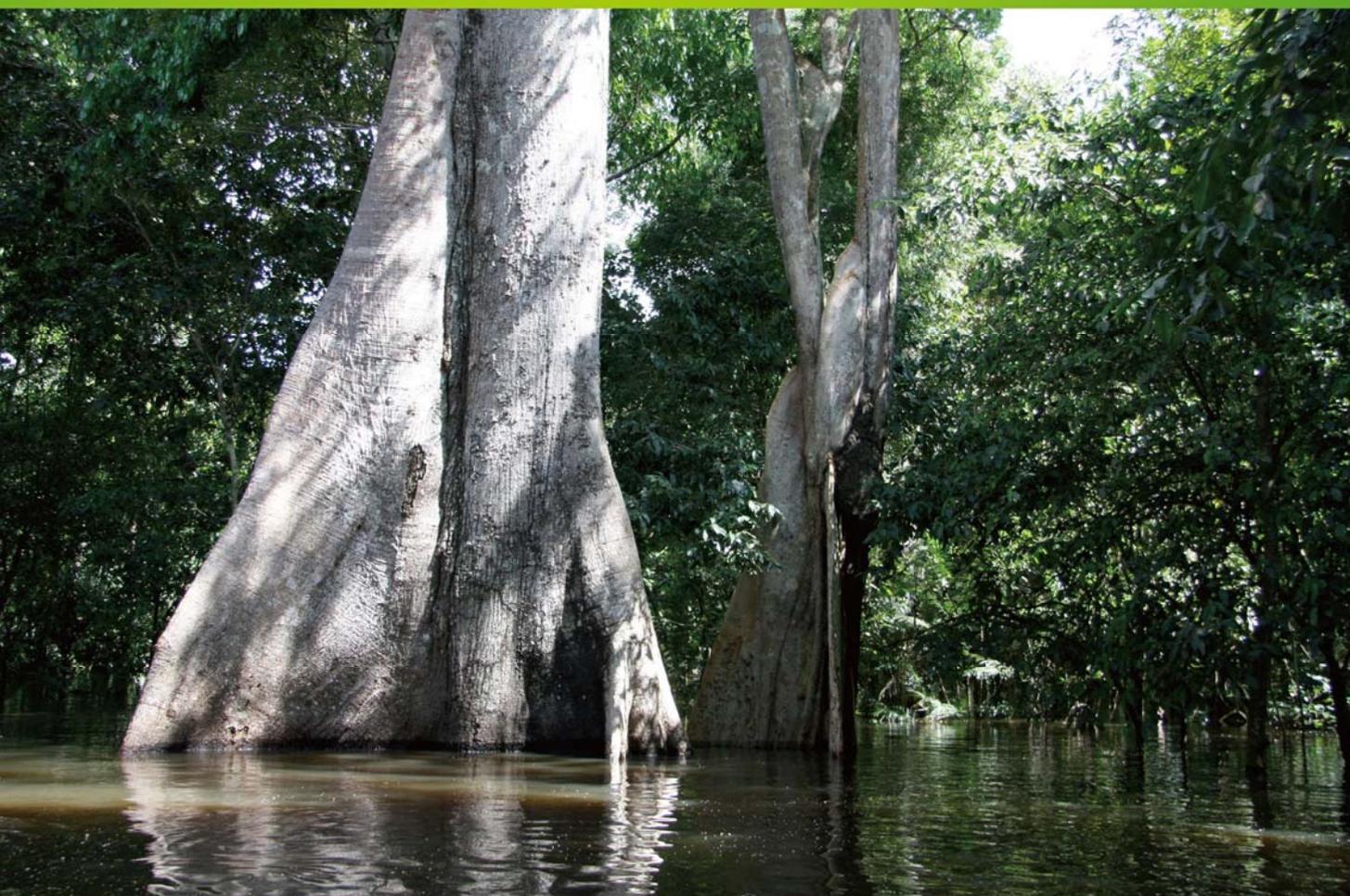


ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

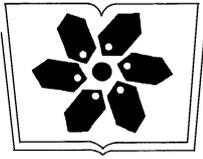
## Acta Ecologica Sinica



第31卷 第8期 Vol.31 No.8 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 8 期      2011 年 4 月 (半月刊)

## 目 次

塔里木河下游胡杨径向生长与地下水的关系.....	安红燕,徐海量,叶 茂,等 (2053)
冲积平原区高程因子对土壤剖面质地构型的影响——以封丘县为例.....	檀满枝,密术晓,李开丽,等 (2060)
臭氧胁迫对大豆叶片抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响 .....	王俊力,王 岩,赵天宏,等 (2068)
重要理化因子对小球藻生长和油脂产量的影响.....	张桂艳,温小斌,梁 芳,等 (2076)
北亚热带马尾松净生产力对气候变化的响应.....	程瑞梅,封晓辉,肖文发,等 (2086)
亚热带沟叶结缕草草坪土壤呼吸.....	李熙波,杨玉盛,曾宏达,等 (2096)
UV-B 辐射对马尾松凋落叶分解和养分释放的影响 .....	宋新章,张慧玲,江 洪,等 (2106)
干旱胁迫下内生真菌感染对羽茅的生理生态影响.....	韩 荣,李 夏,任安芝,等 (2115)
蜜环菌对锌的耐性和富集特性.....	朱 林,程显好,李维焕,等 (2124)
干旱荒漠区狭叶锦鸡儿灌丛扩展对策.....	张建华,马成仓,刘志宏,等 (2132)
黄土高原区不同植物凋落物搭配对土壤微生物量碳、氮的影响 .....	王春阳,周建斌,夏志敏,等 (2139)
内蒙古典型草原克氏针茅与冰草的生存策略 .....	孙 建,刘 苗,李胜功,等 (2148)
荒漠沙柳根围 AM 真菌的空间分布 .....	贺学礼,杨 静,赵丽莉 (2159)
开放式昼夜不同增温对单季稻影响的试验研究.....	董文军,邓艾兴,张 彬,等 (2169)
醉马草免培养内生细菌的多样性.....	张雪兵,史应武,曾 军,等 (2178)
河南生态足迹驱动因素的 Hi_PLS 分析及其发展对策 .....	贾俊松 (2188)
禹城市耕地土壤盐分与有机质的指示克里格分析 .....	杨奇勇,杨劲松,余世鹏 (2196)
旋覆花提取物对朱砂叶螨的生物活性及酶活性的影响.....	段丹丹,王有年,成 军,等 (2203)
白洋淀湖滨湿地岸边带氨氧化古菌与氨氧化细菌的分布特性.....	叶 磊,祝贵兵,王 雨,等 (2209)
干旱胁迫条件下 6 种喀斯特主要造林树种苗木叶片水势及吸水潜能变化.....	王 丁,姚 健,杨 雪,等 (2216)
梭树人工林物种多样性变化特征.....	刘 平,秦 晶,刘建昌,等 (2227)
海河流域湿地生态系统服务功能价值评价.....	江 波,欧阳志云,苗 鸿,等 (2236)
芦苇在微咸水河口湿地甲烷排放中的作用.....	马安娜,陆健健 (2245)
云南不同土壤铅背景值下大叶茶种群对铅的吸收积累特征及其遗传分化.....	刘声传,段昌群,李振华,等 (2253)
长江口和杭州湾凤鲚胃含物与海洋浮游动物的种类组成比较.....	刘守海,徐兆礼 (2263)
江西大岗山地区 7—9 月降水量的重建与分析 .....	乔 磊,王 兵,郭 浩,等 (2272)
山核桃免耕经营的经济效益和生态效益.....	王正加,黄兴召,唐小华,等 (2281)
基于 GIS 的广州市中心城区城市森林可达性分析.....	朱耀军,王 成,贾宝全,等 (2290)
<b>专论与综述</b>	
土壤呼吸温度敏感性的影响因素和不确定性.....	杨庆朋,徐 明,刘洪升,等 (2301)
植物代谢速率与个体生物量关系研究进展.....	程栋梁,钟全林,林茂兹,等 (2312)
耕地生态补偿实践与研究进展 .....	马爱慧,蔡银莺,张安录 (2321)
<b>问题讨论</b>	
元谋干热河谷三种植被恢复模式土壤贮水及入渗特性.....	刘 洁,李贤伟,纪中华,等 (2331)
<b>研究简报</b>	
中微量元素和有益元素对水稻生长和吸收镉的影响.....	胡 坤,喻 华,冯文强,等 (2341)



封面图说: 巴西热带雨林——美丽的巴西北部玛瑙斯热带雨林景观。位于南美洲的亚马逊河是世界上流域最广、流量最大的河流,孕育了世界面积最大的热带雨林,雨林中蕴藏着极丰富的生物资源。

彩图提供: 中国科学院生态环境研究中心徐卫华博士 E-mail: xuweihua@rcees.ac.cn

# 禹城市耕地土壤盐分与有机质的指示克里格分析

杨奇勇, 杨劲松\*, 余世鹏

(中国科学院 南京土壤研究所, 江苏 南京 210008)

**摘要:**针对目前黄淮海平原盐渍土改良区存在的土壤盐碱、瘠薄等障碍问题,以该区域典型县域禹城市为研究对象,综合运用GIS和非参数地统计学的指示克里格法,对0—20 cm深度的耕地土壤盐分和有机质的空间变异性进行了分析,并给出了土壤盐分和有机质满足一定阈值条件的概率分布图。结果表明,土壤盐分和有机质采用指示克里格方法都可以获得较为稳健的变异函数;受结构性因素与随机性因素共同影响,它们的指示半方差均表现为中等强度的空间自相关性,且单元指示克里格与多元指示克里格插值结果表明,土壤盐分、有机质的概率分布存在空间上的规律性与相似性;在空间分布上,研究区域土壤盐分含量高和有机质含量低的高概率区域主要分布在西北部的张庄镇、西部的房寺镇以及南部的莒镇乡等地区,该区域有一定的次生盐渍化风险;而土壤盐分含量高和有机质含量低的低概率分布区域主要分在徒骇河流经的河滩高地,土壤类型为褐土化潮土,是研究区域的主要高产区,基本无盐渍化。研究获取的综合指示概率分布图和概率风险评价对土壤可持续利用管理具有重要意义,为区域土壤质量的提高和土壤障碍因子消减提供参考。

**关键词:**土壤;盐分;有机质;空间变异;指示克里格

## Evaluation on spatial distribution of soil salinity and soil organic matter by indicator Kriging in Yucheng City

YANG Qiyong, YANG Jingsong\*, YU Shipeng

*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*

**Abstract:** Soil salinization and low soil fertility are the key limiting factors for soil improvement in the Huanghuaihai Plain at present. To evaluate the spatial variation of soil salinization and fertility, we used GIS and indicator Kriging of nonparametric geostatistics to analyze the spatial distribution of soil salinity content and organic matter content in top 20cm soils for a typical county located in Huanghuaihai Plain, Yucheng City, northwest of Shandong province. The probability maps for soil salinity content and organic matter content that met the given thresholds (soil salinity threshold is 0.29 dS/m, organic matter threshold is 15 g/kg) were presented. The results indicated that the indicator Kriging method was able to produce stable semivariograms for both soil salinity content (greater than 0.29 dS/m) and organic matter content (less than 15 g/kg), which exhibited moderate spatial autocorrelation due to the combined effects of structural and stochastic factors in our study area. Both univariate indicator Kriging and multiple-variable indicator Kriging (soil salinity greater than 0.29 dS/m and organic matter less than 15 g/kg) interpolation maps showed that the probability distribution of soil salinity and organic matter was regular and similar in spatial variation. Specifically, high soil salinity content and low soil organic matter content occurred at northwest (Zhangzhuang Town), west (Fangsi Town) and south (Juzheng Town) of the study area, in which the soils to some degree suffered from secondary salinization risk. In addition, high soil salinity content and low soil organic matter content occurred at the high flood plain along the Tuhai river, the major high-yield region in the study area where the soil was classified as alluvial Cinnamon soil and suffered from low salinization risk. Since the integrative probability map as well as its risk assessments are significantly valuable to the management and sustainable use of soil

**基金项目:**公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903001);国家自然科学基金项目(40771097);国家科技支撑计划项目课题(2006BAD05B02,2006BAD05B04);国家“863”计划重点项目课题(2007AA091702)

收稿日期:2010-04-12; 修订日期:2010-06-28

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jsyang@issas.ac.cn.

resource, our results are of great use to the soil improvement in the study area.

**Key Words:** soil; salinity; organic matter; spatial variability; indicator Kriging

黄淮海平原是我国中低产田治理的重点区域,区内存在的盐碱、瘠薄、风沙等障碍,严重地制约了农业的可持续发展。因此,获取区域主要障碍因子的空间分布,对盐碱改良、中低产田治理有着重要的意义。对于盐渍土改良区而言,由于部分地区盐渍土已经改良好了,土壤盐分含量很低,土壤有机质等养分元素有了较大的提高;但是部分尚未改良好的盐渍土区土壤盐分含量仍然较高,呈“插花状”分布其中,这些地区有机质含量提高缓慢。这使得盐渍土改良区土壤盐分存在较大的特异值,数据往往不成正态分布,影响变异函数的稳健性<sup>[1]</sup>,从而影响克里格估计结果。指示克里格(Indicator Kriging, 简写 IK)法可以在不去掉重要的而实际又存在的特异值的条件下处理各种不同的现象,并能抑制特异值对变异函数稳健性的影响。因此,IK 法成为目前解决这类有偏数据的有力工具<sup>[2]</sup>。

有关指示克里格方法的研究与运用,国内外已有较多详细的报道,例如 James R 等<sup>[3]</sup>利用 IK 法对 New Madrid 地区的地震危险性进行了评价,绘制了该区域地震发生的概率分布图;Soovaerts P 等<sup>[4]</sup>应用 IK 方法对 Swiss Jura 地区的土壤污染进行了评价,绘制了该区域的镉、铜和铅的概率分布图;李保国等<sup>[5]</sup>应用 IK 方法对华北冲积平原区浅层地下水硝酸盐含量进行评价,绘制了硝酸盐含量分布图及概率分布图;徐英等<sup>[6]</sup>利用 IK 对黄河河套灌区盐渍化土地上关键时期的土壤水盐特征,进行了空间分布的分析和不同尺度上农业水土资源质量的评价;杨劲松等<sup>[7]</sup>在磁感式大地电导率仪 EM38 的支持下,利用 IK 法对黄河三角洲地区典型地块上两个比较关键季节的土壤盐分,进行了空间变异性的分析,给出了同一区域不同时段土壤盐分满足一定标准的条件概率图。但是用单元指示克里格法同时对土壤盐分和有机质进行概率风险研究还很少,用多元指示克里格法(Multiple-Variable Indicator Kriging, 简写 MVIK)对土壤盐分和有机质进行综合概率风险研究也未见报道。本文针对黄淮海平原农业生产发展的主要障碍因子,以该地区典型县域禹城市作为研究区域,在 GIS 技术支持下,对禹城市进行较高密度的布点采样,以 ArcGIS9.2、GS+7.0 为操作平台,运用 IK 法对土壤盐分和有机质两个重要的障碍因子的空间异质性进行了探讨,并用 MVIK 法对土壤盐分和有机质综合指数进行了分析,绘制了综合指数概率分布图,为科学管理与合理改良利用黄淮海平原地区盐渍土地,提供一定的理论基础和参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

禹城市位于山东省西北部,徒骇河中游,处于东经 116°22'—116°45', 北纬 36°40'—37°12' 之间。禹城市微地貌比较复杂,共有河滩高地、高坡地、平坡地、洼坡地、浅平洼地、决口扇形地和砂质河槽地等 7 种类型。属于暖温带半湿润季风气候,年平均气温 13.1℃,全年平均降雨量 616 mm,约 76.4% 的降水集中在 6—9 月份。禹城市内皆平原,受地形、地貌、母质、气候等因素的影响,全市形成了潮土和盐土两大土类。潮土面积 967.9 km<sup>2</sup>,占土壤面积的 97.77%,在全市广泛分布。全市土地总面积 990 km<sup>2</sup>,辖 11 个乡镇(图 1),主要农作物为小麦、玉米、棉花。

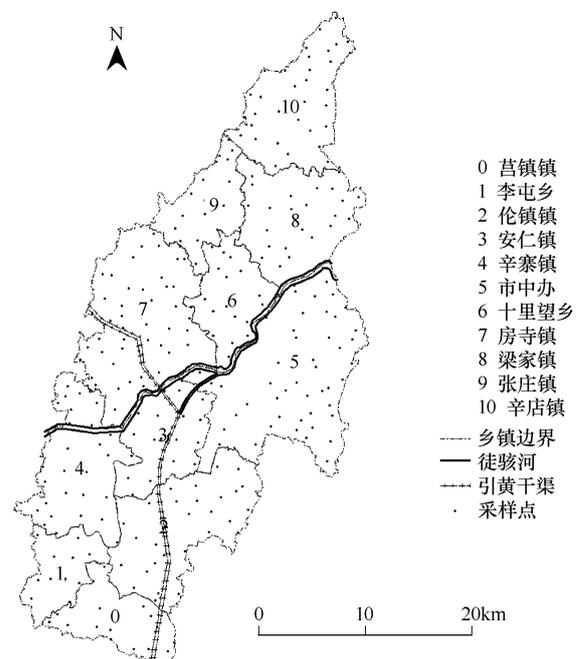


图 1 土壤采样点分布

Fig.1 Distribution of soil sampling sites

## 1.2 土壤样品采集

以 ArcMap9.2 为操作平台,通过屏幕数字化获取了禹城市的土壤图、地形地貌图、行政区划图和主要河流的分布图等矢量图。以禹城市为边界在 GIS 中进行 2.0 km×2.0 km 网格布点,获取网格中心的坐标作为准采样位置,输入 GPS 进行野外采样导航。实际采样过程中有些样点落在村庄、河流、道路等地,在附近进行调整,并用 GPS 记下实际采样点的坐标,如不能调整,则该采样点删除。遵照这个原则共采集有效土壤样品 298 个(图 1)。样品采集于 2008 年 5 月下旬,正处于冬小麦的灌浆期,取样土层为 0—20 cm 耕层土壤。

## 1.3 土壤样品测定

土壤样品带回实验室,风干、研磨、过筛备用。根据项目要求,有机质参考《土壤理化分析与剖面描述》<sup>[8]</sup>,采用重铬酸钾氧化-外加热法(油浴法)进行测定;电导率参考《土壤农业化学分析》<sup>[9]</sup>,采用电导法(1:5 土水比,使用去 CO<sub>2</sub> 蒸馏水,5min 震荡,抽滤,清液待测)进行测定。

## 1.4 数据处理与研究方法

本文采用地统计学方法中的 IK 法对禹城市耕地土壤盐分和有机质进行对比分析,并用 MVIK 法将土壤盐分和有机质综合成一个指标,对研究区域给定的盐分阈值和有机质阈值的概率风险进行评价。经典统计分析、地统计分析采用 GS+7.0,空间分布图和平均概率的计算采用 ArcGIS9.2。指示克里格法在文献中已有详细论述<sup>[2,5-6]</sup>,本文介绍综合运用 GS+ 和 GIS 进行单元指示克里格法和多元指示克里格法分析的一般步骤。

单元指示克里格法:①根据问题的要求确定评价指标的阈值。阈值原则上是可任选的,可以是一个临界值,也可以是一个区间范围;②为评价指标确定指示函数,根据指示函数将相应的采样点数据进行二态指示变换,得到各样点的指示变换值(即 1 或 0),指示变换值可以用来评价相应采样点上土壤属性值的高低状况;③在 GS+7.0 中利用指示变换值进行变异函数模拟计算,拟合得到最佳变异函数模型;④将变异函数模型参数输入到 ArcGIS9.2 中进行 IK 插值,得到土壤盐分满足相应标准或要求的概率空间分布图,并计算平均概率。

多元指示克里格法的分析与单元指示克里格法的基本步骤相似:①确定包含  $m$  个指标的评价体系,分别为每个指标选择各自的阈值;②对每个指标建立指示函数并进行二态指示变换;③将多个指标合并为一个综合指标,综合指数的计算公式为:

$$Z_{ij} = X_{ij} W_{ij}$$

式中, $Z_{ij}$ 为第  $i$  个采样点第  $j$  个指标的综合指示变换值; $X_{ij}$ 第  $i$  个采样点第  $j$  个指标的二态指示变换值; $W_{ij}$ 为第  $j$  个指标的权重; $i=1,2,\dots,n,j=1,2,\dots,m,n$ 为样点数目, $m$ 为指标数目。④计算综合指标的指示半变异函数;⑤进行 IK 插值,得到综合指标的概率分布图,计算平均概率。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤盐分与有机质的统计特征分析

土壤盐分与有机质实测值的统计分析如表 1 所示。土壤盐分含量均值约为 0.115 dS/m,总体处于非盐渍化状态,但是变异系数高达 0.702,使得部分地区盐分含量仍然较高,最高值达到 0.716 dS/m;土壤有机质均值为 17.85 g/kg,总体上处于中等肥力水平,但是部分地区有机质含量非常低,最小值仅为 1.11 g/kg。由图 2 所示的频率分布图可以看出,土壤盐分大部分样点盐分含量主要集中在 0.023—0.133 dS/m 之间,说明研究区域长期的盐渍土改良取得了很好的效果,盐分下降很快。但是部分地区盐渍化仍然存在,频率图呈现明显向左偏倚,在右侧由于高值存在出现长尾现象;有机质主要集中在 15.3—23.3 g/kg 之间,经过土壤改良,研究地区土壤肥力有所提高,频率图呈现出向右偏倚,但是由于部分地区盐分含量仍然较高,使得在左侧由于低值(特异质)的存在出现长尾现象,且频率图右侧表现出“高尖”的特征。单样本 K-S 正态检验和对数正态检验结果表明,土壤盐分既不服从正态分布也不服从对数正态分布,有机质呈偏正态分布。

从变异系数看,土壤盐分和有机质都为中等强度变异<sup>[10]</sup>。根据 Cochran<sup>[11]</sup>的随机采样公式,可以求出在 98% 置信水平和 10% 相对误差条件下土壤盐分与有机质的合理取样数目(表 1);土壤盐分的合理取样数目为 267,有机质的合理取样数目为 184。本研究所布设的取样点超过了合理取样数目,因此满足盐分与有机质

空间变异分析的精度要求。

表 1 土壤盐分、有机质的统计特征

Table 1 Statistical characteristics for soil salinity and soil organic matter 变量

变量 Variable	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Mean	标准差 S. D.	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	变异系数 CV	合理取样数目 Sampling No.
盐分 Soil salinity/(dS/m)	0.024	0.716	0.115	0.081	3.283	14.846	0.702	267
有机质 Organic matter/(g/kg)	1.11	31.16	17.85	5.200	0.773	0.198	0.291	184

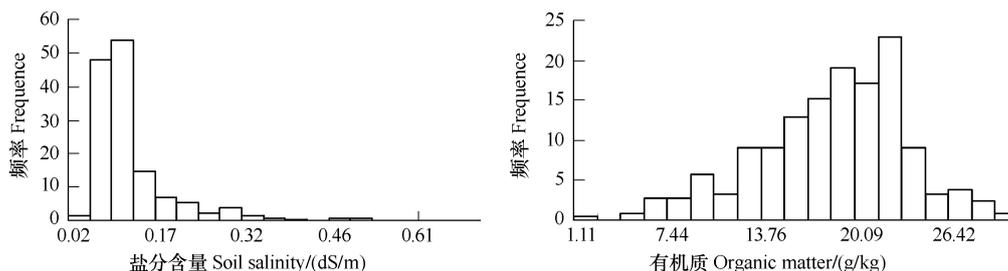


图 2 土壤盐分和有机质含量的频率分布

Fig. 2 Frequency distribution of soil salinity and soil organic matter

## 2.2 指示克里格分析

虽然指示克里格方法不能给出一定区域土壤盐分与有机质具体含量的空间分布图,但是人们在盐碱土壤改良过程中更感兴趣的不是某一点处土壤盐分和有机质含量的具体值,而是盐分大于某一阈值或有机质小于某一阈值在空间上的分布概率。指示克里格法不仅能削弱偏态分布和特异值对变异函数及估计结果的影响,而且能有效地估计区域化变量的分布概率,其计算的关键是选择盐分和有机质的阈值。参考已有研究<sup>[5,12]</sup>,结合全国第二次土壤普查标准<sup>[13]</sup>和 973 项目土壤质量演变规律与可持续利用典型潮土地地区土壤养分等级划分建议<sup>[14]</sup>,选择土壤盐分含量为 0.29 dS/m(相当于土壤全盐含量 1 g/kg)作为阈值,即样点盐分含量大于 0.29 dS/m 时,属轻度以上盐渍化,其指示变换值为 1,否则是非盐渍化,变换值为 0;选择 15 g/kg 作为有机质的阈值,即有机质含量小于 15 g/kg 时,属有机质轻度以上缺乏,其指示变换值为 1,否则有机质不缺乏,指示变换值为 0。

### 2.2.1 土壤盐分和有机质的单元指示克里格分析

在 GS+7.0 中进行反复模拟比较,获得了研究区域土壤盐分与有机质的最佳指示半方差函数模型(图 3)。土壤盐分与有机质都符合指数模型。块金值  $C_0$  通常表示由随机部分引起的空间异质性;基台值 Sill 通常表示系统内总的变异;块金值  $C_0$ /基台值 Sill 表示随机部分引起的空间异质性占系统总变异的比,它反映了土壤属性的空间依赖性,常被用作研究变量空间相关的分类依据<sup>[15-16]</sup>。土壤盐分与有机质的块金值  $C_0$ /基台值

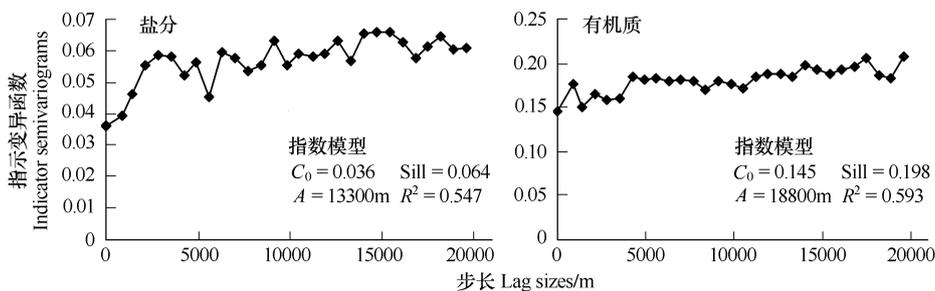


图 3 土壤盐分(大于 0.29 dS/m)与有机质(小于 15 g/kg)的指示半变异函数图

Fig. 3 Indicator semi-variograms of soil salinity greater than 0.29 dS/m and organic matter less than 15 g/kg

Sill 分别为 0.563 和 0.732, 都表现为中等强度的空间自相关性, 这说明在当前阈值条件下, 土壤盐分和有机质条件概率的空间分布是由随机性因素(如灌溉、耕作措施和土壤改良等各种人为活动)和结构性因素(如气候、地形、土壤类型等)共同作用引起的, 而有机质比土壤盐分更容易受到随机因素的影响。变程  $A$  也称为空间最大相关距离, 反映了变量空间自相关范围的大小, 土壤盐分的变程为 13.3 km, 有机质变程为 18.8 km。

根据土壤盐分和有机质的指示变异函数模型, 利用 ArcMap 进行 Kriging 插值, 绘制了禹城市耕层土壤盐分含量大于 0.29 dS/m 和有机质含量小于 15 g/kg 的概率空间分布图(图 4)。

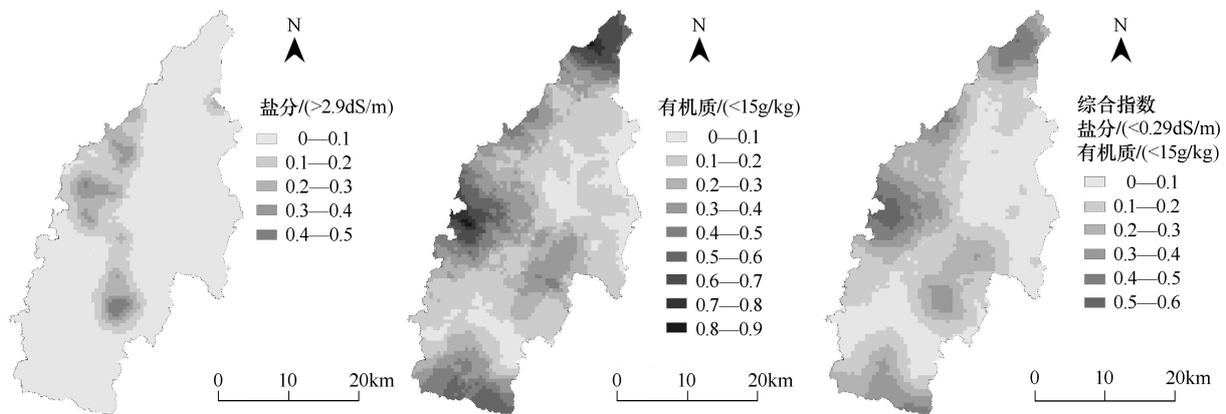


图 4 土壤盐分、有机质的空间概率分布

Fig. 4 Probability map of soil salinity and organic matter

从图 4 中可以看出, 耕层土壤有机质含量低于 15 g/kg 的概率分布区域主要在北部的辛店镇、西北部的张庄镇、西部的房寺镇、中南部的安仁镇和伦镇镇及市中办交界处、南部的莒镇乡; 土壤盐分含量高于 0.29 dS/m 的高概率区域表现出相同的分布规律, 而且有机质缺乏严重的地区往往是盐分高概率的分布区。土壤盐分和有机质的条件概率分布在空间上存在相似性, 说明了研究区域在空间尺度上土壤盐分与有机质之间“肥大吃碱, 碱大吃肥”<sup>[17]</sup>的关系比较明显。土壤盐分与有机质条件概率的分布是受到自然因素和人类改良活动等多方面因素共同作用的结果。自然因素方面, 辛店镇北部为低肥区, 地形高低不平, 土体一般为通体砂型, 熟化土层浅, 保水保肥性差, 土壤肥力低。由于干旱缺水, 大部分土地以旱作为主, 多风沙, 风蚀严重。辛店镇南部为低湿盐碱区, 土质偏轻, 地势低洼, 地下潜水位很高, 一般在 1m 左右, 地表蒸发强烈, 土壤次生盐渍化危害大; 张庄镇属微咸水型土壤区, 土质以轻壤为主, 地下水位一般在 2 m 以内, 地下水矿化度较高, 土壤盐渍化风险大, 历来是禹城市重盐碱土的集中带; 房寺镇位于禹城市西部的高坡地上, 属低肥力轻质土壤区。土壤质地多为轻壤, 土壤肥力低, 水利条件差; 伦镇镇、安仁镇属盐化潮土区, 是禹城市著名的盐碱土改良实验区, 地貌以微斜平地为主, 多为轻壤, 土壤贫瘠, 地势低洼, 内外排水不畅, 是盐化潮土的集中分布带; 徒骇河从禹城市西南辛寨镇的北部沿房寺镇、十里望乡和梁家镇等乡镇的南部边界流向东北, 地形地貌以河滩高地为主, 地势较高, 地下水多在 3 m 以下, 土壤多为褐土化潮土, 土体构型良好, 土壤肥力较高, 是全市著名的高产区, 土壤肥力较高, 土壤盐分含量低, 基本为无盐渍化。人为因素, 在第二次土壤普查时, 研究区域有机质平均含量只有 7.36 g/kg, 盐分平均含量高达 3.13g/kg。经长期的盐渍土改良、培肥, 禹城市土壤有机质有了明显的提高, 土壤盐分含量下降很快。2003 年有机质平均含量增加到 12.47 g/kg, 盐分平均含量下降为 0.96 g/kg。但是, 由于近年来大量的不合理地引黄灌溉, 给区域土壤改良带来一定副作用。引黄灌溉主干渠由南而北穿过莒镇乡、伦镇镇和安仁镇再折向西北流经房寺镇的中南部, 使流经区域地下水位回升, 土壤次生盐渍化风险增大, 土壤肥力降低(图 1、图 4)。

### 2.2.2 多元指示克里格分析

由于研究区域水盐运动较活跃、人类改良活动剧烈, 因此综合考察土壤盐分与有机质两个指标的综合概

率,对盐碱障碍因子消减和土壤质量定向培育有着重要的意义。多元指示克里格法可以将满足各自阈值的土壤盐分与有机质整合为一个综合指标。根据多元指示克里格的思想,对同时满足盐分含量大于 0.29 dS/m 和有机质含量小于 15 g/kg 时的概率分布进行综合考察。结合盐渍土改良区的特点,经过专家咨询,分别赋予有机质和盐分 0.6 和 0.4 的权重进行综合指示变换。其综合指示变异函数模型符合指数模型(图 5),变程为 18.5 km,块金值  $C_0$ /基台值 Sill 为 0.683 具有中等强度的自相关性。

图 4 中综合指数分布图反映了研究区域土壤盐分(大于 0.29 dS/m)与土壤有机质(小于 15 g/kg)的综合概率分布,其总体分布趋势与图 4 中的土壤盐分及有机质的单元指示概率分布较为接近,这也说明研究区土壤盐分含量与有机质含量的空间分布并不是完全相互独立的过程,而是存在着空间上的关联性。在空间分布上,研究区域土壤盐分含量高和有机质含量低的高概率区域主要分布在西北部的张庄镇和房寺镇以及南部的菖镇乡,基本是引黄干渠流经的地区;徒骇河流经的河滩高地是低概率的主要分布区。因此,研究区域盐碱障碍的消减与土壤肥力的提高是相辅相成的:土壤盐分含量的降低有利于有机质等养分元素的提高,而有机质等养分元素含量的提高能够对耕层土壤盐分起到抑制作用,能够促进盐碱障碍的消减。

### 2.3 土壤盐分与有机质风险评价

为了进一步了解研究区域土壤盐分含量与有机质含量的空间分布特点,在 GIS 技术支持下,对土壤盐分大于 0.29 dS/m 与土壤有机质低于 15 g/kg 的概率分布做了风险性评价。

从整体上看,土壤盐分大于 0.29 dS/m 的平均概率为 0.165,其概率区间以 0.0—0.1 的分布最广(图 4),面积约为 795.20 km<sup>2</sup>,占总面积的 79.45%,而 0.3—0.4 的高概率分布面积约为 21.82 km<sup>2</sup>,占总面积的 2.18%,盐渍化概率在 0.40 以上的面积只有 4.12 km<sup>2</sup>,占总面积的 0.41%;土壤有机质低于 15 g/kg 的平均概率为 0.499,其概率区间以 0.1—0.4 的分布最广(图 4),面积约为 787.37 km<sup>2</sup>,占总面积的 78.66%,其次是 0.4—0.7 的分布,面积约为 212.51 km<sup>2</sup>,占总面积的 21.23%,而 0.7—0.9 的高概率分布面积约为 29.89 km<sup>2</sup>,占总面积的 2.99%;土壤盐分大于 0.29 dS/m 和土壤有机质低于 15 g/kg 的平均概率 0.34,其概率区间以 0.0—0.3 的分布最广(图 4),面积约为 835.07 km<sup>2</sup>,占总面积的 83.43%,其次是 0.5—0.6 的概率分布,面积约为 163.05 km<sup>2</sup>,占总面积的 16.29%。可见研究区域综合指数概率为 0.5—0.6 的概率分布区是土壤次生盐渍化威胁较大,土壤有机质匮乏的主要区域。因此,开展研究区域的土壤盐分和有机质的风险性评价研究,能从区域尺度上发现农田土壤改良过程中可能存在的问题,这为整个黄淮海平原中低产田治理提供理论基础,将有助于区域土壤资源的可持续利用。

### 3 结论与讨论

(1)在土壤属性的数据分析中,往往由于特异值的存在使数据偏离正态分布,而不能得到稳健的变异函数。影响克里格估计精度,指示克里格法是处理有偏数据的有效工具。它不但可以处理单指标有偏数据,而且可以综合多个指标对农业水土资源利用等的风险性进行定量评价,在农业水土资源与区域土壤环境的调查、分析以及风险评价中有广阔的应用前景。但是如何确定最佳阈值还有待深入探讨。

(2)本研究采用单元指示克里格法和多元指示克里格法,分别对满足一定阈值的土壤盐分和有机质以及同时满足这两个阈值的综合指数进行了分析,分别获得了较为稳健的变异函数和基于设定阈值的土壤盐分、有机质和综合指数的概率分布图,并对盐分含量高于阈值和有机质低于给定阈值的概率风险进行了评价,对

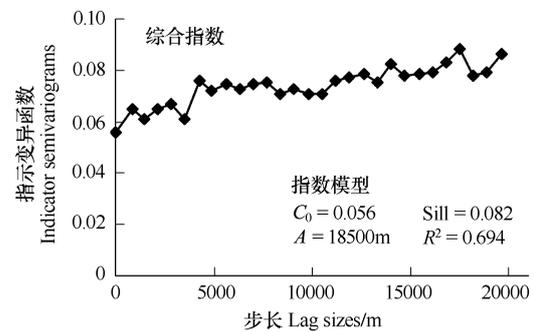


图 5 土壤盐分(大于 0.29 dS/m)与有机质(小于 15 g/kg)的综合指示半变异函数图

Fig. 5 Combined indicator semivariogram of soil salinity greater than 0.29 dS/m and soil organic matter less than 15 g/kg

指导当地的盐碱土改良、中低产田治理具有重要参考意义。

(3) 研究区域土壤盐分的高概率分布与有机质的高概率分布在空间分布上具有一定的关联性,受地形地貌和引黄灌溉的影响,土壤盐分高、有机质低的区域主要集中在研究区的西北部 and 南部。在这些区域宜采用以水利工程措施为主,适当进行引黄灌溉,实行农业生物措施为辅的综合治理方案,种植耐盐性较好的粮食作物如大麦、冬小麦、高粱等。

#### References:

- [ 1 ] Wang Z Q. Application of Geostatistics on Ecology. Beijing: Science Press, 1999: 65-132.
- [ 2 ] Yao R J, Yang J S. Evaluation on Spatial distribution of groundwater depth and soil salinity by indicator Kriging in a typical area of Yellow River Delt. Journal of Agro-Environment Science, 2007, 26(6): 2118-2124
- [ 3 ] Carr J R, Bailey R E. An indicator kriging model for investigation of seismic hazard. Mathematical Geology, 1986, 18(4): 409-428.
- [ 4 ] Goovaerts P, Webster R, Dubois J P. Assessing the risk of soil contamination in the Swiss Jura using indicator geostatistics. Environmental and Ecological Statistics, 1997, 4(1): 31-48.
- [ 5 ] Li B G, Hu K L, Huang Y F, Zhang F R. Application of indicator Kriging method for assessing nitrate content of regional shallow groundwater. Journal of Hydraulic Engineering, 2001, (3): 1-5.
- [ 6 ] Xu Y, Chen Y X, Wang J S, Liu Q M. Using indicator Kriging to analyze and evaluate spatial distributions of soil water and salt in field. Advances in Water Science, 2006, 17(4): 477-482.
- [ 7 ] Yang J S, Yao R J, Liu G M. Analysis and evaluation on spatial variability of soil salinity by indicator Kriging with an electromagnetic induction gauge. Acta Pedologica Sinica, 2008, 45(4): 585-593.
- [ 8 ] Liu G S. Soil Physics and Chemistry Analysis and Description of Soil Profiles. Beijing: China Standard Press, 1996.
- [ 9 ] Lu R K. Analytical Methods of Soil and Agricultural Chemistry. Beijing: Chinese Agriculture and Technology Press, 1999: 90-99.
- [ 10 ] Feng N N, Li T X, Zhang X Z, Wang Y D, Xia J G. The spatial variability of the content of organic matter in hilly tea plantation soils with different sampling scales. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(2): 349-356.
- [ 11 ] Cochran W G. Sampling Techniques. New York: John Wiley and Sons, Inc, 1977.
- [ 12 ] Liu Q M, Chen Y X, Wei Z M, Xu B. Cutoff value of indicator Kriging method and the relationships between cutoff value and relative function in expressing spatial variability of soil water and salt. Journal of Hydraulic Engineering, 2009, 40(9): 1127-1133.
- [ 13 ] The National Soil Survey Office. Soils of China. Beijing: China Agricultural Press, 1998.
- [ 14 ] Cao Z H, Zhou J M. China Soil Equality. Beijing: Science Press, 2008.
- [ 15 ] Wang Y Q, Zhang X C, Huang C Q. Spatial variability of soil total nitrogen and soil total phosphorus under different land uses in a small watershed on the Loess Plateau, China. Geoderma, 2009, 150(1/2): 141-149.
- [ 16 ] Yang F, Zhang G X, Yin X R, Gu B, Sun G Y. Spatial variability of soil salinity and sodicity and its correlation with the succession of Phragmites Australis community in degraded salt marsh. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(10): 5291-5298.
- [ 17 ] Niu L A, Hao J M, Tan L, Meng P, Li S H, Sui P F. Spatio-temporal variability of soil nutrients in salt-affected soil under amelioration. Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(1): 84-90.

#### 参考文献:

- [ 1 ] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999: 65-132.
- [ 2 ] 姚荣江, 杨劲松. 黄河三角洲典型地区地下水位与土壤盐分空间分布的指示克立格评价. 农业环境科学学报, 2007, 26(6): 2118-2124.
- [ 5 ] 李保国, 胡克林, 黄元仿, 张凤荣. 区域浅层地下水硝酸盐含量评价的指示克立格法. 水利学报, 2001, (3): 1-5.
- [ 6 ] 徐英, 陈亚新, 王俊生, 刘全明. 农田土壤水分和盐分空间分布的指示克立格分析评价. 水科学进展, 2006, 17(4): 477-482.
- [ 7 ] 杨劲松, 姚荣江, 刘广明. 电磁感应仪用于土壤盐分空间变异性的指示克立格分析评价. 土壤学报, 2008, 45(4): 585-593.
- [ 8 ] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [ 9 ] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 90-99.
- [ 10 ] 冯娜娜, 李廷轩, 张锡洲, 王永东, 夏建国. 不同尺度下低山茶园土壤有机质含量的空间变异. 生态学报, 2006, 26(2): 349-356.
- [ 12 ] 刘全明, 陈亚新, 魏占民, 徐冰. 土壤水盐空间变异性指示克立格阈值及其与有关函数的关系. 水利学报, 2009, 40(9): 1127-1133.
- [ 13 ] 全国土壤普查办公室. 中国土壤. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [ 14 ] 曹志洪, 周健民. 中国土壤质量. 北京: 科学出版社, 2008.
- [ 16 ] 扬帆, 章光新, 尹雄锐, 顾斌, 孙广友. 退化盐沼湿地盐碱化空间变异与芦苇群落的演替关系. 生态学报, 2009, 29(10): 5291-5298.
- [ 17 ] 牛灵安, 郝晋珉, 覃莉, 孟鹏, 李栓怀, 隋鹏飞. 盐渍土改造区土壤养分的时空变异性研究. 土壤学报, 2005, 42(1): 84-90.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 8 April, 2011 (Semimonthly)

## CONTENTS

The relationship between <i>Populus euphratica</i> 's radial increment and groundwater level at the lower reach of Tarim River .....	AN Hongyan, XU Hailiang, YE Mao, et al (2053)
Influence of elevation factor on soil profile texture configuration: a case study of the alluvial plain of Fengqiu County .....	TAN Manzhi, MI Shuxiao, LI Kaili, et al (2060)
Effects of ozone on AsA-GSH cycle in soybean leaves .....	WANG Junli, WANG Yan, ZHAO Tianhong, et al (2068)
The effects of physical and chemical factors on the growth and lipid production of <i>Chlorella</i> .....	ZHANG Guiyan, WEN Xiaobin, LIANG Fang, et al (2076)
Response of net productivity of masson pine plantation to climate change in North Subtropical Region .....	CHENG Ruimei, FENG Xiaohui, XIAO Wenfa, et al (2086)
Soil respiration of <i>Zoysia matrella</i> turfgrass in subtropics .....	LI Xibo, YANG Yusheng, ZENG Hongda, et al (2096)
Effect of UV-B radiation on the leaf litter decomposition and nutrient release of <i>Pinus massoniana</i> .....	SONG Xinzhang, ZHANG Huiling, JIANG Hong, et al (2106)
Physiological ecological effect of endophyte infection on <i>Achnatherum sibiricum</i> under drought stress .....	HAN Rong, LI Xia, REN Anzhi, et al (2115)
Zinc Tolerance and Accumulation Characteristics of <i>Armillaria mellea</i> .....	ZHU Lin, CHENG Xianhao, LI Weihuan, et al (2124)
Expansion strategies of <i>Caragana stenophylla</i> in the arid desert region .....	ZHANG Jianhua, MA Chengchang, LIU Zhihong, et al (2132)
Effects of mixed plant residues from the Loess Plateau on microbial biomass carbon and nitrogen in soil .....	WANG Chunyang, ZHOU Jianbin, XIA Zhimin, et al (2139)
Survival strategy of <i>Stipa krylovii</i> and <i>Agropyron cristatum</i> in typical steppe of Inner Mongolia .....	SUN Jian, LIU Miao, LI Shenggong, et al (2148)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in <i>Salix psammophila</i> root-zone soil in Inner Mongolia desert .....	HE Xueli, YANG Jing, ZHAO Lili (2159)
An experimental study on the the effects of different diurnal warming regimes on single cropping rice with Free Air Temperature Increased (FATI) facility .....	DONG Wenjun, DENG Aixing, ZHANG Bin, et al (2169)
Endophytic bacterial diversity in <i>Achnatherum inebrians</i> by culture-independent approach .....	ZHANG Xuebing, SHI Yingwu, ZENG Jun, et al (2178)
Hierarchical Partial Least Squares (Hi_PLS) model analysis of the driving factors of Henan's Ecological Footprint (EF) and its development strategy .....	JIA Junsong (2188)
Evaluation on spatial distribution of soil salinity and soil organic matter by indicator Kriging in Yucheng City .....	YANG Qiyong, YANG Jinsong, YU Shipeng (2196)
The toxicity of lupeol of <i>Inula britannica</i> on <i>Tetranychus cinnabarinus</i> and its effects on mite enzyme activity .....	DUAN Dandan, WANG Younian, CHENG Jun, et al (2203)
Abundance and biodiversity of ammonia-oxidizing archaea and bacteria in littoral wetland of Baiyangdian Lake, North China .....	YE Lei, ZHU Guibing, WANG Yu, et al (2209)
Changes of leaf water potential and water absorption potential capacities of six kinds of seedlings in Karst mount area under different drought stress intensities: Taking six forestation seedlings in karst Mountainous region for example .....	WANG Ding, YAO Jian, YANG Xue, et al (2216)
Comparison of structure and species diversity of <i>Eucalyptus</i> community .....	LIU Ping, QIN Jing, LIU Jianchang, et al (2227)
Ecosystem services valuation of the Haihe River basin wetlands .....	JIANG Bo, OUYANG Zhiyun, MIAO Hong, et al (2236)
Effects of <i>Phragmites australis</i> on methane emission from a brackish estuarine wetland .....	MA Anna, LU Jianjian (2245)
Genetic differentiation and the characteristics of uptake and accumulation of lead among <i>Camellia sinensis</i> populations under different background lead concentrations of soils in Yunnan, China .....	LIU Shengchuan, DUAN Changqun, LI Zhenhua, et al (2253)
Comparison of zooplankton lists between <i>Coilia mystus</i> food contents and collections from the Yangtze River Estuary & Hangzhou Bay .....	LIU Shouhai, XU Zhaoli (2263)
Reconstruction and analysis of July-September precipitation in Mt. Dagangshan, China .....	QIAO Lei, WANG Bing, GUO Hao, et al (2272)
Analysis on economic and ecological benefits of no-tillage management of <i>Carya cathayensis</i> .....	WANG Zhengjia, HUANG Xingzhao, TANG Xiaohua, et al (2281)
GIS-based analysis of the accessibility of urban forests in the central city of Guangzhou, China .....	ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (2290)
<b>Review and Monograph</b>	
Impact factors and uncertainties of the temperature sensitivity of soil respiration .....	YANG Qingpeng, XU Ming, LIU Hongsheng, et al (2301)
The advance of allometric studies on plant metabolic rates and biomass .....	CHENG Dongliang, ZHONG Quanlin, LIN Maozi, et al (2312)
Practice and the research progress on eco-compensation for cultivated land .....	MA Aihui, CAI Yinying, ZHANG Anlu (2321)
<b>Discussion</b>	
Soil water holding capacities and infiltration characteristics of three vegetation restoration models in dry-hot valley of Yuanmou .....	LIU Jie, LI Xianwei, JI Zhonghua, et al (2331)
<b>Scientific Note</b>	
Effects of secondary, micro- and beneficial elements on rice growth and cadmium uptake .....	HU Kun, YU Hua, FENG Wenqiang, et al (2341)

# 2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊\*

(源于 2010 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	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1~9 届连续 9 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 31 卷 第 8 期 (2011 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 8 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  
**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

**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

**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  
**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@espg.net

**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@espg.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

**Domestic** All Local Post Offices in China  
**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