

ISSN 0564-3929

Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



中国土壤学会
科学出版社

主办
出版

2015

第52卷 第4期

Vol.52 No.4



土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 4 期 2015 年 7 月

目 次

综述与评论

亚硝酸盐型甲烷厌氧氧化微生物生态学研究进展····· 沈李东 (713)

土壤科学与现代农业

近30年江西省耕地土壤全氮含量时空变化特征····· 赵小敏 邵 华 石庆华等 (723)

北京市土壤重金属潜在风险预警管理研究····· 蒋红群 王彬武 刘晓娜等 (731)

秸秆深还对土壤团聚体中胡敏酸结构特征的影响····· 朱 姝 窦 森 陈丽珍 (747)

生物炭添加对酸化土壤中小白菜氮素利用的影响····· 俞映惊 薛利红 杨林章等 (759)

水肥对高产无性系油茶果实产量的影响····· 张文元 郭晓敏 涂淑萍等 (768)

研究论文

基于VRML的土壤电导率三维空间变异性虚拟现实建模研究····· 李洪义 顾呈剑 但承龙等 (776)

不同样点数量对土壤有机质空间变异表达的影响····· 海 南 赵永存 田 康等 (783)

基于稳定同位素的土壤水分运动特征····· 靳宇蓉 鲁克新 李 鹏等 (792)

中国玉米区域氮磷钾肥推荐用量及肥料配方研究····· 吴良泉 武 良 崔振岭等 (802)

不同施肥方式下滩涂围垦农田土壤有机碳及团聚体有机碳的分布····· 候晓静 杨劲松 王相平等 (818)

长期施肥对浙江稻田土壤团聚体及其有机碳分布的影响····· 毛霞丽 陆扣萍 何丽芝等 (828)

不同时期施用生物炭对稻田N₂O和CH₄排放的影响····· 李 露 周自强 潘晓健等 (839)

秸秆生物炭对潮土作物产量和土壤性状的影响····· 刘 园 M. Jamal Khan 靳海洋等 (849)

单一电解质体系下恒电荷土壤胶体扩散双电层中滑动层厚度的计算····· 丁武泉 朱启红 王 磊等 (859)

化工厂遗留地铬污染土壤化学淋洗修复研究····· 李世业 成杰民 (869)

离子型稀土矿尾砂地植被恢复障碍因子研究····· 刘文深 刘 畅 王志威等 (879)

辽东与山东半岛土壤中有机氯农药残留特征研究····· 朱英月 刘全永 李 贺等 (888)

长期冬种绿肥改变红壤稻田土壤微生物生物量特性····· 高嵩涓 曹卫东 白金顺等 (902)

豆科间作对番茄产量、土壤养分及酶活性的影响····· 代会会 胡雪峰 曹明阳等 (911)

研究简报

蚕豆根系分泌物中氨基酸含量与枯萎病的关系····· 董 艳 董 坤 汤 利等 (919)

小麦与蚕豆间作对根际真菌代谢功能多样性的影响····· 胡国彬 董 坤 董 艳等 (926)

不同年限毛竹林土壤固氮菌群落结构和丰度的演变····· 何冬华 沈秋兰 徐秋芳等 (934)

长期不同施肥模式下砂姜黑土的固碳效应分析····· 李 玮 孔令聪 张存岭等 (943)

果园生草对¹⁵N利用及土壤累积的影响····· 彭 玲 文 昭 安 欣等 (950)

封面图片: 离子型稀土矿废弃地全景 (由汤叶涛、刘文深提供)

DOI: 10.11766/trxb201407140355

基于VRML的土壤电导率三维空间变异性虚拟现实建模研究*

李洪义^{1,2} 顾呈剑¹ 但承龙¹ 史舟^{2†}

(1 江西财经大学旅游与城市管理学院, 南昌 330013)

(2 浙江大学环境资源学院, 杭州 310029)

摘要 如何表达土壤属性的三维空间变异性对传统的土壤剖面采样、空间变异分析和三维可视化表达提出了挑战。以浙江省围垦海涂水稻田土壤盐分为例, 采用EM38电磁感应线性模型结合二阶Tikhonov正则化方法反演剖面0~110 cm范围内10个土层深度的土壤电导率作为三维空间变异性研究的数据源; 然后利用三维反距离权重方法进行土壤盐分的三维空间插值; 最后分别采用虚拟现实建模语言(VRML)的球体、切片、地柱模型对土壤电导率剖面离散点、二维空间变异切片、三维变异土体模型进行三维虚拟现实可视化建模, 并实现模型的网络发布。结果表明, 在田间尺度上, 三维反距离权重方法可较好地对土壤电导率在三维空间的分布进行预测插值; 通过VRML方法进行可视化建模可较好地展示及解析土壤电导率的三维空间分布规律; 水平方向上, 土壤盐分从西北面向东南面逐渐增大, 垂直方向上, 土壤盐分随土层深度的增加而增大, 且东南角土壤盐分最大; 此外, 用户可利用IE浏览器实现虚拟现实模型的可视化及对模型进行平移、放大、缩小、旋转等基本操作。基于VRML的虚拟建模方法可为土壤属性的三维变异性可视化及网络共享提供新途径。

关键词 电导率; EM38; 三维空间变异性; 三维反距离权重法; 虚拟现实建模语言

中图分类号 S156 **文献标识码** A

建国以来, 浙江省海涂围垦面积累计超 $2.0 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 海涂围垦造地已成为浙江省耕地占补平衡的重要手段^[1]。然而, 新围垦海涂盐分高、返盐强烈, 暴晒下2.8 m左右深度的盐分均能随土壤毛管水上升形成地表积盐, 造成农业产量低且不稳定^[2]。准确的土壤剖面盐分信息是海涂土壤脱盐管理的科学依据, 如何表达土壤盐分在三维空间上的变异性对传统的土壤剖面采样、空间变异分析和三维可视化表达提出了挑战^[3]。

受上述三个因素的影响, 有关土壤属性三维空间变异性研究的报道在国际上还极少。但也有学者尝试将三维地质统计学方法引进到土壤空间变异研究中来, 采用三维普通克里格方法对砂粒含量^[4]、硝化氮^[5]等土壤属性三维空间变异特性进行了初

探, 但均未对三维地统计模型及其参数进行介绍。

国内、外同行均已证实, 借助EM38这一电磁型土壤近地传感器技术(Proximal Soil Sensing, PSS)可在土壤表面以非侵入的方式对剖面0.75 m(水平模式)、1.50 m(垂直模式)深度范围内的土壤表观电导率(Soil Apparent Electrical Conductivity, ECa)进行高效、准确的原位测定^[6-8], 为开展土壤盐分的三维空间变异性研究奠定了数据基础。在此基础上, 本课题组采用协同克里格方法对浙江省海涂围垦区水稻田0~1.1 m深度范围内10个土层深度的土壤电导率进行了三维空间变异性建模及制图研究^[6]; 吴亚坤等^[7]采用反距离权重方法(Inverse Distance Weighting, IDW)对1 m深度范围内土壤盐分的三维空间分布进行了解析。

* 国家自然科学基金项目(41101197)、教育部人文社会科学研究项目(10YJC910002)、江西省自然科学基金项目(20114BAB213017)资助

† 通讯作者, E-mail: shizou@zju.edu.cn

作者简介: 李洪义(1981—), 男, 博士, 副教授, 主要从事农业遥感与信息技术应用研究。E-mail: lihongyi1981@zju.edu.cn

收稿日期: 2014-07-14; 收到修改稿日期: 2014-12-02

IDW是一种确定型插值方法,虽无统计学意义,但在田间尺度上、基于EM38获取的高密度数据的情况下,其无疑是目前最简单、最可用的三维插值方法。

如何更好地将三维空间变异结果进行可视化表达是目前急需解决的另一个难题,作为3D GIS的重要组成部分,也是许多地学家和计算机专家一直探索的课题^[9]。Nash等^[4]以切片的方式来表达土壤特性在不同深度土层或在某一方向上的空间变异性。Meirvenne等^[5]通过建立三维“栅格”土体模型模拟出了土壤硝化氮在三维空间上的变异情况,但以这种方式展示三维空间变异性远远不够。而“虚拟现实”技术,特别是虚拟现实建模语言(Virtual Reality Modeling Language, VRML)的发展,不仅能很好的表达三维模型,且能实现交互式的三维可视化;此外,VRML还是一种专为WWW(万维网)而设计的三维图像置标语言,可实现三维模型的网络共享^[10]。Grunwald和Barak^[10-11]建立VRML模型将土壤成分、景观特性等进行三维虚拟场景的动态表达,验证了该方法在土壤学学科中应用的可行性。

因此,本研究基于国内同行采用IDW方法解析三维土壤盐分研究的基础上^[7],旨在利用EM38线性模型反演土壤剖面电导率^[6],进一步开展基于VRML的土壤电导率三维空间变异性虚拟现实建模研究,为土壤三维空间变异性的可视化表达以及土壤学学科相关研究成果的推广应用提供新途径。

1 材料与方法

1.1 研究区概况与数据采集

研究区位于浙江省上虞市杭州湾南岸的海涂实验农场,本研究选择围垦于1996年的一块面积约为2.5 hm²的水稻田进行采样,采样时间为2006年12月中旬,水稻收割后,采用Tremble DGPS进行定位^[7]。利用EM38(Canada, Genicos Co., Ltd)采集了56个样点0、10、20、30、40、50、60、75、90、100、120、150 cm等11个不同深度的水平、垂直模式下的EC_a。

EM38电磁感应线性模型可较准确的反演剖面电导率,且该模型推广应用时不需要校验^[12],同时本课题组对其可行性也进行了验证^[6]。因此,本研究直接应用该模型预测5、15、25、35、45、55、67.5、82.5、95、110 cm等10个深度的土壤电导率,作为三维插值的数据源。

1.2 三维IDW模型

IDW是多变量插值中的一种确定性插值方法,是利用实测点的值来预测未采样点的值,距离越近,则对插值结果影响越大,二维IDW模型可表达为:

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i) \quad (1)$$

式中, $z^*(x_0)$ 为点 x_0 处的预测值; $z(x_i)$ 为点 x_i 的实测值; N 为参与预测的实测点数目; λ_i 为参与预测的实测点的权重,根据以下公式确定:

$$\lambda_i = d_{i0}^{-p} / \sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p} \text{ 且 } \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (2)$$

式中, d_{i0} 为预测点 x_0 与参与预测的实测点 x_i 间的欧氏距离;幂参数 p (Power Parameter)表示实测值对预测值的影响级,距离预测点越近,则 p 值越大,一般取值为2^[13]。

本研究采用的三维IDW是由二维IDW扩展而来的,三维模型中 d_{i0} 表示为三维欧氏距离;根据 p 值不大于维数的原则,本研究的三维模型 p 取值为3^①。

1.3 VRML建模

VRML涉及的基本概念包括头文件、节点、域、事件、路由、原型及场景等^②。节点(Node)是构成VRML文件的基本单元,用来描述模型的各种要素,从而构造场景。每个节点包含子节点和描述节点属性的“域名”和“域值”,如形状、位置、颜色、比例、光源,通过DEF命令来定义。

本研究中涉及的Shape节点是VRML构建立体空间造型的关键节点,它定义了造型相关的几何尺寸、材料、纹理和外观特征等,包含两个重要的域:(1) appearance域,它的域值被定义为一个Appearance物体造型外观子节点,该一级字节节点又包括纹理(Texture)、变换节点(Transform)——用来控制造型的平移、

① http://en.wikipedia.org/wiki/Inverse_distance_weighting

② <http://en.wikipedia.org/wiki/VRML>

放大、缩小和材料 (Material) 等3个二级子节点; (2) geometry域, 它的域值被定义为一个 geometry子节点, 用来控制几何形状, 又分为构造网格 (Box)、构造点 (Sphere)、构造线 (IndexedLineSet)、构造面 (IndexedFaceSet)、Text (构造文字注记) 等5个二级子节点。上、下级节点用children命令来定义其隶属关系; 通过控制Material子节点的漫射色 (diffuseColor) 域值来表征样点的电导率; 通过大量重复使用DEF命令来定义节点从而构建三维离散点、Slice (电导率切片) 和Plume (地柱) 模型。

为实现上述模型及方法, 本研究首先采用 Matlab编程实现剖面电导率反演及IDW土壤电导率三维空间变异插值, 并采用VRML开展三维可视化建模; 然后, 将三维模型保存为标准的wrl格式, 使用免费Web3D的Cortona VRML Client 5.1插件在IE中进行模型的可视化及基本操作, 并通过HTML语言将三维模型文件嵌入进行网络发布。

2 结果

2.1 土壤剖面电导率样点三维建模

利用EM38线性模型预测56个样点在5、15、25、35、45、55、67.5、82.5、95、110 cm等10个深度的土壤电导率箱形图如图1所示:

从图1中可知, 电导率的最小值、下四分位数、中值、上四分位数、最大值等均随着土层深度的增加而增加, 且大于上四分位数的样点比例呈增加的趋势。为更好地表达土壤电导率在三维空间上的分布特征, 本研究将剖面样点在三维虚拟空间上

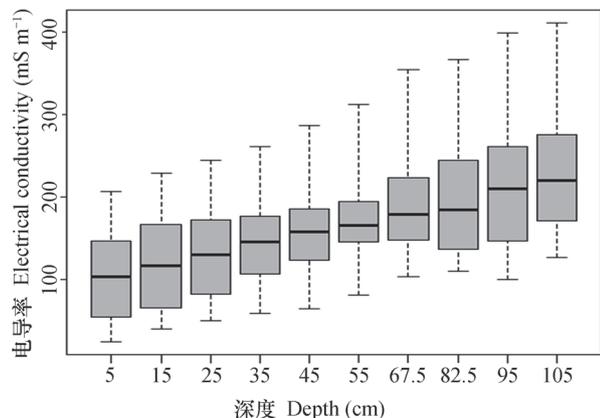


图1 各土层深度土壤电导率箱图

Fig.1 Boxplot of electrical conductivity in soil layers different in depth (10 different depth)

用球体来表达, 通过VRML的Sphere节点来构建该原型。通过定义一级Transfrom群节点来控制原型的原点坐标、缩放比例、旋转轴、样点原型等阈值; 将560个样点依次作为一级children子节点的域值, 通过二级Transfrom群节点依次将所有剖面样点原型叠加组合, 实现三维电导率样点原型能方便的平移、缩放、旋转查看等功能。

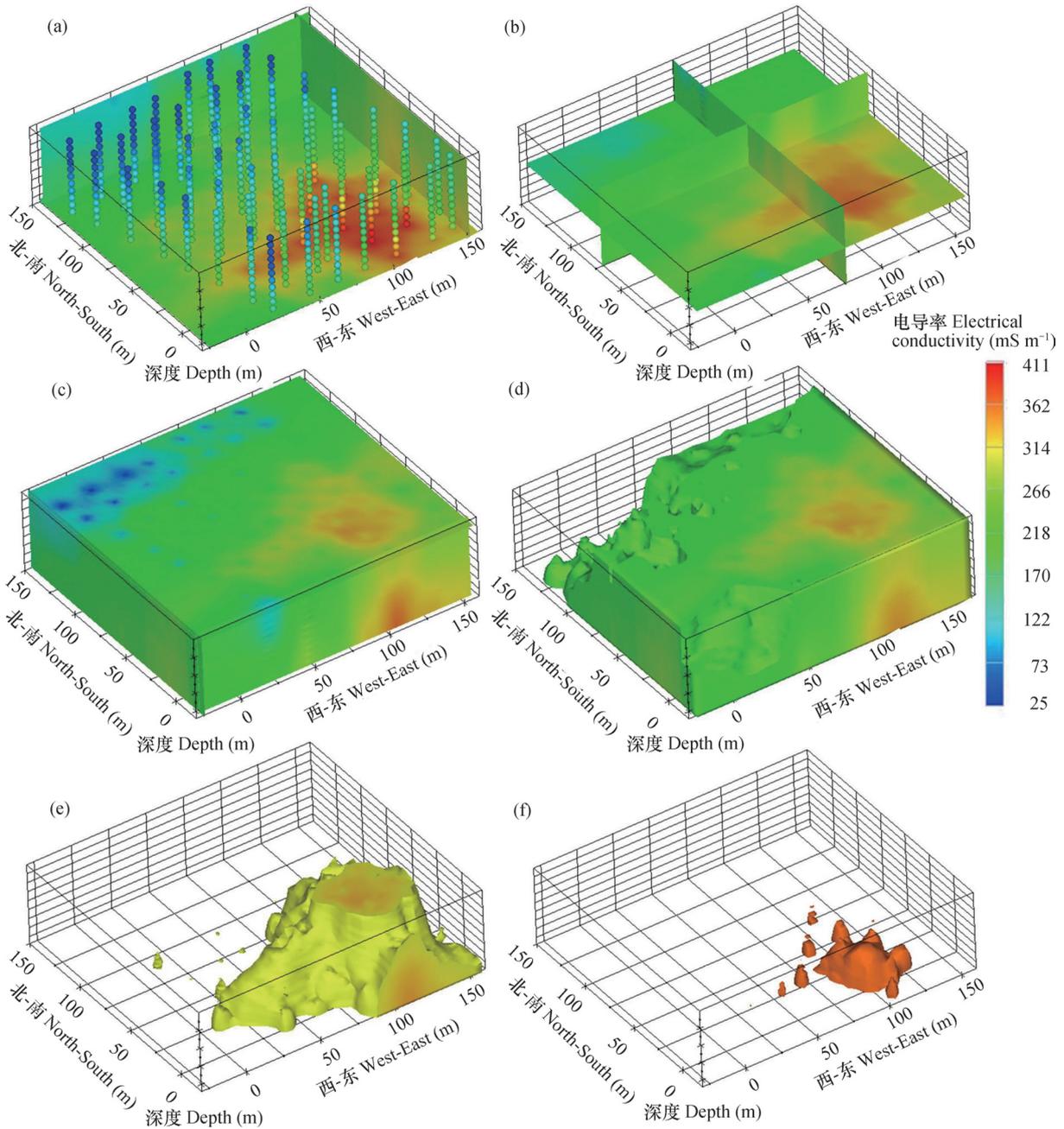
此外, 叠加三维坐标轴、图例、注记等造型至三维虚拟环境, 本研究通过EVS_Pro辅助实现各地图要素的制作, 三维剖面样点电导率模型如图2a球体模型部分所示。从图可以比较清晰地看出, 土壤剖面电导率的空间分布规律。

2.2 土壤电导率三维空间变异性解析建模

由于IDW是一种确定性插值方法, 且本研究在田间水平、垂直方向上数据较密集, 因此, 本研究重点讨论如何通过VRML建模实现IDW插值结果的三维可视化来解析土壤电导率的三维空间分布规律。

首先尝试采用IndexedFaceSet节点构建二维土壤电导率空间变异切片原型。栅格大小、研究区东西和南北方向长度、以及深度决定了面的数量, 将这些面集合起来就构成了二维插值切片。IndexedFaceSet节点通过连接三个点构建面; 由Coordinate节点定义点集, 并使用点的索引号构成相应的面。索引值为-1时, 表明当前连接的面已经结束, 下一个面连接即将开始。同样, 通过Appearance节点的颜色表征电导率。Coordinate节点固定水平栅格的拐角坐标集, 调整深度坐标即可实现不同深度的电导率空间变异切片的构建; 同理, 可从另外两个方向构建电导率的空间变异切片。将3个方向的切片叠加剖面样点模型构建的电导率三维切片模型如图2a所示, 调整切片位置后的切片模型如图2b所示。通过比较上述两个图像, 比较清晰地看出电导率随着土层深度的变化情况; 同理, 也可以调整设置, 进行其他方向的比较。

但是, 仅以传统的切片方式来表达土壤电导率在三维空间上的变异性远远不够, 因此, 本研究尝试采用IndexedFaceSet节点构建三维土壤电导率空间变异地柱 (Plume) 原型。地柱原型的原理和切片原型一致, 均是通过构建面来实现的, 建立的地柱模型如图2c所示。通过旋转、平移该地柱模型, 可从不同的视角观察电导率的空间变异规律, 为了更加直观地解析电导率在三维空间上的变异性, 本研究中分别构建电导率大于100、200、300 mS m^{-1}



注：（a）剖面电导率球体及切片模型；（b）电导率切片模型；（c-f）电导率地柱模型（电导率分别大于0、100、200、300 mS m^{-1} ）
 Note: (a) Profile EC spheres and section model, (b) EC section model, (c-f) EC plume, EC > 0, 100, 200 and 300 mS m^{-1} , respectively

图2 土壤电导率虚拟可视化建模三维空间解析模型（深度扩大50倍；坐标原点进行了平移处理）
 Fig. 2 Virtual visualized modeling of space analytic models of three dimensional variation of soil electrical conductivity (EC)
 (Depth was expanded by 50 times and origin of the coordinates was moved aside horizontally)

的地柱模型，通过比较图2d~图2f，可更加直观地解析电导率在三维空间上的变异规律，土壤电导率在东南角上最大，且随土层深度的增加而增加。

2.3 VRML模型网络发布

将上述模型保存为VRML标准wrl格式，通过嵌

入Cortona VRML Client 5.1插件可在本地或者远程IE浏览器中实现模型可视化，并对模型进行放大、缩小、平移、旋转等操作。

VRML建模文件通过HTML将三维模型文件嵌入在“十二五”国家科技支撑计划课题“现代农

村信息化关键技术研究及示范——浙江省示范区集成展示平台”进行网络发布 (<http://agri.zju.edu.cn/3d/>), 用户通过教育网网关访问滨海盐土三维土壤电导率空间变异性虚拟环境展示平台, 实现信息的共享。当用户第一次远程访问时, 会提示用户下载并安装Cortona VRML Client 5.1插件。

3 讨论

本研究通过控制球体、切片和地柱模型节点的坐标、电导率的大小、入视角角度等参数, 构建土壤电导率三维动态可视化虚拟现实模型, 可更加直观清晰地解析电导率的三维变异规律。通过动态分析, 还可以进一步观察到土壤电导率在西北角最小, 且沿田埂线周边电导率较田块中央小, 主要是由于田块周边的排水沟渠有利于土壤水分的排出, 土壤湿度相对小; 此外, 该田块西北向东南倾斜, 从西面引入河水洗盐通过总排进入杭州湾, 由于地形高处脱离海水影响时间早, 淋盐快, 而含盐地下水又不断地向低处流, 因此1m土体原有含盐量, 低地要较高地高73%~186%^[14]。

利用VRML创建逼真的三维虚拟场景, 它改变了传统的二维界面状态, 实现了三维动画效果。但是, 本研究中动态可视化分析界面需要借助第三方平台来实现, 还无法实现用户与模型之间的交互式操作。在今后的研究中可结合Java等编程语言^[15], 进一步提升VRML模型的人机交互、查询等功能, 使得人机交互更加方便、灵活, 使虚拟世界的真实性、交互性和动态性得到了更充分的体现。

4 结论

本研究以浙江省围垦海涂土壤盐分为例, 采用EM38电磁感应线性模型反演土壤剖面0~1.1m范围内10个土层深度的土壤电导率作为三维空间变异性研究的数据源; 然后利用三维逆距离权重方法进行土壤盐分的三维空间插值; 最后分别采用VRML的球体、切片、地柱模型对电导率土壤剖面离散点、二维空间变异切片、三维变异土体模型进行三维虚拟可视化建模, 并实现模型的网络发布。结果表明, 土壤电导率的最大值、最小值等5个统计参数均随着土层深度的增加而增加; 剖面电导率球体模型、二维切片模型、三维土柱模型以及模型的三维

动态可视化可较好地展示和解析土壤电导率的三维变异规律: 西北角电导率最低, 而东南角电导率最高, 田块周边的排水沟渠有助于土壤水分的排除而使得田块周边的电导率小于田块中央的电导率。通过网络发布, 用户可用IE浏览器远程访问建立的三维虚拟现实模型, 对模型进行平移、放大、缩小、旋转等基本操作。在今后的研究中, 可进一步结合Java等其他编程语言, 进一步提升VRML模型的人机交互、查询等功能。VRML虚拟建模方法可为土壤属性的三维可视化建模及网络共享提供新途径。

参考文献

- [1] 汪晖, 陶然. 论土地发展权转移与交易的“浙江模式”——制度起源、操作模式及其重要含义. 管理世界, 2009(8): 39—52. Wang H, Tao R. On the “Zhejiang Model” of land development rights transfer—Institutional origin, operational mode and its significant implications (In Chinese). Management World, 2009(8): 39—52
- [2] 李洪义, 史舟, 吴次芳, 等. 基于EM38的滨海盐土剖面电导率原位测定研究. 土壤学报, 2013, 50(6): 1231—1235. Li H Y, Shi Z, Wu C F, et al. EM38-based in-situ determination of electrical conductivity of coastal saline soil in profile (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2013, 50(6): 1231—1235
- [3] Castrignano A A, maiorana F M, Fornaro N F. 3D spatiality of soil strength and its change over time in a durum wheat filed in southern Italy. Soil & Tillage Research, 2002, 65: 95—108
- [4] Nash M H, Daugherty L A, Wierenga P J, et al. Horizontal and vertical kriging of soil properties along a transect in southern New Mexico. Soil Science Society of America Journal, 1988, 52: 1086—1090
- [5] Meirvenne M V, Maes K, Hofman G. Three-dimensional variability of soil nitrate-nitrogen in an agricultural field. Biology Fertility of Soils, 2003, 37: 147—153
- [6] Li H Y, Shi Z, Richard W, et al. Mapping the three-dimensional variation of soil salinity in a rice-paddy soil. Geoderma, 2013, 195/196: 31—41
- [7] 吴亚坤, 刘广明, 杨劲松, 等. 基于反距离权重插值的土壤盐分三维分布解析方法. 农业工程学报, 2013, 29(3): 100—106. Wu Y K, Liu G M, Yang J S, et al. Interpreting method of regional soil salinity 3D distribution based on inverse distance weighting (In Chinese). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(3): 100—106

- [8] Triantafilis J, Monteiro Santos F A. Resolving the spatial distribution of the true electrical conductivity with depth using EM38 and EM31 signal data and a laterally constrained inversion model. *Australian Journal of Soil Research*, 2010, 48: 434—446
- [9] 李培军. 层状地质体的三维模拟与可视化. *地学前沿*, 2000, 7: 271—277. Li P J. Three dimensional modeling and visualization for stratified geological objects (In Chinese). *Earth Science Frontiers*, 2000, 7: 271—277
- [10] Grunwald S, Barak P. The use of VRML for virtual soil landscape modeling. *Systems Analysis Modelling Simulation*, 2001, 41: 755—776
- [11] Grunwald S, Barak P. 3D geographic reconstruction and visualization techniques applied to land resource management. *Transactions in GIS*, 2003, 7 (2) : 231—241
- [12] Hendrickx J M H, Borchers B, Corwin D L, et al. Inversion of soil conductivity profiles from electromagnetic induction measurements: Theory and experimental verification. *Soil Science Society of American Journal*, 2002, 66: 673—685
- [13] Franke R. Scattered data interpolation: Tests of some methods. *Mathematics of Computation*, 1982, 38 (157) : 182—200
- [14] 董炳荣. 浙江新围海涂农业综合开发技术. 北京: 中国农业科技出版社, 1996: 46—47. Dong B R. Technique for comprehensive agricultural development in the seaside of Zhenjiang Province (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1996: 46—47
- [15] 吴华瑞, 钟熙, 赵春江, 等. 农村社区动态交互式三维虚拟漫游系统的实现. *农业工程学报*, 2008, 24 (2) : 176—180. Wu H R, Zhong X, Zhao C J, et al. Realization of the dynamic interactive 3D virtual wandering system in the rural community based on VRML (In Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24 (2) : 176—180

VRML-BASED VIRTUAL REALITY MODELING OF THREE DIMENSIONAL VARIATION OF SOIL ELECTRICAL CONDUCTIVITY

Li Hongyi^{1, 2} Gu Chengjian¹ Dan Chenglong¹ Shi Zhou^{2†}

(1 School of Tourism and Urban Management, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330013, China)

(2 College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract During the past 40 years, more than 400 000 hm² of the tide flat in the Yangtze River delta of China have been reclaimed for agriculture. The polders must be washed to have the salt in the soil leached away before they can be used to grow rice. However, strong evapotranspiration brings salt back from deep soil layers, and the salt accumulates in the root-zone (0 ~ 1 m). So accurate three-dimensional soil salt maps can serve as decision-making basis for rice farmers of the polders to work out rational cultivation programs. So far little has been reported on three-dimensional space variability of soil salts and most of the researches in this field at home and abroad are using two-dimensional space variation maps to express three-dimensional space variability. How to express three-dimensional space variability of soil properties is a challenge to the traditional soil profile sampling, space variation analysis and three-dimensional visualized expression. In this project, the paddy field in the polder of Zhejiang Province was cited as a case of study. First, apparent electrical conductivity (ECa) of the paddy field was measured using an EM38 from different heights above the ground and then a linear model coupled with the Tikhonov regularization method was used to inverse electrical conductivities at 10 different soil depths of a profile of 0 ~ 110 cm. The data gathered from the 56 soil profiles in the field were used as basis in the study on three-dimensional space variability of soil salinity. Then, the soil ECa was interpolated three-dimensionally on a field scale using the Three-dimensional Inverse Distance Weighting (3D-IDW) method. In the end, the sphere, section and plume models of the Virtual

Reality Modeling Language (VRML) were used separately to build soil electrical conductivity virtual reality visualized models for scattered electrical conductivity points on profiles, sections of two dimensional space variation at the horizontal and vertical directions and three-dimensional soil solum model, and eventually to realize distribution of VRML models on the internet (<http://agri.zju.edu.cn/3d/>). The descriptive statistics of profile soil salinity shows that the minimum, median and maximum values of EC all increased with soil depth. On the field scale, 3D-IDW is a fairly good method for prediction and interpolation of three-dimensional space distribution of soil EC, and VRML is a good one, too, for visualized modeling to exhibit and analyze three-dimensional space distribution laws of soil EC. Horizontally, soil salinity increased gradually from the northwest to the southeast of the field, and vertically, it did with soil depth. Soil salinity was the highest in the southeast corner of the field. The spatial distribution of soil salinity is true, The drainage ditches around of the field helped drain soil water from the field, lowering the soil humidity. Besides, the field declined from northwest to southeast in topography. River water was led into the field in the west to wash soil salt and drained through the trunk into the Hangzhou Gulf. As the northwest corner was higher in topography, it got free of the impact of sea water earlier and soil salt therein was easily leached off, while salt-containing groundwater flew continuously toward the lower southeast corner. Users can access the website for VRML models, and do some basic operations, such as pan, zoom in, zoom out and rotation, to the VRML models. With the aid of EM38, 3D-IDW and VRML it is feasible to plot visualized three-dimensional soil properties space variability maps, which can be shared via network.

Key words Electrical conductivity; EM38; Three-dimensional variation; Three-dimensional IDW; Virtual reality modeling language

(责任编辑: 檀满枝)

CONTENTS

Reviews and Comments

A review of study on microbial ecology of nitrite-dependent anaerobic methane oxidation Shen Lidong (721)

Soil Science and Modern Agriculture

- Spatio-temporal variation of total N content in farmland soil of Jiangxi Province in the past 30 years Zhao Xiaomin, Shao Hua, Shi Qinghua, et al. (730)
- Early warning of heavy metals potential risk governance in Beijing Jiang Hongqun, Wang Binwu, Liu Xiaona, et al. (745)
- Effect of deep application of straw on composition of humic acid in soil aggregates Zhu Shu, Dou Sen, Chen Lizhen (758)
- Effect of biochar application on pakchoi (*Brassica chinensis* L.) utilizing nitrogen in acid soil Yu Yingliang, Xue Lihong, Yang Linzhang, et al. (766)
- Effects of water and fertilizer on fruit yield of high-yielding clonal *Camellia oleifera* Abel Zhang Wenyuan, Guo Xiaomin, Tu Shuping, et al. (774)

Research Articles

- VRML-based virtual reality modeling of three dimensional variation of soil electrical conductivity Li Hongyi, Gu Chengjian, Dan Chenglong, et al. (781)
- Effect of number of sampling sites on characterization of spatial variability of soil organic matter Hai Nan, Zhao Yongcun, Tian Kang, et al. (790)
- Research on soil water movement based on stable isotopes Jin Yurong, Lu Kexin, Li Peng, et al. (800)
- Basic NPK fertilizer recommendation and fertilizer formula for maize production regions in China Wu Liangquan, Wu Liang, Cui Zhenling, et al. (816)
- Effects of fertilization on soil organic carbon and distribution of SOC in aggregates in tidal flat polders Hou Xiaojing, Yang Jingsong, Wang Xiangping, et al. (827)
- Effect of long-term fertilizer application on distribution of aggregates and aggregate-associated organic carbon in paddy soil Mao Xiali, Lu Kouping, He Lizhi, et al. (837)
- Effects of biochar on N₂O and CH₄ emissions from paddy field under rice-wheat rotation during rice and wheat growing seasons relative to timing of amendment Li Lu, Zhou Ziqiang, Pan Xiaoqian, et al. (847)
- Effects of successive application of crop-straw biochar on crop yield and soil properties in cambosols Liu Yuan, M. Jamal Khan, Jin Haiyang, et al. (857)
- Calculation of thickness of shear plane in diffuse double layer of constant charge soil colloid in single electrolyte system Ding Wuqun, Zhu Qihong, Wang Lei, et al. (867)
- Effect of chemical leaching remedying chromium contaminated soil in deserted chemical plant site Li Shiye, Cheng Jiemin (877)
- Limiting factors for restoration of dumping sites of ionic rare earth mine tailings Liu Wenshen, Liu Chang, Wang Zhiwei, et al. (887)
- Residues of organochlorine pesticides in soils of Liaodong and Shandong Peninsulas Zhu Yingyue, Liu Quanyong, Li He, et al. (900)
- Long-term application of winter green manures changed the soil microbial biomass properties in red paddy soil Gao Songjuan, Cao Weidong, Bai Jinshun, et al. (909)
- Effects of intercropping with leguminous crops on tomato yield, soil nutrients and enzyme activity Dai Huihui, Hu Xuefeng, Cao Mingyang, et al. (917)

Research Notes

- Relationship of free amino acids in root exudates with wilt disease (*Fusarium oxysporum*) of faba bean Dong yan, Dong Kun, Tang Li, et al. (924)
- Effects of intercropping of wheat and faba bean on diversity of metabolic function of rhizosphere fungal community Hu Guobin, Dong Kun, Dong Yan, et al. (933)
- Evolvement of structure and abundance of soil nitrogen-fixing bacterial community in *Phyllostachys edulis* plantations with age of time He Donghua, Shen Qiulan, Xu Qiufang, et al. (941)
- Effect of long-term fertilization on carbon sequestration in lime concretion black soil relative to fertilization pattern Li Wei, Kong Lingcong, Zhang Cunling, et al. (949)
- Effects of interplanting grass on utilization, loss and accumulation of ¹⁵N in apple orchard Peng Ling, Wen Zhao, An Xin, et al. (955)

Cover Picture: Full view of ionic rare earth mine desert (by Tang Yetao, Liu Wenshen)

《土壤学报》编辑委员会

主 编：史学正

执行编委：(按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任：陈德明

责任编辑：汪枳生 卢 萍 檀满枝

土 壤 学 报

Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 52 卷 第 4 期 2015 年 7 月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 4 July, 2015

编 辑 《土壤学报》编辑委员会
地址:南京市北京东路71号 邮政编码:210008
电话:025-86881237
E-mail:actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China
Tel: 025-86881237
E-mail:actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正
主 管 中 国 科 学 院
主 办 中 国 土 壤 学 会
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng
Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Soil Science Society of China
Undertaken by Institute of Soil Science,
Chinese Academy of Sciences

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

印刷装订 北京中科印刷有限公司
总发行 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717
电话:010-64017032
E-mail:journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company
Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China
Tel: 010-64017032
E-mail:journal@mail.sciencep.com

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

国内统一刊号:CN 32-1119/P

国内邮发代号:2-560

国外发行代号:BM45

定价:60.00元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929

