

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第11期

Vol.33 No.11

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

京津冀与长三角区域大气 NO₂ 污染特征 王英, 李令军, 刘阳 (3685)

2008~2011年夏季京津冀区域背景大气污染变化分析 杨俊益, 辛金元, 吉东生, 朱彬 (3693)

沧州市大气污染特征观测研究 王永宏, 胡波, 王跃思, 刘伟, 张武 (3705)

华北工业城市降水中金属元素污染特征及来源 李月梅, 潘月鹏, 王跃思, 王英锋, 李杏茹 (3712)

广州市交通主干道空气中苯系物的测量 叶丛雷, 谢品华, 秦敏, 凌六一, 郑尼娜, 刘文彬, 黄祖照 (3718)

基于实时交通信息的道路机动车动态排放清单模拟研究 黄成, 刘娟, 陈长虹, 张健, 刘登国, 朱景瑜, 黄伟明, 巢渊 (3725)

柴油轿车燃用煤基 F-T 合成油的排放特性 胡志远, 程亮, 谭丕强, 楼狄明 (3733)

九龙江口滨海湿地生源要素空间分布特征 余小青, 杨军, 刘乐冕, 田原, 余正, 王昌付 (3739)

南四湖水体氮、磷营养盐时空分布特征及营养状态评价 舒凤月, 刘玉配, 赵颖, 吴艳鹏, 李爱华 (3748)

天目湖流域湿地对氮磷输出影响研究 李兆富, 刘红玉, 李恒鹏 (3753)

北京市新建城区不透水地表径流 N、P 输出形态特征研究 李立青, 吕书丛, 朱仁肖, 刘泽权, 单保庆 (3760)

云阳宗海神的分布与来源 张玉玺, 向小平, 张英, 陈玺, 刘景涛, 王金翠, 张媛静, 孙继朝 (3768)

南方某城市地表水体中粪源性污染指示微生物的分布特征研究 孙傅, 沙婧, 刘彦华 (3778)

三峡库区大宁河藻细胞昼夜垂直迁移研究 张永生, 郑丙辉, 姜霞, 郑浩, 钟娜, 陈春宵 (3787)

江淮农村生态型排水系统构建及截污作用研究 单保庆, 李楠, 唐文忠 (3797)

人工湿地植物床-沟壕系统水质净化效果 汪仲琼, 张荣斌, 陈庆华, 魏宏斌, 王为东 (3804)

潜流人工湿地演变对废水中有机物、氮及磷去除的影响 魏泽军, 谢建平, 黄玉明 (3812)

人工湿地处理含盐生活污水的特性研究 高峰, 杨朝晖, 李晨, 金卫红, 邓一兵 (3820)

催化湿式氧化法降解水中的 β -萘酚 刘杰, 于超英, 赵培庆, 陈革新 (3826)

ZVI/EDDS/Air 体系降解水中 2,4-二氯酚的研究 孙倩, 周海燕, 曹梦华, 吴琳娜, 王琳玲, 陈静, 陆晓华 (3833)

微波改性 MWNTs/TiO₂ 复合材料对 1,2,3-三氯苯的光催化降解研究 施周, 张茜, 张伟, 徐舜开, 张骅 (3840)

腐殖酸对生物炭去除水中 Cr(VI) 的影响机制研究 丁文川, 田秀美, 王定勇, 曾晓岚, 徐茜, 陈健康, 艾小雨 (3847)

臭氧氧化-活性污泥法处理含 PVA 工业废水的试验研究 邢晓琼, 黄程兰, 刘敏, 陈滢 (3854)

复合底物对颗粒化 EBPR 系统除磷特性的影响及优化试验研究 徐少娟, 孙培德, 郑雄柳, 董毅 (3859)

进水比例对水解反应器出水水质的影响研究 梁康强, 熊娅, 戚茂荣, 林秀军, 朱民, 宋英豪 (3868)

厌氧-准好氧联合型生物反应器填埋场渗滤液水质水量变化规律的研究 韩智勇, 刘丹, 李启彬, 陈馨 (3873)

我国城市污水处理回用调查研究 郭宇杰, 王学超, 周振民 (3881)

快雌醇和壬基酚在土壤中的吸附-解吸特征 姜鲁, 王继华, 李建忠, 辛佳, 李森, 刘翔 (3885)

黄土丘陵区刺槐林深层土壤有机碳矿化特征初探 马昕昕, 许明祥, 杨凯 (3893)

半干旱黄土丘陵区土壤结皮的地表水文效应 卫伟, 温智, 陈利顶, 陈瑾, 吴东平 (3901)

广西大石围巨型漏斗土壤中多环芳烃与环境因素 孔祥胜, 祁士华, 蒋忠诚, 黄保健 (3905)

酸性条件下黄铁矿氧化机制的研究 王楠, 易筱筠, 党志, 刘云 (3916)

淋洗条件下砂土和粉土水盐运移过程的监测研究 付腾飞, 贾永刚, 郭磊, 刘晓磊 (3922)

空气注射修复苯污染地下水模拟研究 樊艳玲, 姜林, 张丹, 钟茂生, 贾晓洋 (3927)

不同终点检测 5 种双酚 A 类化合物对 MCF-7 的细胞毒性 张帅帅, 刘堰, 刘树深, 朱祥伟 (3935)

上海世博园后滩湿地糙足类群落特征及其对环境因子的响应 陈立婧, 吴艳芳, 景钰湘, 王聪, 张饮江 (3941)

耐盐石油烃降解菌的筛选鉴定及其特性研究 吴涛, 谢文军, 依艳丽, 李小彬, 王君, 胡相明 (3949)

高效降酚菌株 *Ochrobactrum* sp. CH10 生长动力学和苯酚降解特性的研究 陈晓华, 魏刚, 刘思远, 孙江曼, 王芳芳, 李昊源, 刘宇军 (3956)

四溴双酚 A 好氧降解菌的筛选及其降解特性研究 钱艳园, 刘莉莉, 于晓娟, 丁丛, 王志平, 施玉衡, 李晨君 (3962)

长期施用有机和无机肥对黑土 *nirS* 型反硝化菌种群结构和丰度的影响 尹昌, 范分良, 李兆君, 宋阿琳, 朱平, 彭畅, 梁永超 (3967)

三氯乙烯在不同土壤中的吸附特性及其影响因素研究 何龙, 邱兆富, 吕树光, 逯志昌, 王治立, 隋倩, 林匡飞, 刘勇弟 (3976)

多菌灵在农田土壤中的降解及其影响因子研究 肖文丹, 杨肖娥, 李廷强 (3983)

硫化物对垃圾焚烧污泥焚烧飞灰高温过程中重金属挥发的影响 刘敬勇, 孙水裕 (3990)

关于医疗垃圾飞灰中二噁英在惰性气氛下的低温热脱附研究 纪莎莎, 李晓东, 徐旭, 陈彤 (3999)

第七届环境模拟与污染控制学术研讨会论文

稻田气溶胶 NH₃ 和气体 NO_x 排放在线测定研究 龚巍巍, 栾胜基 (4006)

一种可同时检测挥发性氯代烷烃和氯代烯烃的电子鼻的研制 文晓刚, 刘锐, 蔡强, 万梅, 汤灵容, 陈吕军 (4012)

基于被动采样技术的垃圾焚烧厂及周边大气中 PAHs 分布研究 孙少艾, 李洋, 周轶, 王海蛟, 孙英 (4018)

涪江流域农业非点源污染空间分布及污染源识别 丁晓雯, 沈珍瑶 (4025)

人工湿地不同区域基质磷含量的差异分析 曹雪莹, 种云霄, 余光伟, 仲海涛 (4033)

基于 RT-qPCR 选择性检测水中活性病原菌 林怡雯, 李丹, 吴舒旭, 何苗, 杨天 (4040)

消毒副产物生成的温度影响和动力学模型 张小璐, 杨宏伟, 王小任, 付静, 解跃峰 (4046)

一种厌氧微定量研究新方法 张仲良, 吴静, 蒋剑凯, 姜洁, 李怀志 (4052)

梧桐树叶作为反硝化碳源的研究 熊剑锋, 徐华, 阎宁, 张永明 (4057)

降解嗜盐菌 AD-3 的筛选、降解特性及加氧酶基因的研究 崔长征, 冯天才, 于亚琦, 董斐, 杨昕梅, 冯耀宇, 刘勇弟, 林汉平 (4062)

《环境科学》征订启事 (3711) 《环境科学》征稿简则 (3767) 信息 (3998, 4039, 4045, 4056) 专辑征稿通知 (4051)

淋洗条件下砂土和粉土水盐运移过程的监测研究

付腾飞¹, 贾永刚^{1,2}, 郭磊¹, 刘晓磊¹

(1. 中国海洋大学海洋环境与生态教育部重点实验室, 青岛 266100; 2. 中国海洋大学环境岩土工程研究所, 青岛 266100)

摘要: 土壤水盐运移过程和运移机制研究是盐渍土研究的核心问题, 淋洗条件下土壤水盐运移动态规律是研究盐渍土形成、冲洗、排水、改良的理论基础。通过室内一维垂直入渗试验, 采用自主研发的电阻率监测装置研究了砂土和粉土在淋洗过程中的水盐运移的动态变化特征。结果表明, 监测装置的实时数据能够监测到两种土壤淋洗过程中电阻率峰值的下移和逐渐消失的过程, 在每次淋洗后, 砂土经过 30 min 达到水盐平衡, 而粉土需要 70 min。砂土每次淋洗脱盐的深度基本保持一致, 约为 35 cm, 经过 3 次淋洗后土柱脱盐; 粉土每次淋洗脱盐深度约为 10 cm, 经过 7 次淋洗后土柱脱盐。该监测装置可以针对不同土壤水盐运移的速率而设置其时间和空间分辨率从而实现水盐运移的远程、原位、动态监测, 为盐渍化的监测、评估和预警提供了一种有效的手段。

关键词: 水盐运移; 监测; 粉土; 砂土; 淋洗; 电阻率

中图分类号: X833 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)11-3922-05

Monitoring of Water and Salt Transport in Silt and Sandy Soil During the Leaching Process

FU Teng-fei¹, JIA Yong-gang^{1,2}, GUO Lei¹, LIU Xiao-lei¹

(1. Key Laboratory of Marine Environmental Science and Ecology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2. Institute of Geo-Environmental Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: Water and salt transport in soil and its mechanism is the key point of the saline soil research. The dynamic rule of water and transport in soil during the leaching process is the theoretical basis of formation, flush, drainage and improvement of saline soil. In this study, a vertical infiltration experiment was conducted to monitor the variation in the resistivity of silt and sandy soil during the leaching process by the self-designed automatic monitoring device. The experimental results showed that the peaks in the resistivity of the two soils went down and faded away in the course of leaching. It took about 30 minutes for sandy soil to reach the water-salt balance, whereas the silt took about 70 minutes. With the increasing leaching times, the desalination depth remained basically the same, being 35 cm for sandy soil and 10 cm for the silt from the top to bottom of soil column. Therefore, 3 and 7 leaching processes were required respectively for the complete desalination of the soil column. The temporal and spatial resolution of this monitoring device can be adjusted according to the practical demand. This device can not only achieve the remote, in situ and dynamic monitoring data of water and salt transport, but also provide an effective method in monitoring, assessment and early warning of salinization.

Key words: soil water and salt transport; monitoring; silt; sandy soil; leach; resistivity

滨海盐渍土是我国重要的后备土地资源, 山东省拥有大量的滨海盐渍土, 主要分布在黄河三角洲及莱州湾沿岸^[1, 2]。土壤的高含盐量是其土地利用的重要限制因素之一, 而淋洗洗盐是改良盐渍土的重要措施之一^[3~5]。在我国山东、江苏和辽宁等地区, 滨海盐渍土一般为砂质和粉砂质的土壤^[6]。本研究在排水洗盐的室内控制条件下, 有效地模拟了粉土和砂土 2 种土壤在淋洗条件下土壤盐分的变化, 利用自制的电阻率探杆对盐分变化过程进行了动态监测研究, 探讨对比了 2 种土壤在淋洗过程中盐分变化的规律及其淋洗后的脱盐效果的不同, 旨在为不同土壤类型的盐渍土水盐运移研究提供一种监测方法和手段。

1 材料与方法

1.1 供试土样

室内土柱试验所用的土壤来自黄河河口地区典型地带, 为发育在黄河冲积物上的粉土和青岛岸滩的砂土, 在进行土壤颗粒组成分析中, 对于粒径 > 0.1 mm 的土粒采用筛分法, 而对于粒径 < 0.1 mm 的土粒采用精度较高的密度计法。测定的结果如表 1 所示。

收稿日期: 2012-01-10; 修订日期: 2012-03-12

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2008AA09Z109); 国家自然科学基金项目(40876042, 41072215)

作者简介: 付腾飞(1985~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为水盐动态模拟及盐渍化预测预报, E-mail: bingxuan0513@163.com

表 1 供试土壤的机械组成分析

Table 1 Basic properties of test soil

土壤类型	颗粒组成/%						
	0.5 ~ 2 mm	0.25 ~ 0.5 mm	0.25 ~ 0.075 mm	0.075 ~ 0.05 mm	0.05 ~ 0.01 mm	0.01 ~ 0.005	< 0.005 mm
细粒土		0	7.1	53.9	21.1	2.6	15.3
砂土	5.7	17.2	76.1	1	0	0	0

由表 1 结果可知供试土壤分别为细粒土与砂土,其中细粒土的塑性指标 $I_p = 9.8$,根据细粒土分类(GBJ 7-89)可知,该细粒土为黏质粉土,即 2 种供试土壤分别为粉土与砂土。

1.2 电阻率监测装置

本研究课题支持所研制的电阻率自动监测装置以温纳法为理论基础,采用连续四电极法布设方式对土壤垂向的电阻率进行传感监测,然后将采集信号进行储存、发射、接收、分析,从而实现土壤水盐运移的远程、原位、动态的监测。

监测装置主要包括由电极铜环和单元模块插拔组成的探杆和装有中央控制单元、数据采集模块、海量存储模块、数据传输模块和电源模块等的的数据采集传输控制舱。测量时在中央控制单元控制下,从监测装置底部的电极开始,首先由第 1、4 电极充当供电电极 AB,第 2、3 电极充当测量电极 MN,测量这一位置的电阻率,而后第 2、5 电极为供电电极 AB,第 3、4 电极为测量电极 MN,依次向上推进,由数据采集控制芯片控制电极自下至上进行循环采集实现土壤垂直方向上电阻率的动态测量,采集的数据存储至自容式存储器,并通过信号转换由 GPRS 模块进行远程传输,从而实现水盐运移的远程原位动态监测。监测装置的示意图如图 1 所示。

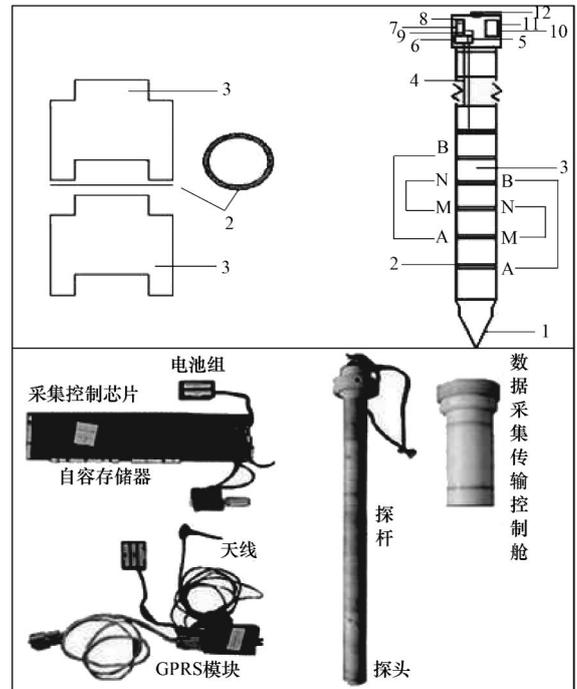
1.3 试验方法

分别制备饱水条件下不同含盐量的粉土和砂土,采用电阻率探杆进行测量,绘制不同盐度下 2 种土壤的电阻率曲线,得到 2 种土壤的电阻率与含盐量的相关关系。

供试土壤经自然风干后,磨细,去杂,过 1 mm 筛并搅拌混合均匀。填装土柱时,根据田间土壤实际密度控制模拟土柱的土壤密度为 $1.33 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

土柱选用长 1 m,直径为 16 cm 的硬质塑料管,填装土柱时,首先在土柱下部铺设石英砂反滤层 5 cm,然后将监测传感装置垂直装入土柱内,分层填装供试土壤并向土柱浇灌蒸馏水,使得土壤水分含量近似达到田间水分状态。

试验装置安装结束后,开始采集观测土柱原始电阻率曲线。待土壤淋洗 48 h 达到田间持水量,土柱电阻率曲线基本稳定时,从土柱上方灌溉蒸馏水



1. 锥头; 2. 电极铜环; 3. 单元模块; 4. 导线; 5. 中央控制单元; 6. 数据采集装置; 7. 自容式存储装置; 8. 实时时钟模块; 9. 电源; 10. 自动控制记录装置舱; 11. 发射装置; 12. 密封装置

图 1 监测装置示意

Fig. 1 Schematic diagram of the monitoring device

1 000 mL 使其垂直入渗,观测淋洗过程中土柱电阻率的动态变化,24 h 后重复上述步骤,直至土柱完全脱盐。

1.4 测定方法

总盐采用重量法测定,盐离子由离子色谱仪测定。土壤浸出液电导率、pH 分别采用电导率仪和土壤酸度计测定,土柱电阻率由电阻率监测装置测定。

2 结果与讨论

2.1 电阻率与含盐量的相关性分析

土壤总含盐量是衡量土壤盐渍化的重要指标之一,土壤盐度与电导率之间又存在着良好的线性相关关系^[7,8]。为了验证本套监测装置的电阻率读数与含盐量的关系,制备了 2 种土壤的不同含盐量下的饱水土样,采用电阻率监测装置进行测量,电阻率和含盐量的相关曲线如图 2 所示。

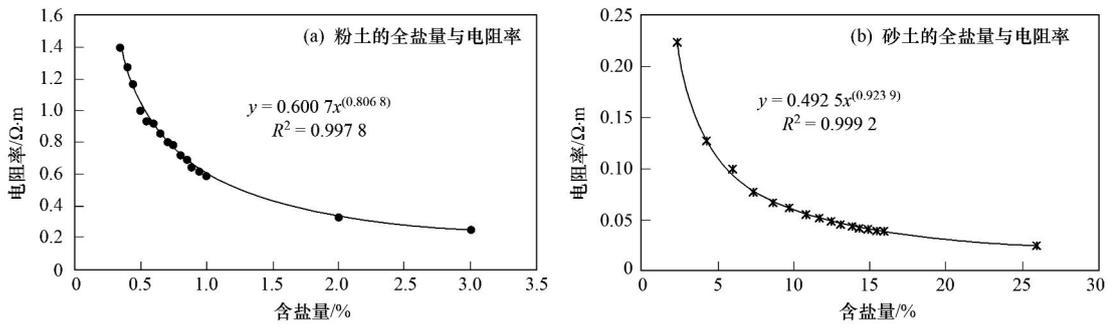


图 2 全盐量与电阻率相关关系曲线

Fig. 2 Curve and correlation of each soil index

从图 2 中可以看出,不论在粉土还是砂土中电阻率与含盐量都呈显著的乘幂关系,粉土的电阻率与含盐量拟合曲线方程为: $y = 0.6007x^{0.8068}$, $R^2 = 0.9978$; 砂土的电阻率与含盐量拟合曲线方程为: $y = 0.4925x^{0.9239}$, $R^2 = 0.9992$,说明本套监测装置对于土壤水盐运移的监测数据是切实可行的。

根据滨海岩土土种划分指标可知,当滨海盐渍土的全盐量 $< 0.1\%$ 时为完全脱盐,本试验供试土样的全盐量为 0.1% 时,粉土对应电阻率监测装置读数为 $7.39 \Omega \cdot m$,砂土对应的电阻率监测装置读数为 $27.30 \Omega \cdot m$,因此当粉土监测读数 $> 7.39 \Omega \cdot m$,砂土监测读数 $> 27.30 \Omega \cdot m$ 时,代表土样完全脱盐。

2.2 水盐运移动态过程的监测

土柱一维垂直入渗过程中水盐的运移是一个非常复杂的过程. 水盐的运移是在毛细管作用力与重

力同时作用下进行的,在水盐运移过程中不仅发生离子交换与吸附作用,同时也会有离子解析作用的伴随发生^[9~11]. 在淋洗过程中土柱内盐分重新分布,其电阻率信息也随着盐分的变化而发生动态变化。

在本试验中对 2 种土壤的水盐运移过程进行了实时监测研究:在土柱填装 24 h 后第一次浇灌蒸馏水,监测淋洗过程中土柱垂直方向上电阻率的实时变化,绘制粉土淋洗后 30、60、90 和 120 min 以及砂土淋洗后 10、20、30 和 40 min 后土柱电阻垂直方向上的电阻率曲线,如图 3。

从图 3 中可以看到,粉土的原始土柱电阻率曲线本身就存在峰值,这是因为供试土样取自黄河三角洲盐渍土典型地区,含盐量较高^[12,13]. 在填装土柱时,由于是分层填装并浇灌蒸馏水因此相当于在

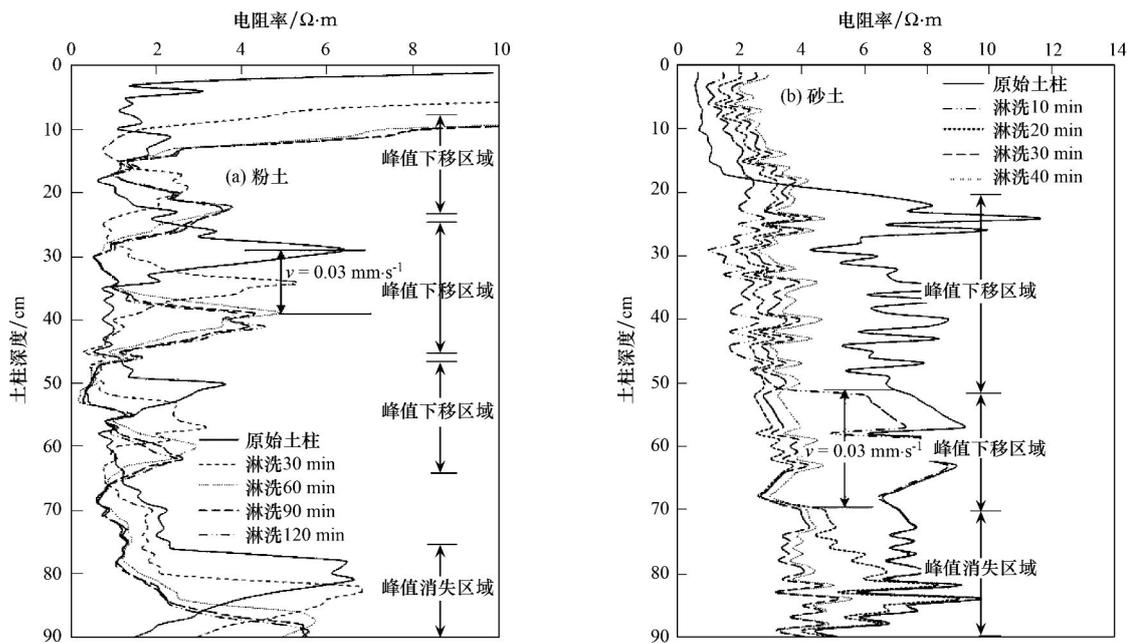


图 3 淋洗过程电阻率变化曲线

Fig. 3 Variation of soil resistivity in the leaching process

每层土样上部进行了一次淋洗,盐分随着淋洗水下移,从而在分层填装处出现了电阻率峰值.而砂土由于渗透性较好,在填装土柱时为一次填装,因此较粉土而言,没有分层进行淋洗,所以砂土的原始土柱电阻率曲线较为平缓.

粉土土柱的电阻率峰值(除表层土壤外)在淋洗后向土柱底部运移,这是由于“盐随水来,盐随水去”,当盐分随水下移至原电阻率峰值处时被吸附在此处,因此此处峰值消失,而原峰值下部土壤因峰值上方运移的盐分被吸附在峰值处,此处的盐分又被淋溶到水中继续下移,因此此处的含盐量降低,重新形成电阻率峰值,因而峰值下移^[14].土壤表层的电阻率峰值由于没有上部盐分的补给,峰值处的盐分一直处于淋洗下移的过程,因此电阻率不断变大.当峰值下移至土柱底部时,盐分随水分从土柱底部渗出,因此电阻率峰值出现逐渐消失的区域.

砂土土柱的电阻率曲线则是呈现在淋洗后土柱电阻率由上至下逐渐变小,这是由于砂土的吸附性较弱,在淋洗过程中砂土中的盐更多地被溶解在水中并在重力的作用下随着水分不断向下迁移,因此含水率对于砂土电阻率的影响更为明显.在淋洗后土柱上方的土壤达到饱和,因此电阻率较低,随着水分的向下迁移,土柱的依次从上到下到达了饱和,

电阻率峰值不断下移.

尽管水盐运移机制不同^[15-18],但是2种土壤在淋洗后电阻率峰值都向土柱底部运移并出现了峰值的下移和消失区域,且水盐运移速率趋缓^[19-22].由监测数据可以看出,在淋洗后粉土经过约70 min后,电阻率峰值不再下移,土柱内水盐基本平衡,而砂土则只需要30 min.在淋洗后相同的时间间隔内,电阻率峰值下移的距离亦是变小,因此从监测曲线上可以看出水盐运移速率随时间趋缓的趋势.由监测曲线盐峰下移的距离计算可得出在第一次淋洗达到水盐平衡时2种土壤水盐运移的平均速率,其中粉土的平均速率为: $0.03 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$,砂土的平均速率为: $0.33 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$,砂土的运移速率约为粉土的10倍,因而本监测装置针对不同类型土壤的水盐运移速率不同,可以设置装置的时间分辨率,从而实现不同土壤的水盐动态运移过程以及分布特征监测研究.

2.3 淋洗效果监测分析

对于盐渍土而言,土壤盐离子一般随着土壤水分的运动而运移,在一维垂直入渗这个淋洗过程中,土柱是由上层土壤开始依次向下发生脱盐过程^[2].每次淋洗土柱24 h后绘制其电阻率曲线,重复上述淋洗步骤,直至土柱完全脱盐,淋洗后土柱盐分分布如图4所示.

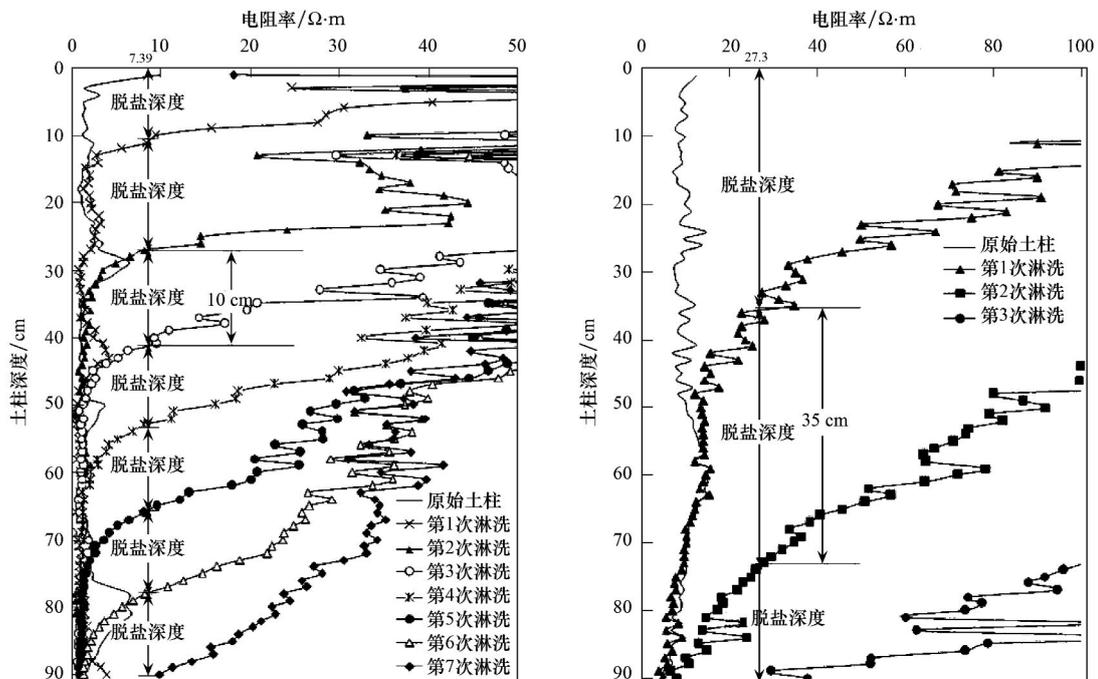


图4 不同淋洗次数土柱电阻率变化曲线

Fig. 4 Variation of soil resistivity in the leaching process at different leaching times

从图4的连续监测曲线中可以看出,随着淋洗次数的增加,粉土和砂土的土柱电阻率值从土柱上

层开始逐渐变大,即脱盐过程从土柱上层逐步向下发生^[23-26].每次淋洗之后2个土柱淋洗脱盐的深

度基本保持不变,粉土每次的脱盐深度约为 10 cm,而砂土每次的脱盐深度约为 35 cm. 经过 7 次后粉土土柱各处电阻率均大于 $7.39 \Omega \cdot \text{m}$,即粉土土柱已完全脱盐,而砂土只经过 3 次土柱电阻率就已经均大于 $27.30 \Omega \cdot \text{m}$,即砂土土柱完全脱盐. 说明砂土比粉土更容易脱盐,且土柱脱盐的深度由淋洗水量和土壤类型共同决定^[27~29].

因此可以针对不同土壤类型的脱盐速率不同,设置装置的空间分辨率,通过监测装置在淋洗过程中不同时刻不同深度土柱电阻率变化曲线,对淋洗后水盐分布规律进行研究,从而为水盐运移特征分析提供了有效的手段.

3 结论

(1)粉土和砂土的浸出液的含盐量与电阻率都呈现显著的乘幂关系,相关系数都能达到 0.99 以上,因此通过本套电阻率监测方法可以有效的获得盐渍土的含盐量指标.

(2)在一次固定水量的淋洗的过程中,2 种土壤的水盐运移的速率随着时间逐渐趋缓,且都产生了电阻率峰值的下移和逐渐消失阶段,根据实时电阻率曲线可以得出粉土和砂土的水盐运移速率不相同,砂土的运移速率约为粉土的 10 倍.

(3)在多次固定水量的淋洗过程中,2 种土壤在淋洗后盐渍土都从上部开始脱盐,并且相同淋洗水量土壤脱盐的深度基本保持不变;砂土比粉土更容易脱盐,更早实现土柱的完全脱盐.

(4)因此本套监测装置可以实现实时、原位、动态监测不同土壤类型的水盐运移,为盐渍化的监测、评估和预警提供了一种有效的手段.

参考文献:

- [1] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望[J]. 土壤学报, 2008, **45**(5): 837-845.
- [2] 冯永军, 陈为峰, 张蕾娜, 等. 滨海盐渍土水盐运动室内实验研究及治理对策[J]. 农业工程学报, 2000, **16**(3): 38-42.
- [3] 刘广明, 彭世彰, 杨劲松. 不同控制灌溉方式下稻田土壤盐分动态变化研究[J]. 农业工程学报, 2007, **23**(7): 86-89.
- [4] 姚荣江, 杨劲松. 黄河三角洲地区浅层地下水与耕层土壤积盐空间分异规律定量分析[J]. 农业工程学报, 2007, **23**(8): 45-51.
- [5] De Clercq W P, Van Meirvenne M, Fey M V. Prediction of the soil-depth salinity-trend in a vineyard after sustained irrigation with saline water[J]. *Agricultural Water Management*, 2009, **96**(3): 395-404.
- [6] 吴之正, 顾卫, 许映军, 等. 渤海滨海重黏性盐渍土淋溶过程中的盐碱变化[J]. 资源科学, 2010, **32**(3): 448-451.
- [7] 张瑜斌, 邓爱英, 庄铁诚, 等. 潮间带土壤盐度与电导率的关系[J]. 生态环境, 2003, **12**(2): 164-165.
- [8] Liu S Y, Du Y J, Han L H, *et al.* Experimental study on the electrical resistivity of soil-cement admixtures[J]. *Environmental Geology*, 2008, **54**(6): 1227-1233.
- [9] 石元春, 李韵珠, 陆锦文, 等. 盐渍土的水盐运动[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1986. 137-161.
- [10] 张玉斌, 郑粉莉, 曹宁. 近地表土壤水分条件对坡面农业非点源污染物运移的影响[J]. 环境科学, 2009, **30**(2): 376-383.
- [11] 王学锋, 尤文瑞, 王遵亲. 表层盐化土壤的灌溉淋洗需要量[J]. 土壤学报, 1994, **31**(2): 190-196.
- [12] Karpachevskii L O, Yakovleva L V, Fedotova A V. Soil salinization of the Baer Mounds in the Volga River delta[J]. *Eurasian Soil Science*, 2008, **41**(2): 135-139.
- [13] 邹平, 杨劲松, 福原辉幸, 等. 蒸发条件下土壤水盐热运移的实验研究[J]. 土壤, 2007, **39**(4): 614-620.
- [14] 张蕾娜, 冯永军, 张红. 滨海盐渍土水盐运移影响因素研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2001, **32**(1): 55-58.
- [15] 刘春卿, 杨劲松, 陈小兵, 等. 滴灌流量对土壤水盐运移及再分布的作用规律研究[J]. 土壤学报, 2007, **44**(6): 1016-1021.
- [16] 张林, 邵孝侯, 王振宇, 等. 不同蓄水时间下滨海盐土盐分淋失规律研究[J]. 灌溉排水学报, 2011, **30**(2): 51-54.
- [17] 刘春成, 李毅, 郭丽俊, 等. 微咸水灌溉对斥水土壤水盐运移的影响[J]. 农业工程学报, 2011, **27**(8): 39-45.
- [18] 孙博, 汪妮, 解建仓. 蓄水条件下土壤-水体水盐运移的室内试验[J]. 沈阳农业大学学报, 2009, **40**(2): 245-247.
- [19] 赵耕毛, 刘兆普, 陈铭达, 等. 海水灌溉滨海盐渍土的水盐运动模拟研究[J]. 中国农业科学, 2003, **36**(6): 676-680.
- [20] 杨艳, 王全九. 微咸水入渗条件下碱土和盐土水盐运移特征分析[J]. 水土保持学报, 2008, **22**(1): 13-19.
- [21] 刘亚男, 李取生, 杜焯锋, 等. 滩涂土壤淋洗过程中盐分变化及其对重金属的影响[J]. 环境科学, 2011, **32**(7): 2087-2091.
- [22] 罗金明, 邓伟, 张晓平, 等. 苏打盐渍土理化性质的微域特征及其对水盐运移的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2008, **34**(6): 669-676.
- [23] 李小刚, 曹靖, 李凤民. 盐化及钠质化对土壤物理性质的影响[J]. 土壤通报, 2004, **35**(1): 64-72.
- [24] 张余良, 王正祥, 廉晓娟, 等. 灌溉不同水质条件下滨海盐土脱盐动态的研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, **29**(2): 324-329.
- [25] 尹建道, 姜志林, 曹斌, 等. 滨海盐渍土脱盐动态规律及其效果评价——野外灌水脱盐模拟实验研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2002, **26**(4): 15-18.
- [26] 刘广明, 杨劲松, 姜艳. 江苏典型滩涂区地下水及土壤的盐分特征研究[J]. 土壤, 2005, **37**(2): 163-168.
- [27] 方生, 陈秀玲. 华北平原大气降水对土壤淋洗脱盐的影响[J]. 土壤学报, 2005, **42**(5): 730-736.
- [28] 刘贵群, 王思言, 宋涛, 等. 内蒙李井灌区土壤盐分运移规律分析[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2009, **39**(5): 999-1004.
- [29] 马东豪, 王全九, 苏莹, 等. 微咸水入渗土壤水盐运移特征分析[J]. 灌溉排水学报, 2006, **25**(1): 62-66.

CONTENTS

Characteristics of Atmospheric NO ₂ in the Beijing-Tianjin-Hebei Region and the Yangtze River Delta Analyzed by Satellite and Ground Observations	WANG Ying, LI Ling-jun, LIU Yang (3685)
Variation Analysis of Background Atmospheric Pollutants in North China During the Summer of 2008 to 2011	YANG Jun-yi, XIN Jin-yuan, JI Dong-sheng, <i>et al.</i> (3693)
Characteristics of Atmospheric Pollutants in Cangzhou	WANG Yong-hong, HU Bo, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (3705)
Chemical Characteristics and Sources of Trace Metals in Precipitation Collected from a Typical Industrial City in Northern China	LI Yue-mei, PAN Yue-peng, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (3712)
BTX Monitoring Nearby Main Road Traffic in Guangzhou	YE Cong-lei, XIE Pin-hua, QIN Min, <i>et al.</i> (3718)
Dynamic Road Vehicle Emission Inventory Simulation Study Based on Real Time Traffic Information	HUANG Cheng, LIU Juan, CHEN Chang-hong, <i>et al.</i> (3725)
Emission Characteristics of a Diesel Car Fueled with Coal Based Fischer-Tropsch (F-T) Diesel and Fossil Diesel Blends	HU Zhi-yuan, CHENG Liang, TAN Pi-qiang, <i>et al.</i> (3733)
Spatial Variations of Biogenic Elements in Coastal Wetland Sediments of the Jiulong River Estuary	YU Xiao-qing, YANG Jun, LIU Le-mian, <i>et al.</i> (3739)
Spatio-Temporal Distribution of TN and TP in Water and Evaluation of Eutrophic State of Lake Nansi	SHU Feng-yue, LIU Yu-pei, ZHAO Ying, <i>et al.</i> (3748)
Impact on Nitrogen and Phosphorous Export of Wetlands in Tianmu Lake Watershed	LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, LI Heng-peng (3753)
Nitrogen and Phosphorus Composition in Urban Runoff from the New Development Area in Beijing	LI Li-qing, LÜ Shu-cong, ZHU Ren-xiao, <i>et al.</i> (3760)
Distribution and Sources of Arsenic in Yangzonghai Lake, China	ZHANG Yu-xi, XIANG Xiao-ping, ZHANG Ying, <i>et al.</i> (3768)
Occurrence of Fecal Indicator Bacteria in Urban Surface Water: A Case Study in Southern China	SUN Fu, SHA Jing, LIU Yan-hua (3778)
Vertical Migration of Algal Cells in the Daning River Bay of the Three Gorges Reservoir	ZHANG Yong-sheng, ZHENG Bing-hui, JIANG Xia, <i>et al.</i> (3787)
Construct of Yangtze-Huai River Rural Areas Ecological Drainage System and Its Retention Effect on Pollutants	SHAN Bao-qing, LI Nan, TANG Wen-zhong (3797)
Water Treatment Efficiency of Constructed Wetland Plant-Bed/Ditch Systems	WANG Zhong-qiong, ZHANG Rong-bin, CHEN Qing-hua, <i>et al.</i> (3804)
Effect of the Subsurface Constructed Wetland Evolution into Free Surface Flow Constructed Wetland on the Removal of Organic Matter, Nitrogen, and Phosphorus in Wastewater	WEI Ze-jun, XIE Jian-ping, HUANG Yu-ming (3812)
Treatment Characteristics of Saline Domestic Wastewater by Constructed Wetland	GAO Feng, YANG Zhao-hui, LI Chen, <i>et al.</i> (3820)
Degradation of β -Naphthol by Catalytic Wet Air Oxidation	LIU Jie, YU Chao-ying, ZHAO Pei-qing, <i>et al.</i> (3826)
Degradation of 2,4-Dichlorophenol in Aqueous Solution by ZVI/EDDS/Air System	SUN Qian, ZHOU Hai-yan, CAO Meng-hua, <i>et al.</i> (3833)
Study on Photocatalytic Degradation of 1,2,3-Trichlorobenzene Using the Microwaved MWNTs/TiO ₂ Composite	SHI Zhou, ZHANG Qian, ZHANG Wei, <i>et al.</i> (3840)
Mechanism of Cr(VI) Removal from Aqueous Solution Using Biochar Promoted by Humic Acid	DING Wen-chuan, TIAN Xiu-mei, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (3847)
Research on the Treatment of Wastewater Containing PVA by Ozonation-Activated Sludge Process	XING Xiao-qiong, HUANG Cheng-lan, LIU Min, <i>et al.</i> (3854)
Effects of Composite Substrates on the Phosphorus Removal in Granule-based EBPR System and Its Optimization Experiment	XU Shao-juan, SUN Pei-de, ZHENG Xiong-liu, <i>et al.</i> (3859)
Research of Input Water Ratio's Impact on the Quality of Effluent Water from Hydrolysis Reactor	LIANG Kang-qiang, XIONG Ya, QI Mao-rong, <i>et al.</i> (3868)
Evolution of Leachate Quantity and Quality in the Anaerobic-semiaerobic Bioreactor Landfill	HAN Zhi-yong, LIU Dan, LI Qi-bin, <i>et al.</i> (3873)
National Survey of Urban Sewage Reuse in China	GUO Yu-jie, WANG Xue-chao, ZHOU Zhen-min (3881)
Sorption and Desorption of 17 α -Ethinyl Estradiol and 4-n-Nonylphenol in Soil	JIANG Lu, WANG Ji-hua, LI Jian-zhong, <i>et al.</i> (3885)
Soil Organic Carbon Mineralization of Black Locust Forest in the Deep Soil Layer of the Hilly Region of the Loess Plateau, China	MA Xin-xin, XU Ming-xiang, YANG Kai (3893)
Effects of Soil Crusts on Surface Hydrology in the Semiarid Loess Hilly Area	WEI Wei, WEN Zhi, CHEN Li-ding, <i>et al.</i> (3901)
Environmental Factors on Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soils from Dashiwei Karst Giant Doline (Tiankeng) in Guangxi, China	KONG Xiang-sheng, QI Shi-hua, JIANG Zhong-cheng, <i>et al.</i> (3905)
Investigation on Mechanism of Pyrite Oxidation in Acidic Solutions	WANG Nan, YI Xiao-yun, DANG Zhi, <i>et al.</i> (3916)
Monitoring of Water and Salt Transport in Silt and Sandy Soil During the Leaching Process	FU Teng-fei, JIA Yong-gang, GUO Lei, <i>et al.</i> (3922)
Simulation on Remediation of Benzene Contaminated Groundwater by Air Sparging	FAN Yan-ling, JIANG Lin, ZHANG Dan, <i>et al.</i> (3927)
Detecting the Cytotoxicities of Five Bisphenol A Analogues to the MCF-7 Human Breast Carcinoma Cell Line Through Different Endpoints	ZHANG Shuai-shuai, LIU Yan, LIU Shu-shen, <i>et al.</i> (3935)
Response of Copepod Community Characteristics to Environmental Factors in the Backshore Wetland of Expo Garden, Shanghai	CHEN Li-jing, WU Yan-fang, JING Yu-xiang, <i>et al.</i> (3941)
Isolation, Identification and Characterization of Halotolerant Petroleum-degrading Bacteria	WU Tao, XIE Wen-jun, YI Yan-li, <i>et al.</i> (3949)
Growth Kinetics and Phenol Degradation of Highly Efficient Phenol-degrading <i>Ochrobactrum</i> sp. CH10	CHEN Xiao-hua, WEI Gang, LIU Si-yuan, <i>et al.</i> (3956)
Isolation of Aerobic Degrading Strains for TBBPA and the Properties of Biodegradation	QIAN Yan-yuan, LIU Li-li, YU Xiao-juan, <i>et al.</i> (3962)
Influences of Long-term Application of Organic and Inorganic Fertilizers on the Composition and Abundance of <i>nirS</i> -type Denitrifiers in Black Soil	YIN Chang, FAN Fen-liang, LI Zhao-jun, <i>et al.</i> (3967)
Characteristics and Influencing Factors of Trichloroethylene Adsorption in Different Soil Types	HE Long, QIU Zhao-fu, LÜ Shu-guang, <i>et al.</i> (3976)
Degradation of Carbendazim in Paddy Soil and the Influencing Factors	XIAO Wen-dan, YANG Xiao-e, LI Ting-qiang (3983)
Effects of Sulphur Compounds on the Volatile Characteristics of Heavy Metals in Fly Ash from the MSW and Sewage Sludge Co-combustion Plant During the Disposal Process with Higher Temperature	LIU Jing-yong, SUN Shui-yu (3990)
Low-temperature Thermal Treatment of Dioxin in Medical Waste Fly Ash Under Inert Atmosphere	JI Sha-sha, LI Xiao-dong, XU-Xu, <i>et al.</i> (3999)
Hourly Measurement on Aerosol NH ₃ and Gas NO _x Emission in the Rice Field	GONG Wei-wei, LUAN Sheng-ji (4006)
Implementation of an Electronic Nose for Rapid Detection of Volatile Chloroalkane and Chloroalkene	WEN Xiao-gang, LIU Rui, CAI Qiang, <i>et al.</i> (4012)
Pilot Study on PAHs of the Atmosphere Around the Refuse Incineration Plant Based on the Technology of Passive Sampling	SUN Shao-ai, LI Yang, ZHOU Yi, <i>et al.</i> (4018)
Spatial Distribution and Pollution Source Identification of Agricultural Non-Point Source Pollution in Fujiang Watershed	DING Xiao-wen, SHEN Zhen-yao (4025)
Difference of P Content in Different Area Substrate of Constructed Wetland	CAO Xue-ying, CHONG Yun-xiao, YU Guang-wei, <i>et al.</i> (4033)
Selective Detection of Viable Pathogenic Bacteria in Water Using Reverse Transcription Quantitative PCR	LIN Yi-wen, LI Dan, WU Shu-xu, <i>et al.</i> (4040)
Formation of Disinfection By-products; Temperature Effect and Kinetic Modeling	ZHANG Xiao-lu, YANG Hong-wei, WANG Xiao-mao, <i>et al.</i> (4046)
A Novel Quantitative Approach to Study Dynamic Anaerobic Process at Micro Scale	ZHANG Zhong-liang, WU Jing, JIANG Jian-kai, <i>et al.</i> (4052)
Leaves of <i>Platanus orientalis</i> as the Carbon Source for Denitrification	XIONG Jian-feng, XU Hua, YAN Ning, <i>et al.</i> (4057)
Isolation, Characterization of an Anthracene Degrading Bacterium <i>Marteella</i> sp. AD-3 and Cloning of Dioxygenase Gene	CUI Chang-zheng, FENG Tian-cai, YU Ya-qi, <i>et al.</i> (4062)

《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11月15日 33卷 第11期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 11 Nov. 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. sciencecp. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@mail. sciencecp. com
订 购 处	全国各地邮局	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

国内外公开发刊