着坡度的增加呈上升趋势。坡度在 25° 以下的区域 NDVI 均值小于 0.196,其主要原因为该区域内地势低平,主要为耕地与聚落用地,人类活动频繁,影像

成像时间为 1 月 30 号,农作物都已经收获,裸地面积大,因而 NDVI 均值小;坡度在 25° 以上的区域 NDVI 均值 > 0.196 ,这是因为示范区内多年来采取封山育林、人工诱导等生态重建措施,受到人工破坏少,植被覆盖较好。

4 结论

(1)中国西南地区喀斯特峰丛洼地非常典型,生态环境脆弱,遥感是该区域常用的监测手段。但是在影像上存在大量的山体阴影区域,给遥感监测带来很大的误差。当山体阴影区域两像素点间的距离小于变程时,用 Kriging 可以对山体阴影“缺失”信息进行预测。

(2)研究区域 NDVI 的空间结构分析表明,受到气候、岩性、地形等结构因素的影响,研究区域 NDVI 呈强烈的空间自相关性。研究区域 NDVI 值的分布与坡度有密切的关系,坡度在 25° 以下的区域受人类活动的影响大,植被指数较低,坡度大于 25° 的封山育林区域植被指数较高。

(3)研究区域 NDVI 实验值与预测值的平均误差、预测效率分析表明 Kriging 插值具有非常高的估计精度,实验值与预测值具有极其显著的相关性,能很好地揭示植被指数的空间结构特征。用 Kriging 插值预测弥补遥感影像的“缺失”信息,有着实际意义的和应用前景。

参考文献:

- [1] Li X B, Shi P J. Research on regulation of NDVI change of Chinese primary vegetation types based on NOAA/AVHRR data [J]. Acta Botanica Sinica, 1999, 41(3): 314-324.
- [2] 王莉雯,卫亚星,牛铮. 基于遥感的青海省植被覆盖时空变化定量分析[J]. 环境科学, 2008, 29(6): 1754-1860.
- [3] Gao Z Q, Dennis O. The temporal and spatial relationship between NDVI and climatological parameters in Colorado [J]. Journal of Geographical Sciences, 2001, 11(4): 411-419.
- [4] 徐兴奎,陈红,张凤. 中国西北地区地表植被覆盖特征的时空变化及影响因子分析[J]. 环境科学, 2007, 28(1): 41-47.
- [5] Lucht W, Prentice I C, Myneni R B, et al. Climatic control of the high-latitude vegetation greening trend and pinatubo effect [J]. Science, 2002, 296(5573): 1687-1689.
- [6] 郭志华,彭少麟,王伯荪,等. GIS 和 RS 支持下广东省植被吸收 PAR 的估算及其时空分布[J]. 生态学报, 1999, 19(4): 1444-1449.
- [7] 松下文经,杨翠芬,陈晋,等. 广域空间尺度上植被净初级生产力的精确推算[J]. 地理学报, 2004, 59(1): 80-87.
- [8] 孙睿,朱启疆. 中国陆地植被净第一性生产力及季节变化研究[J]. 地理学报, 2000, 55(1): 36-45.

- [9] 池宏康. 冬小麦单产的光谱数据估测模型研究[J]. 植物生态学报, 1995, **19**(4): 337-344.
- [10] 江东, 王乃斌, 杨小唤, 等. NDVI 曲线与农作物长势的时序互动规律[J]. 生态学报, 2002, **22**(2): 247-252.
- [11] 于敏, 高玉中, 张洪玲. 地表温度-植被指数特征空间干旱监测方法的改进[J]. 农业工程学报, 2010, **26**(9): 243-250.
- [12] 陈维英, 肖乾广, 盛永伟. 距平植被指数在 1992 年特大干旱监测中的应用[J]. 环境遥感, 1994, **9**(2): 106-112.
- [13] 王鹏新, 龚健雅, 李小文. 基于植被指数和土地表面温度的干旱监测模型[J]. 地球科学进展, 2003, **18**(4): 527-533.
- [14] 蒋忠诚, 李先琨, 曾馥平, 等. 岩溶峰丛洼地生态重建[M]. 北京: 地质出版社, 2007.
- [15] 凌成星, 林辉, 薛晓坡, 等. 基于植被指数特征和空间分析的石漠化信息提取[J]. 水土保持研究, 2009, **16**(1): 167-172.
- [16] 胡顺光, 张增祥, 夏奎菊. 遥感石漠化信息的提取[J]. 地球信息科学学报, 2010, **12**(6): 870-879.
- [17] 童立强. 西南岩溶石山地区石漠化信息自动提取技术研究[J]. 国土资源遥感, 2003, (4): 35-39.
- [18] Curran P J. The semivariogram in remote sensing: an introduction[J]. Remote Sensing of Environment, 1988, **24**(3): 493-507.
- [19] Chica-Olmo M, Arbarea-Hernández F. Computing geostatistical image texture for remotely sensed data classification[J]. Computers & Geosciences, 2000, **26**(4): 373-383.
- [20] 冯益明, 雷相东, 陆元昌. 应用空间统计学理论解译遥感影像信息“缺失”区[J]. 遥感学报, 2004, **8**(4): 319-324.
- [21] 何宇婷, 柯长青. 半方差函数纹理提取在遥感图像分类中的应用[J]. 遥感技术与应用, 2008, **23**(5): 571-576.
- [22] 中华人民共和国国家统计局. 2010 广西统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社.
- [23] 广西地情网. 苹果县志[EB/OL]. <http://www.gxdqw.com/bin/mse.exe?seachword=&K=c&A=51&run=12>.
- [24] Addiscott T M, Whitmore A P. Computer simulation of changes in soil mineral nitrogen and crop nitrogen during autumn, winter and spring[J]. Journal of Agricultural Science, 1987, **109**(1): 141-157.
- [25] Kelly R H, Parton W J, Crocker G J, *et al.* Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the century model[J]. Geoderma, 1997, **81**(1-2): 75-90.
- [26] Smith P, Smith J U, Powlson D S, *et al.* A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments[J]. Geoderma, 1997, **81**(1-2): 153-225.
- [27] Foereid B, Høgh-Jensen H. Carbon sequestration potential of organic agriculture in northern Europe-a modelling approach[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2004, **68**(1): 13-24.
- [28] 朱益玲, 刘洪斌, 江希流. 江津市紫色土中 N、P 养分元素区域空间变异性研究[J]. 环境科学, 2004, **25**(1): 138-195.
- [29] 谢正苗, 李静, 王碧玲, 等. 基于地统计学和 GIS 的土壤和蔬菜重金属的环境质量评价[J]. 环境科学, 2006, **27**(10): 2110-2116.

CONTENTS

Quantitative Estimation Source of Urban Atmospheric CO ₂ by Carbon Isotope Composition	LIU Wei, WEI Nan-nan, WANG Guang-hua, <i>et al.</i> (1041)
Moisture Sources of Guangzhou During the Freezing Disaster Period in 2008 Indicated by the Stable Isotopes of Precipitation	LIAO Cong-yun, ZHONG Wei, MA Qiao-hong, <i>et al.</i> (1050)
Optical Properties of Aerosol During Haze-Fog Episodes in Beijing	YU Xing-na, LI Xin-mei, DENG Zen-grandeng, <i>et al.</i> (1057)
Secondary Organic Tracers in Summer PM _{2.5} Aerosols from Baima Spring Scenic Area, Yaan, Sichuan Province	DAI Dong-jue, LI Li, LIU Zi-fang, <i>et al.</i> (1063)
Source Profile and Chemical Reactivity of Volatile Organic Compounds from Vehicle Exhaust	QIAO Yue-zhen, WANG Hong-li, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (1071)
<i>Platanus orientalis</i> Foliar N% and δ ¹⁵ N Responses to Nitrogen of Atmospheric Wet Deposition in Urban Area	WANG Yan-li, XIAO Hua-yun, XIAO Hong-wei (1080)
Distribution and Controlling Factors of Nitric Oxide Concentrations in Surface Seawater of Jiaozhou Bay and Adjacent Waters	XUE Chao, LIU Chun-ying, YANG Gui-peng, <i>et al.</i> (1086)
Uncertainty Characterization Approaches for Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Taihu Lake	GUO Guang-hui, WU Feng-chang, HE Hong-ping, <i>et al.</i> (1091)
Preliminary Analysis of Spatiotemporal Variation of Water Quality and Its Influencing Factors in the Jiulong River Watershed	HUANG Jin-liang, HUANG Ya-ling, LI Qing-sheng, <i>et al.</i> (1098)
Ecological Stoichiometric Relationships of Periphyton Community Elemental Composition and Variations of Water Quality in the Chaobai River	 CUI Jing-guo, SHAN Bao-qing, WANG Shuai (1108)
Diurnal Variation and Evaluation of Water Quality of Panxi River in Spring	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (1114)
Weathering Seasonal Variations in Karst Valley in Southwest China	XIAO Qiong, SHEN Li-cheng, YANG Lei, <i>et al.</i> (1122)
Algal Community Structure and Water Quality Assessment on Drawdown Area of Kaixian Waters in Three Gorges Reservoir During Winter Storage Period	 GUO Jing-song, XIE Dan, LI Zhe, <i>et al.</i> (1129)
Characteristics of Phytoplankton Community Changes in Dianshan Lake During Peak Period of Algal Blooms	XU Chun-yan, YANG Jie, MA Ming-rui, <i>et al.</i> (1136)
Nitrogen and Phosphorus Release from Herbaceous Vegetation Under Simulated Inundation Experiment of Water-Level Fluctuation Zone in the Three Gorges Reservoir Area	 WANG Jian-chao, ZHU Bo, WANG Tao, <i>et al.</i> (1144)
Output Characteristics of Non-point Phosphorus from a Typical Small Watershed in Yimeng Mountainous Area Under the Special Rainfall	LI Zhen-wei, YU Xing-xiu, LIU Qian-jin, <i>et al.</i> (1152)
Distribution and Bioavailability of Nitrogen and Phosphorus Species in the Urban Dusts from Hefei City	LI Ru-zhong, ZHOU Ai-jia, TONG Fang, <i>et al.</i> (1159)
Distribution and Pollution Characteristics of Nutrients and Heavy Metals in Sediments of Hedi Reservoir	ZHANG Hua-jun, CHEN Xiu-kang, HAN Bo-ping, <i>et al.</i> (1167)
Heavy Metals Distribution and Risk Assessment of Sediments in the Riverine Wetland of Sanmenxia Reservoir	AO Liang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (1176)
Regional Distribution and Ecological Risk Evaluation of Heavy Metals in Surface Sediments from Coastal Wetlands of the Yellow River Delta	 LIU Zhi-jie, LI Pei-ying, ZHANG Xiao-long, <i>et al.</i> (1182)
Calculation of Environmental Dredging Depth of Heavy Metal Polluted Sediments in Zhushan Bay of Taihu Lake	JIANG Xia, WANG Wen-wen, WANG Shu-hang, <i>et al.</i> (1189)
Characteristics of PAHs Pollution in Sediments from Leizhou Coastal Marine Area, Liusha Bay and Shenzhen Bay	ZHAO Li-rong, SUN Sheng-li, KE Sheng (1198)
Distribution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Black Carbon in Road Dusts from Typical Cities of China and India	PAN Su-hong, ZHANG Gan, SUN Ya-li, <i>et al.</i> (1204)
Waterborne Iron Migration by Groundwater Irrigation Pumping in a Typical Irrigation District of Sanjiang Plain	ZOU Yuan-chun, YU Xiao-fei, HUO Li-li, <i>et al.</i> (1209)
Research on Controlling Iron Release of Desalted Water Transmitted in Existing Water Distribution System	TIAN Yi-mei, LIU Yang, ZHAO Peng, <i>et al.</i> (1216)
Exploration of Newly-Formed Ferric as the Coagulant	YANG Xue, ZHANG Jing-cheng, GUAN Xiao-hong (1221)
Degradation of Medroxyprogesterone in Drinking Water by Ozone Oxidation	YUE Chan-yuan, MIAO Heng-feng, REN Hong-yan, <i>et al.</i> (1227)
Synthesis of Core/Shell Structured Magnetic Carbon Nanoparticles and Its Adsorption Ability to Chlortetracycline in Aquatic Environment	 WANG Yi-xuan, ZHANG Di, NIU Hong-yun, <i>et al.</i> (1234)
Removal of Nickel from Aqueous Solutions Using Complexation-Ultrafiltration Process	QIN Shu, SHAO Jia-hui, HE Yi-liang, <i>et al.</i> (1241)
Degradation of Organic Pollutants by Photo-Fenton-Like System with Hematite	ZHANG Yu, GU Yan, YANG Hui, <i>et al.</i> (1247)
Study on the Degradation of Atrazine in Photo-Fenton-Like System Under Visible Light Irradiation Promoted by N-doped Ta ₂ O ₅	ZHAO Lu, DENG Yi-rong, DU Ying-xun, <i>et al.</i> (1252)
Degradation of Prometon by O ₃ /H ₂ O ₂	LI Shao-feng, SUN Chu (1260)
Photoelectrocatalytic Degradation Kinetics of Malachite Green by Pr-N Co-doped TiO ₂ Photocatalyst	SHA Shuang, ZHOU Shao-qi, ZHANG Xiao-na, <i>et al.</i> (1267)
Experimental Study on Acid Mine Drainage Treatment Using Mine Tailings of Xiangsi Valley, Tongling, China	ZHANG Nan, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> (1272)
Effect of Polymeric Aluminum-iron on EPS and Bio-flocculation in A ² /O System	WEN Qin-xue, LIU Ai-cui, CHEN Zhi-qiang, <i>et al.</i> (1278)
Effect of Temperature on Pollutant Removal and Nitrous Oxide Emission of Wastewater Nitrogen Removal System	ZHANG Ting-ting, ZHANG Jian, YANG Fang, <i>et al.</i> (1283)
Effect of Temperature on Stability of Nitrogen Removal in the ANAMMOX Reactor	LI Xiang, HUANG Yong, ZHENG Yu-hui, <i>et al.</i> (1288)
Phosphorus Removal Characteristics by Aerobic Granules in Normal Molasses Wastewater After Anaerobic Treatment	WANG Shuo, YU Shui-li, SHI Wen-xin, <i>et al.</i> (1293)
Physicochemical Characteristics of Granules with Different Size in a Granular Sludge System for Phosphorus Removal	LI Zhi-hua, ZHANG Yu-rong, YANG Fan, <i>et al.</i> (1299)
Denitrifying Bacteria of Constructed Wetland System Based on Nitrous Oxide Reductase Gene (<i>nosZ</i>)	WANG Xiao-jun, CHEN Shao-hua, ZHANG Zhao-ji, <i>et al.</i> (1306)
Improving Degradation Ability of an Aerobic Denitrifier by Ultraviolet Mutagenesis	YU Jia-jia, CHEN Jun, YANG Xuan, <i>et al.</i> (1313)
Characteristics of the Extracellular Polymeric Substances of a Heterotrophic Nitrifying Bacterium Strain	CHEN Zhe, ZHANG Bin, SEN Zhi-qiang, <i>et al.</i> (1318)
Study on Toxic Effects of Ammonia on Embryonic and Yolk-sac Stage Larvae of Rare minnow	WANG Zhi-jian, LU Zeng-hui, SHI Ping (1323)
Effects of Continuous Cropping of Vegetables on Ammonia Oxidizers Community Structure	MENG De-long, YANG Yang, WU Yan-zheng, <i>et al.</i> (1331)
Impact of Biochar Amendment on the Sorption and Dissipation of Chlorantraniliprole in Soils	WANG Ting-ting, YU Xiang-yang, SHEN Yan, <i>et al.</i> (1339)
Quantifying Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) Photo-assimilated Carbon Input into Soil Organic Carbon Pools Following Continuous ¹⁴ C Labeling	NIE San-an, ZHOU Ping, GE Ti-da, <i>et al.</i> (1346)
Compositions and Diagnostic Ratios of Heavily Degraded Crude Oil Residues in Contaminated Soil in Oilfields	WANG Jian, ZHANG Xu, LI Guang-he (1352)
Study on Equilibrium Adsorption of Volatile Chlorinated Hydrocarbons on Humid Soils	MENG Fan-yong, LIU Rui, Kobayashi Takeshi, <i>et al.</i> (1361)
Toxicity and Accumulation of Copper and Nickel in Wheat Plants Cropped on Alkaline and Acidic Field Soils	HUANG Jin-sun, WEI Dong-pu, GUO Xue-yan, <i>et al.</i> (1369)
Change Traits of Phosphorous Consumption Structure in China and Their Effects on Environmental Phosphorous Loads	MA Dun-chao, HU Shan-ying, CHEN Ding-jiang, <i>et al.</i> (1376)
Research Based on 3MRA Model About the Risk Assessment Methods and Applications of the Landfill Waste	YUAN Ying, XI Bei-dou, HE Xiao-song, <i>et al.</i> (1383)
Impacts of Initial Moisture Content of MSW Waste on Leachate Generation and Modified Formula for Predicting Leachate Generation	LAN Ji-wu, ZHAN Liang-tong, LI Yu-chao, <i>et al.</i> (1389)
Transformation of Dibutyl Phthalate in Bioreactor Landfill	FANG Cheng-ran, LONG Yu-yang, SHEN Dong-sheng (1397)
Kriging Analysis of Vegetation Index Depression in Peak Cluster Karst Area	YANG Qi-yong, JIANG Zhong-cheng, MA Zu-lu, <i>et al.</i> (1404)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年4月15日 33卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 4 Apr. 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科学出版社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科学出版社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行