

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第1期

Vol.34 No.1

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

长三角背景地区秋冬季节大气气态总汞含量特征研究 窦红颖,王书肖,王龙,张磊,郝吉明(1)

厦门城区大气颗粒物 PM₁₀ 中有机酸源谱特征分析 杨冰玉,黄星星,郑桢,刘碧莲,吴水正(8)

兴隆大气气溶胶中水溶性无机离子分析 李杏茹,宋爱利,王英锋,孙颖,刘子锐,王跃思(15)

气相组分对氨吸收同步脱除模拟烟气 SO₂ 和 NO_x 的影响 王鸿,朱天乐,王美艳(21)

麦秸全量还田下太湖地区两种典型水稻土稻季氨挥发特性比较 汪军,王德建,张刚,王远(27)

单光子/光电子在线质谱实时分析聚氯乙烯热分解/燃烧产物 陈文东,侯可勇,陈平,李芳龙,赵无垠,崔华鹏,花磊,谢园园,李海洋(34)

碱性活性炭表面特征及其吸附甲烷的研究 张梦竹,李琳,刘俊新,孙永军,李国滨(39)

夏季黄渤海表层海水中二甲亚砜(DMSO)的浓度分布 王敏,张洪海,杨桂朋(45)

2010年秋季长江口口外海域 CDOM 的三维荧光光谱-平行因子分析 闫丽红,陈学君,苏荣国,韩秀荣,张传松,石晓勇(51)

基于集合均方根滤波的太湖叶绿素 a 浓度估算与预测 李渊,李云梅,王桥,张卓,郭飞,吕恒,毕坤,黄昌春,郭宇龙(61)

基于 HJ1A-CCD 数据的高光谱影像重构研究 郭宇龙,李云梅,朱利,徐德强,李渊,檀静,周莉,刘阁(69)

重庆雪玉洞岩溶地下河地球化学敏感性研究 徐尚全,杨平恒,殷建军,毛海红,王鹏,周小萍(77)

区域点源和非点源磷入河量计算的二元统计模型 陈丁江,孙嗣畅,贾颖娜,陈佳勃,吕军(84)

秦淮河典型河段总氮总磷时空变异特征 李跃飞,夏永秋,李晓波,熊正琴,颜晓元(91)

湘江沉积物镉和汞质量基准的建立及其应用 蒋博峰,桑磊鑫,孙卫玲,郝伟,李丽,邓宝山(98)

丹江口水库迁建区土壤重金属分布及污染评价 张雷,秦延文,郑丙辉,时瑶,韩超男(108)

汾水水库周边土壤重金属含量与空间分布 李晋昌,张红,石伟(116)

黄河下游引黄灌区地下水重金属分布及健康风险评估 张妍,李发东,欧阳竹,赵广帅,李静,柳强(121)

胶州湾、套子湾及四十里湾表层沉积物中有机氯农药的含量和分布特征 刘艺凯,钟广财,唐建辉,潘晓辉,田崇国,陈颖军(129)

基于干扰梯度的钦江流域底栖动物完整性指数候选参数筛选 卢东琪,张勇,蔡德所,刘朔孺,陈燕海,王备新(137)

海洋细菌 *Marinobacter adhaerens* HY-3 分离鉴定及对中肋骨条藻的化感作用 王洪斌,陈文慧,李信书,李士虎,阎斌伦(145)

水稻秸秆浸泡液对铜绿微囊藻生理特性的影响 苏文,孔繁翔,于洋,贾育红,张民(150)

化感物质肉桂酸乙酯对蛋白核小球藻生长及生理特性的影响 高李李,郭沛涌,苏光明,魏燕芳(156)

无负压供水模式下管网水力模拟与安全评价分析 王欢欢,刘书明,姜帅,孟凡琳,白璐(163)

天然有机物的相对分子质量分布及亲疏水性对微滤膜组合工艺中膜污染的影响 胡孟柳,林洁,许光红,董秉直(169)

不同基质条件下透性处理对脱硫弧菌硫酸盐还原活性的影响 徐慧伟,张旭,李立明,郑光洁,李广贺(177)

基于零价铁的双金属体系对六氯苯还原脱氯研究 曾宪委,刘建国,聂小琴(182)

负载型 TiO₂ 光电催化降解孔雀石绿的动力学研究 张小娜,周少奇,周晓(188)

污水厂微孔曝气系统工况下充氧性能测试与分析 吴媛媛,周小红,施汉昌,邱勇(194)

微气泡及其产生方式对活性污泥混合液性质的影响 刘春,马锦,张磊,张静,张明,吴根(198)

不同氮浓度冲击对颗粒污泥脱氮过程中 N₂O 产生量的影响 韩雪,高大文(204)

模拟电镀污泥重金属浸出液对氧化亚铁硫杆菌活性的影响 谢鑫源,孙培德,楼菊青,郭茂新,马王钢(209)

嗜麦芽窄食单胞菌对铜镉的吸附特性与离子交换 白洁琼,尹华,叶锦韶,彭辉,唐立栲,何宝燕,李跃鹏(217)

阴离子表面活性剂改性水滑石吸附硝基苯的特性研究 夏燕,朱润良,陶奇,刘汉阳(226)

活性氧化铝对水中磷的去除与回收研究 孟文娜,谢杰,吴德意,张振家,孔海南(231)

北京城区可吸入颗粒物分布与呼吸系统疾病相关分析 杨维,赵文吉,官兆宁,赵文慧,唐涛(237)

北京市市售鸡蛋和鸭蛋中全氟化合物的污染水平研究 齐彦杰,周珍,史亚利,孟昭福(244)

北京市场常见淡水食用鱼体内农药残留水平调查及健康风险评估 千志勇,金芬,孙景芳,原盛广,郑蓓,张文婧,安伟,杨敏(251)

多效应残差法(MERA)表征二甲亚砜-农药二元混合物毒性相互作用 霍向晨,刘树深,张晶,张瑾(257)

利用 DGGE-菌落原位杂交法分离土壤中精喹禾灵降解菌 吕欣,彭霞薇,呼庆,马安周,江泽平,魏远(263)

不同白腐真菌复配方式对产酶的影响 孟瑶,梁红,高大文(271)

不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响 张瑞,张贵龙,姬艳艳,李刚,常泓,杨殿林(277)

垦殖对湿地土壤有机碳垂直分布及可溶性有机碳截留的影响 霍莉莉,邹元春,郭佳伟,吕宪国(283)

黄河三角洲碱蓬湿地土壤有机碳及其组分分布特征 董洪芳,于君宝,管博(288)

丘陵林地土壤酸化改良剂的集中施用-自然扩散修复技术研究 方熊,刘菊秀,尹光彩,赵亮,刘世忠,褚国伟,李义勇(293)

重度滴滴涕污染土壤低温等离子体修复条件优化研究 陈海红,骆永明,滕应,刘五星,潘澄,李振高,黄玉娟(302)

无定形 Fe(OH)₃ 和 Fe₃O₄ 共沉淀态 As 的化学提取 陈义萍,王少锋,贾永锋(308)

铝和锰对外生菌根真菌生长、养分吸收及分泌作用的影响 李华,黄建国,袁玲(315)

污泥和餐厨垃圾联合干法中温厌氧消化性能研究 段妮娜,董滨,李江华,戴翎翎,戴晓虎(321)

高比表面生物质炭的制备、表征及吸附性能 李坤权,李焯,郑正,桑大志(328)

基于情景分析的浙江沿海地区环境污染防治战略研究 田金平,陈吕军,杜鹏飞,钱易(336)

微生物全细胞传感器在重金属生物可利用度监测中的研究进展 侯启会,马安周,庄绪亮,庄国强(347)

2012 城市生态学术研讨会会议论文

北京市城乡环境梯度下街尘中重金属污染特征 何小艳,顾培,李叙勇,赵洪涛(357)

北京市道路灰尘中污染物含量沿城乡梯度、道路密度梯度的变化特征 唐荣莉,马克明,张育新,毛齐正(364)

北京城市典型下垫面降雨径流污染初始冲刷效应分析 任玉芬,王效科,欧阳志云,侯培强(373)

洋河流域张家口段河流水质演化及驱动因子分析 虎博,王铁宇,吕永龙,杜立宇,罗维(379)

低碳交通电动汽车减排潜力及其影响因素分析 施晓清,李笑诺,杨建新(385)

北京市社区生活垃圾分类收集实效调查及其长效管理机制研究 邓俊,徐琬莹,周传斌(395)

人工湿地在应用中存在的问题及解决措施 黄锦楼,陈琴,许连煌(401)

《环境科学》征订启事(26) 《环境科学》征稿简则(68) 信息(76,144,301,400) 专辑征稿通知(394)

丘陵林地土壤酸化改良剂的集中施用-自然扩散修复技术研究

方熊^{1,2}, 刘菊秀¹, 尹光彩³, 赵亮^{1,2}, 刘世忠¹, 褚国伟¹, 李义勇^{1,2*}

(1. 中国科学院华南植物园, 广州 510650; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 广东工业大学环境科学与工程学院, 广州 510006)

摘要: 丘陵林地土壤酸化修复在维持林地生态系统生产力稳定中具有重要地位. 本试验通过在丘陵林地坡顶集中施用石灰、污水污泥和联合施用石灰 + 污水污泥 3 种土壤酸化改良剂, 研究了 3 种改良剂对丘陵林地酸化土壤的修复效果. 结果表明: ①联合施用污水污泥 + 石灰能够显著 ($P < 0.05$) 降低土壤酸度, 促进土壤有机质和氮素含量快速上升, 增加土壤阳离子交换量 (CEC), 从而有效改良丘陵林地酸化土壤; ②土壤改良剂在丘陵林地上坡位集中施用, 能够通过径流和泥沙随坡体向下坡迁移的自然扩散机制, 使丘陵大面积酸化土壤得到修复; ③将城市污水污泥用于丘陵酸化土壤的修复, 有利于解决城市污水污泥的污染问题, 但只限于非经济林酸化土壤的恢复.

关键词: 丘陵林地; 土壤酸化; 改良剂; 集中施用-自然扩散; 修复

中图分类号: X53 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)01-0293-09

Study the Restoration Technology of Concentrated Application-Natural Diffusion about Amendments of Acidified Soil of Hilly Woodland

FANG Xiong^{1,2}, LIU Ju-xiu¹, YIN Guang-cai³, ZHAO Liang^{1,2}, LIU Shi-zhong¹, CHU Guo-wei¹, LI Yi-yong^{1,2}

(1. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. College of Environmental Science and Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Through concentrated application of lime, sewage sludge and lime + sewage sludge on the sloping top of the hilly woodlands, the restoration effects of the three soil amendments on the acidified soil of hilly woodland were studied. The results showed that: ①Joint application of sewage sludge + lime can significantly ($P < 0.05$) decrease soil acidity, promote the rapid increase in soil organic matter and nitrogen content, increase soil cation exchange capacity, and effectively improve acidified soil. ②Through natural diffusion mechanisms of surface and subsurface runoff, a large area of acidified soil of hilly woodlands can be restored by concentrated application of soil amendments on the sloping top of the hilly woodlands. ③It is conducive to solve the pollution problems of the urban sewage sludge by using municipal sewage sludge to restore acidified soil, but only for the restoration of acidified soil of timber forest.

Key words: hills; soil acidification; soil amendments; concentrated application-natural diffusion; restoration

酸沉降被认为是造成森林土壤酸化的主要原因之一^[1,2]. 目前,我国已成为继欧洲、北美之后的世界第三大酸雨区,而且有不发展的趋势^[3-6]. 伴随着土壤不断酸化,土壤的营养元素 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 等加快淋失,土壤变得贫瘠化^[7],同时 Al^{3+} 离子和重金属元素加快活化移动等^[8-10],严重影响森林生态系统土壤营养平衡与稳定^[11],造成森林土壤生产力的衰退^[12,13]. 因此,酸化土壤修复研究一直是国内外土壤科学、环境科学以及地表过程研究的热点.

我国土壤酸化区分布着大量的丘陵山地,仅南方严重土壤酸化地区,低山丘陵比例超过 60% 的省份就达到 11 个,木材经济损失与森林生态效益的经济损失比例为 1:8,按此估算,该 11 个省的年生态

效益经济损失约为 459 亿元^[14]. 然而,丘陵地形复杂特殊,要对丘陵地区的酸化土壤进行修复难度较大. 对农田土壤酸化改良的传统方法主要为施用石灰、沸石、粉煤灰、草木灰以及厩肥等,不仅费时费力,而且成本较高^[15]. 而对于面积大、地形复杂的丘陵土壤,运用传统方法施用石灰和禽畜排泄物等这样的改良剂进行改良,难度更大,成本更高. 考虑到丘陵相对高度不超过 200 m,且坡度较缓,本试验拟研究改良剂在丘陵坡顶集中施用、通过地表和地

收稿日期: 2012-03-15; 修订日期: 2012-06-19

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KSCX2-EW-Q-8); 国家自然科学基金项目 (31070439); 广东省自然科学基金团队项目 (8351065005000001)

作者简介: 方熊 (1986 -), 男, 硕士, 主要研究方向为生态系统生态学, E-mail: fangxiang@scbg.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: yiyonglee@scbg.ac.cn

下径流自然扩散的大面积施用技术,以提高可操作性,降低土壤酸化改良成本. 城市污水污泥是指污水厂处理废水所产生的固态废弃物,其中含有丰富的有机质及养分元素,尤其是磷(P). 目前,我国总废水排放量已从1985年 3.415×10^{11} t增长到2008年的 5.876×10^{11} t^[16],污水厂在净化污水的同时,产生的污泥量约占污水总处理量的0.3%~5% (含水率以97%计)^[17]. 由于治理资金短缺等缘故,大量的城市污水污泥被随便遗弃,已经产生了越来越严重的环境问题. 郭湄兰等^[18]运用盆栽和田间试验表明,土壤施用污泥后,土壤中N、P、K、TOC (总有机碳)等营养成分及田间持水量、CEC、团粒结构、土壤孔隙度都相应增加. 在国外,污泥及其堆肥作肥源农用已有60多年的历史,城市污泥农用比例最高的是荷兰,占55%;其次是丹麦、法国和英国,占45%;美国占25%^[19]. 因此,若将城市污水污泥用于丘陵林地酸化土壤修复,这不仅在一定程度上解决了城市污水污泥的污染问题,也可使丘陵林地土壤酸化得以恢复并促进森林生态系统的健康发展.

鉴于此,本试验拟在酸化丘陵林地坡顶单独施加或联合施用城市污水污泥和石灰,基于丘陵林地水分迁移和再分配的机制,研究改良剂在丘陵坡顶集中施用,通过地表和地下径流自然迁移扩散的土壤改良剂大面积施用技术,从而降低丘陵土壤酸化恢复成本,提高可操作性,以期从众多方法中筛选出丘陵林地酸化土壤修复的理想方法.

1 材料与方 法

1.1 研究地概况

鼎湖山国家级自然保护区(23°09′21″~23°11′30″N, 112°30′39″~112°33′41″)位于广东省

肇庆市境内,总面积1 155 hm²,属南亚热带湿润季风型气候,水热条件丰富,年太阳总辐射约4 655 MJ·(m²·a)⁻¹,年平均日照时数为1 433 h,年平均气温20.9℃,最冷月1月平均气温12.0℃,最热月7月达28.1℃. 该区雨量充沛,年降雨量达1 900 mm,但分布不均匀,有明显的干湿季节,其中4~9月的湿季降雨量占全年降雨量的80%以上. 该区年蒸发量为1 115 mm,年相对湿度约为81%. 土壤由不同颜色、硬度与质地的砂岩、沙页岩、页岩和石英砂岩发育而成,主要有赤红壤和黄壤两大类. 赤红壤分布在海拔700 m以下,土层厚度约50~80 cm,枯枝落叶层厚约2~13 cm,腐殖质层厚约10 cm,表土层有机质含量约为1.9%~3.3%. 土壤呈酸性,pH值约4.05. 自然植被类型按海拔从低到高主要包括河岸常绿阔叶林、马尾松林、沟谷常绿阔叶林、针阔叶混交林、南亚热带典型常绿阔叶林、山地常绿阔叶林和灌木草丛等植被类型. 本试验主要选择在针阔叶混交林进行.

1.2 试验设计

1.2.1 样地情况

2010年5月在鼎湖山国家自然保护区内,选择分布面积最大的针阔叶混交林建立了12个面积均为5×15 m²的样方,设置4个处理,每个处理3个重复进行酸化土壤修复试验. 4个处理中除对照外,其它3个处理的土壤酸化改良剂分别采用城市污水污泥(来自肇庆市污水处理厂,理化参数分析见表1)、石灰和城市污水污泥+石灰. 石灰用量为每个样地24.5 kg,污泥用量300 kg. 分别在各个样方的坡顶(样方的顶部)集中施用土壤酸化改良剂,利用大气降水的雨水淋溶和地表以及地下径流的自然迁移扩散对坡地酸化土壤进行定向修复. 试验设施已于2010年5月完成,8月完成改良剂的施放.

表1 供试污泥主要化学参数

Table 1 Main chemical parameters of tested sludge

指标	pH值	有机质/%	交换性酸/mmol·kg ⁻¹			重金属/mg·kg ⁻¹		盐基离子/cmol·kg ⁻¹			
			交换性酸总量	交换性氢	交换性铝	Mn ²⁺	Cu ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
平均值	5.51	24.71	24.56	27.54	0	超高	5.74	超高	0.84	超高	超高
标准差	0.13	1.18	3.4	3.89	0	—	1.05	—	0.14	—	—

1.2.2 采样及分析方法

分别于2011年1月和5月在各个样地内进行布点采样. 坡顶集中施用改良剂是本研究在修复酸化土壤方法理论上的创新,为验证此方法对样地整体坡面的修复效果,采样时分别在每个样方距离坡顶1、2、3.5、5、7、9.5 m位置选择3点进行取样,

采集土壤层次为0~10、10~20、20~40 cm这3个层次. 在离坡顶同一距离进行3样点的各3个土层采样后,分土层进行样品混合当作该土层的一个样品. 土样制备:将土样放至通风干燥处,剔除石粒、草根等杂物,自然风干,再用滚轴磨成2 mm粉末,装瓶待用.

土样 pH 值用水土比为 2.5:1 测定. 土壤有机质用重铬酸钾氧化-外加热法测定; 用凯氏法测定土壤 N 含量; 有效 P 用盐酸-氟化铵浸提-钼锑抗比色法测定; 土壤交换性 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 用乙酸铵浸提后分别用火焰光度法和原子吸收光谱法测定. 土壤交换性酸用氯化钾交换-中和滴定法测定. 土壤有效性 Cu 和 Mn 用 $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的盐酸浸提后用原子吸收光谱法测定.

1.3 数据分析

用 Excel 2007 和 SPSS 15.0 统计分析软件对所有数据进行处理和作图. 采用单因素方差分析 (One-way ANOVA) 和最小显著差异法 (LSD) 检验不同处理间的差异显著性.

2 结果与讨论

2.1 丘陵林地土壤在土壤改良剂处理 5 个月后土壤化学参数变化

2.1.1 土壤 pH 变化

由表 2 分析得出, 与对照处理相比, 经过 5 个月的土壤改良剂施用后, 3 种处理对各土壤层 pH 值影响显著 ($P < 0.05$), 各种处理下 0~10 cm 土层和 10~20 cm 土层 pH 值的顺序均为: 石灰 + 污泥 (A) = 污泥 (B) > 石灰 (C) = 对照 (D), 20~40 cm 层 pH 值的顺序分别为: A = B = C > D. 其中施用污水污泥 + 石灰处理的土壤增加幅度最大, 该处理土壤的 0~10 cm 层 pH 值增加了 0.15 个 pH 单位, 10~20 cm 和 20~40 cm 层则分别增加了 0.12 和 0.11 个 pH 单位, 表明 3 种改良剂均能提高土壤的 pH. 不同处理间差异比较结果显示联合施用污水污泥 + 石灰的提高效果最明显, 可能主要是因为单独施用淤泥, 有机物分解速度较慢, H^+ 浓度减少相对较慢. 联合施用条件下, 一方面, 石灰可直接降低土壤的酸度, 且有机物质的含量增多能够增加土壤对酸度变化的缓冲能力^[20]; 另一方面, pH 值的升高促进了

表 2 丘陵林地不同土壤改良剂处理 5 个月后土壤化学参数变化

Table 2 Changes in soil chemical properties of hilly woodland after 5 months under different soil amendments

项目		0~10 cm				10~20 cm				20~40 cm			
		对照	石灰	污泥	污泥 + 石灰	对照	石灰	污泥	污泥 + 石灰	对照	石灰	污泥	污泥 + 石灰
pH	平均值	3.42	3.47	3.53	3.57	3.54	3.55	3.60	3.66	3.57	3.61	3.65	3.68
	标准差	0.11	0.04	0.04	0.08	0.09	0.04	0.05	0.11	0.10	0.05	0.05	0.09
有机质	平均值	5.66	5.96	5.75	6.88	3.75	3.96	3.97	5.16	3.36	3.22	3.75	4.46
	标准差	1.41	0.91	0.64	0.48	1.18	0.63	0.64	0.56	0.90	0.51	0.69	0.99
交换性酸	平均值	135.35	109.75	117.80	103.57	119.41	97.50	106.14	92.10	119.37	90.35	92.6	99.04
	标准差	43.92	19.48	14.33	22.66	33.89	20.00	16.71	21.87	33.94	16.88	15.91	17.63
交换性氢	平均值	28.42	27.24	22.74	21.82	19.40	19.62	18.08	19.32	20.27	19.17	15.53	18.61
	标准差	8.04	3.05	1.61	3.20	8.71	3.05	2.14	1.99	8.78	2.32	2.80	5.82
交换性铝	平均值	106.92	82.51	95.06	81.75	100.01	77.92	88.0	72.78	99.10	71.19	77.11	80.44
	标准差	47.79	19.45	14.67	23.06	35.25	18.59	16.54	23.64	37.00	15.56	15.82	20.93
NO_3^- -N	平均值	5.49	5.65	4.22	6.11	3.48	3.99	3.60	5.64	3.26	3.24	3.39	4.61
	标准差	2.65	2.71	1.18	2.07	1.19	0.62	0.30	2.23	1.36	0.37	0.46	1.06
NH_4^+ -N	平均值	16.00	13.13	10.91	13.47	9.12	7.24	6.95	9.40	8.91	6.47	7.44	9.49
	标准差	6.60	2.34	2.45	0.80	5.30	2.08	2.19	2.67	2.94	2.59	1.66	2.82
K^+	平均值	0.44	0.43	0.25	0.15	0.40	0.40	0.22	0.14	0.40	0.40	0.23	0.13
	标准差	0.01	0.05	0.03	0.02	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02
Na^+	平均值	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
	标准差	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
Ca^{2+}	平均值	0.66	0.49	0.23	0.51	0.43	0.32	0.16	0.48	0.44	0.27	0.16	0.35
	标准差	0.47	0.27	0.06	0.87	0.31	0.09	0.08	0.92	0.40	0.05	0.09	0.61
Mg^{2+}	平均值	0.41	0.29	0.18	0.28	0.29	0.21	0.14	0.25	0.27	0.19	0.13	0.21
	标准差	0.04	0.07	0.04	0.11	0.08	0.04	0.04	0.14	0.08	0.03	0.05	0.08
Cu^{2+}	平均值	1.53	1.63	2.16	2.62	1.23	1.17	1.98	2.57	1.11	1.10	1.86	2.46
	标准差	0.46	0.15	0.39	0.16	0.31	0.21	0.33	0.25	0.49	0.14	0.37	0.31
Mn^{2+}	平均值	2.43	2.52	3.09	3.67	1.71	1.90	1.99	2.88	1.77	1.67	2.13	2.67
	标准差	0.43	0.46	1.48	0.98	0.13	0.43	0.74	0.53	0.33	0.17	1.17	0.40

土壤微生物多样性和总活性提高,使有机物的分解速度加快,所产生的有机酸也可有效降低土壤酸度^[20]。此外,联合施用也可避免因单独施用石灰所引起的土壤的板结、黏粒含量下降和 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 等元素的平衡失调以及有机质下降等^[21,22] 对土壤酸度降低的抑制作用。

2.1.2 土壤有机质和氮素变化

如表 2 所示,3 种处理条件下各土层土壤有机质含量增加明显,而施用污水污泥 + 石灰处理的土壤有机质增加最明显。同时,3 种添加剂均能促进土壤 NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 含量的增加,而在施用污水污泥 + 石灰处理的土壤中增加幅度最大。这主要是因为使用的污水污泥在土壤得到了自然迁移扩散,一定程度上促进了土壤有机质和氮素的提高。而联合施用污水污泥 + 石灰既可以避免因单独施用石灰所引起的土壤的板结、黏粒含量下降和 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 等离子的平衡失调和有机质下降^[21,22],以及单独施用污水污泥所引起的有机质分解速度慢等缺陷^[23],又可以减轻施用石灰所引起的土壤中 H^+ 、 Ca^{2+} 含量的快速上升以及施用污泥引起的土壤中 N、P、K、总有机碳等营养成分和田间持水量、阳离子交换量、团粒结构、土壤孔隙度相应增加^[18,23] 的作用,从而促进土壤有机质和氮素的快速增加。

2.1.3 土壤阳离子含量比较

与对照处理相比(表 2),经过 5 个月的土壤改良剂施用后,3 种处理的各土层交换性酸和交换性铝(Al^{3+})含量基本都有显著降低($P < 0.05$),3 个土层交换性酸和 Al^{3+} 含量的顺序均为 $A = B = C < D$,其中施用污水污泥 + 石灰处理的土壤降低最明显。 H^+ 离子含量变化没有统计学意义($P > 0.05$),但也有一定程度降低。这表明联合施用污水污泥和石灰更有利于土壤交换性酸和 Al^{3+} 含量的降低。以往的研究均表明单独施用污水污泥和石灰都会显著降低交换性酸和 Al^{3+} 含量^[18,24],这与本试验具有一致性,同时本试验中联合施用污水污泥和石灰更有利于交换性酸和 Al^{3+} 含量的减少,主要原因可能是由于污水污泥和石灰联合施用引起土壤黏土矿物的性质、土壤离子的活度和土壤动力学过程等发生变化促进了土壤交换性酸含量的减少。而各土层土壤盐基离子(K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+})含量,在各处理条件下基本均无明显变化($P > 0.05$)。可能是因为该地区酸沉降量高^[10,25],因而盐基阳离子的淋失量大;另外,该地区土壤酸化严重,短期内土壤改良剂的加入,可能使土壤营养平衡短期内得到

极大改善,刺激了植物根系对养分元素(Ca^{2+} 、 Mg^{2+})的吸收^[26-28],而使土壤中这些元素的有效性并没有增加。有效 Cu^{2+} 和 Mn^{2+} 的含量,在添加石灰处理的土壤中没有显著变化,而在添加污水污泥的处理中明显增加,主要是因为施用的污水污泥具有较高的重金属含量,并且在土壤中得到了自然扩散。

2.2 丘陵林地土壤在土壤改良剂处理 10 个月后土壤化学参数变化

2.2.1 土壤 pH 变化

如表 3 所示,与对照处理相比,处理 10 个月后 3 个处理的各土层 pH 值仍然都有显著增加($P < 0.05$),各种处理下的 pH 值顺序为 $A > B = C = D$ 。其中施用石灰 + 城市污水污泥的样地土壤 pH 值提高最明显,0 ~ 10 cm 土层提高了 0.09 ~ 0.29 个 pH 单位,10 ~ 20 cm 土层提高了 0.10 ~ 0.26 个 pH 单位,20 ~ 40 cm 土层提高了 0.09 ~ 0.19 个 pH 单位。这与处理 5 个月时土壤 pH 变化基本一致,表明联合施用污水污泥 + 石灰比二者单独施用更有利于促进酸化土壤 pH 的升高。

2.2.2 土壤有机质和氮素变化

经过 10 个月处理,各层土壤有机质含量在 3 种处理条件下都有所增加,且联合施用污水污泥和石灰处理的土壤有机质含量在土壤 0 ~ 10 cm 层比对照最高增幅达到 113%,10 ~ 20 cm 层最高增幅达到 121%,20 ~ 40 cm 层最高增幅达到 80%(表 3)。与处理 5 个月结果明显不同的是,联合施用污水污泥 + 石灰处理土中 NO_3^- -N 的含量显著($P < 0.05$)高于对照和其他 3 种处理,各处理下的 NO_3^- -N 含量的顺序为 $A > B = C = D$ 。 NH_4^+ -N 含量在各处理间无显著差异,但在联合施用污水污泥 + 石灰处理的土壤中增加最明显。这与处理 5 个月时土壤肥力变化基本一致,表明联合施用污水污泥 + 石灰能有效增加土壤有机质和氮肥含量。

2.2.3 土壤阳离子含量比较

土壤交换性酸(H^+ 、 Al^{3+})含量变化与处理 5 个月时变化基本一致(表 3),与对照处理相比 3 种处理的各土层交换性酸和 Al^{3+} 离子含量基本都有显著降低($P < 0.05$),其中 3 种处理下 0 ~ 10 cm 层交换性酸和 Al^{3+} 含量的顺序均为 $A < B = C = D$,10 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 层二者含量顺序均为 $A = B = C < D$,其中联合施用污水污泥 + 石灰处理的土壤降低程度最大。 H^+ 离子含量变化不显著($P > 0.05$),但也有一定程度降低。同时,与土壤改良剂处理 5 个月相比,盐基阳离子含量有明显变化,其中

表 3 丘陵林地不同土壤改良剂处理 10 个月后土壤化学参数变化

Table 3 Changes in soil chemical properties of hilly woodland after 10 months under different soil amendments

项目	指标	0 ~ 10 cm				10 ~ 20 cm				20 ~ 40 cm			
		对照	石灰	污泥	污泥 + 石灰	对照	石灰	污泥	污泥 + 石灰	对照	石灰	污泥	污泥 + 石灰
pH	平均值	3.51	3.58	3.56	3.61	3.63	3.69	3.67	3.74	3.70	3.76	3.75	3.80
	标准差	0.09	0.04	0.06	0.10	0.07	0.06	0.05	0.08	0.04	0.07	0.05	0.05
有机质	平均值	5.56	5.84	6.40	6.76	3.38	3.70	3.92	4.32	2.72	2.81	3.10	3.09
	标准差	2.15	0.96	0.71	0.53	1.35	0.73	0.83	0.78	0.58	0.46	0.87	0.76
交换性酸	平均值	108.06	108.75	124.37	91.26	104.35	93.75	101.46	78.06	105.32	85.77	85.45	75.40
	标准差	39.33	22.03	16.11	40.28	40.53	13.76	15.66	38.72	35.97	15.24	18.16	30.40
交换性氢	平均值	28.57	24.40	25.79	21.54	19.09	14.41	19.10	22.35	14.93	12.69	13.68	15.83
	标准差	6.36	2.10	6.67	1.54	4.96	2.07	2.57	2.69	2.59	2.31	2.63	2.01
交换性铝	平均值	79.49	84.35	98.57	69.72	85.26	79.33	82.36	55.71	90.39	73.08	71.76	59.57
	标准差	34.29	20.65	22.91	39.96	38.00	14.08	12.65	38.36	34.73	13.34	18.15	31.63
NO ₃ ⁻ -N	平均值	1.85	2.22	2.21	3.25	1.38	1.62	1.65	2.31	1.09	1.30	1.38	1.73
	标准差	1.04	0.19	0.37	0.68	0.77	0.29	0.20	0.37	0.55	0.22	0.12	0.49
NH ₄ ⁺ -N	平均值	7.18	6.95	9.72	9.40	4.47	4.88	5.69	6.22	4.10	4.02	5.35	4.07
	标准差	0.93	1.32	2.52	1.45	1.36	1.74	1.73	0.68	1.22	0.86	1.67	0.57
K ⁺	平均值	0.12	0.15	0.13	0.15	0.14	0.12	0.13	0.14	0.12	0.13	0.12	0.14
	标准差	0.05	0.01	0.01	0.02	0.05	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03
Na ⁺	平均值	0.07	0.03	0.07	0.08	0.05	0.03	0.04	0.06	0.03	0.03	0.06	0.10
	标准差	0.01	0.02	0.03	0.05	0.05	0.02	0.01	0.04	0.01	0.01	0.02	0.05
Ca ²⁺	平均值	0.27	0.37	0.27	0.29	0.17	0.25	0.16	0.18	0.13	0.16	0.15	0.16
	标准差	0.19	0.21	0.08	0.37	0.14	0.23	0.08	0.16	0.12	0.09	0.10	0.15
Mg ²⁺	平均值	0.19	0.17	0.17	0.19	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13
	标准差	0.03	0.01	0.01	0.06	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.03
Cu ²⁺	平均值	2.28	1.96	1.52	2.02	1.74	1.54	1.25	1.57	1.60	1.50	1.26	1.49
	标准差	0.22	0.40	0.39	0.16	0.48	0.11	0.35	0.12	0.09	0.21	0.45	0.18
Mn ²⁺	平均值	2.66	2.49	2.44	2.85	1.67	1.45	1.62	1.93	1.18	1.22	1.76	1.47
	标准差	1.23	0.52	1.18	0.95	1.39	0.30	0.73	0.79	0.42	0.35	1.55	0.66

K⁺、Na⁺、Ca²⁺含量在各改良剂处理下都有一定量增加,联合施用污水污泥和石灰处理中含量增加相对明显。同时,3个处理条件下表层(0~10 cm)土壤中K⁺离子含量显著高于对照处理($P < 0.05$)。Mg²⁺离子含量在3个处理间尚没有明显变化。通过改良时间的纵向比较,可能说明在严重酸化的中国南方赤红壤中,污水污泥和石灰添加对土壤盐基离子交换量的影响需要相对较长的时间,而联合施用污水污泥和石灰可能有利于加速改良周期。重金属有效Cu²⁺含量在各土层的各处理条件下均明显减少,这个效果与土壤改良剂施用5个月时明显不同。主要原因可能在于淤泥增加了土壤中有有机物质含量,大量有机质转化的大分子物质络合了部分Cu²⁺离子;同时也可能是因为植物根系吸收了部分Cu²⁺;另外,本地区降水丰富、土壤水分条件好而淋溶作用强,从而可能导致了部分Cu²⁺的淋失。而Mn²⁺含量与处理5个月时基本一致。这表明污水污

泥和石灰联合施用更有利于提高酸化土壤的盐基饱和度,降低酸度;但是受重金属含量影响,只限于非经济林酸化土壤的恢复。

2.3 丘陵林地不同土壤改良剂处理 10 个月后离坡顶不同距离土壤酸化修复效果

丘陵林地不同土壤改良剂处理 10 个月后离坡顶不同距离土壤 pH 动态变化情况见图 1。根据前文结果,样地不同坡位的各土层土壤在 3 种改良剂处理条件下,土壤 pH 值均比对照处理有显著提高($P < 0.05$)。而据图 1 分析又可以得出改良剂对土壤酸度的改良效果表现为:上坡位 pH 值高于下坡位 pH 值。这可能主要是因为随改良剂在丘陵坡顶集中施用后,其成分通过径流和泥沙向下坡位扩散过程中先在上坡位中和了大量土壤溶液中的H⁺;而且随着时间的推移,下坡位土壤 pH 值应该会因改良剂成分向下坡位的迁移扩散而得到提高。马琨等^[29]对不同雨强条件下红壤坡地养分流失特

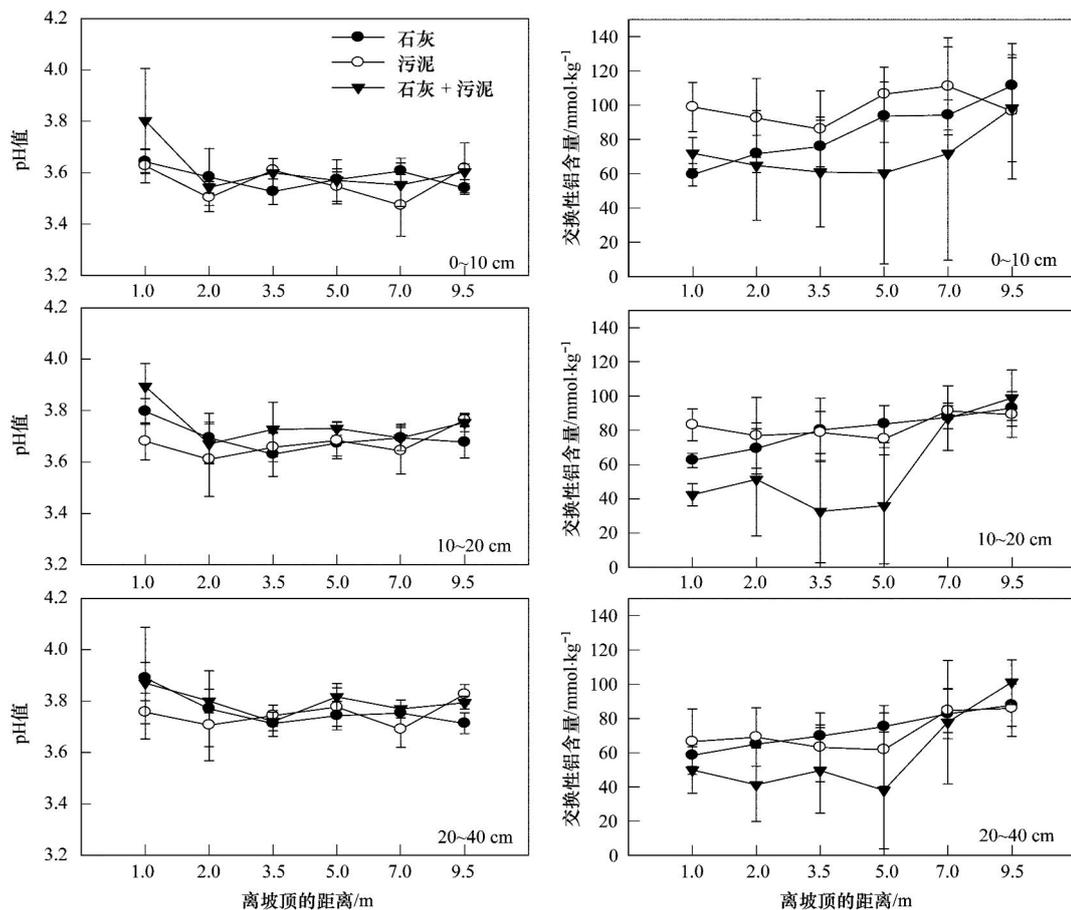


图1 丘陵林地不同土壤改良剂处理10个月后离坡顶不同距离土壤酸度动态变化

Fig. 1 Soil acidity dynamics on different distances away from the top of the slope after 10 months under different soil amendments

征研究表明,我国南方红壤地区坡地土壤养分流失主要以径流和泥沙携带为主。同时,唐将等^[30]对三峡库区不同地貌区土壤元素分布特征的研究则表明了部分土壤矿物元素有从高地貌区向低地貌区迁移的过程。这说明在丘陵上坡位施用土壤改良剂,其养分元素等能够随着径流和泥沙在向下坡位径流迁移扩散,并修复坡体不同部位酸化土壤。

同时,根据前文结果,3种处理均能显著降低($P < 0.05$)各土壤层交换性酸和交换性铝(Al^{3+})含量,其中施用污水污泥+石灰处理的土壤降低幅度最大;而且改良剂施用10个月后,土壤盐基离子除 Mg^{2+} 离子外, K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 的含量在各处理的各个土层均有不同程度提高。然而据图1(土壤交换性酸含量离坡顶不同距离的动态变化情况)分析又得出:各处理下,上坡位 Al^{3+} 离子含量较低,下坡位 Al^{3+} 离子含量稍高,上坡位改良效果优于下坡位,且污水污泥和石灰的联合施用在离坡顶不同距离的改良效果均比二者单独施用好。由土壤盐基离子含量离坡顶不同距离的动态变化情况(图2~3),可以看

出土壤盐基离子含量随着离坡顶距离的加大而逐渐降低,趋势与pH值的变化基本一致。这主要是因为随改良剂在丘陵坡顶集中施用,其离子成分通过径流和泥沙向下坡位扩散过程^[30,31]中先使得上坡位酸化土壤的盐基饱和度升高,交换性酸和交换性铝(Al^{3+})的含量降低;而且随着改良剂成分继续向下坡位的迁移扩散,下坡位土壤的盐基饱和度也应该会逐渐升高,交换性酸和交换性铝(Al^{3+})的含量则逐渐降低。葛方龙等^[31]对川中丘陵区紫色土坡耕地土壤侵蚀所引起的土壤再分配进行的研究也表明,土壤养分会随着径流和泥沙由上坡位先下坡位迁移。本试验则表明了丘陵林地上坡位施用改良剂,能够通过坡地地表、地下径流和泥沙的这种自然随坡体迁移扩散机制,来修复坡体不同部位的酸化土壤。

3 结论

(1)与单独施用城市污水污泥或石灰相比,城市污水污泥和石灰的联合施用,更利于降低土壤酸

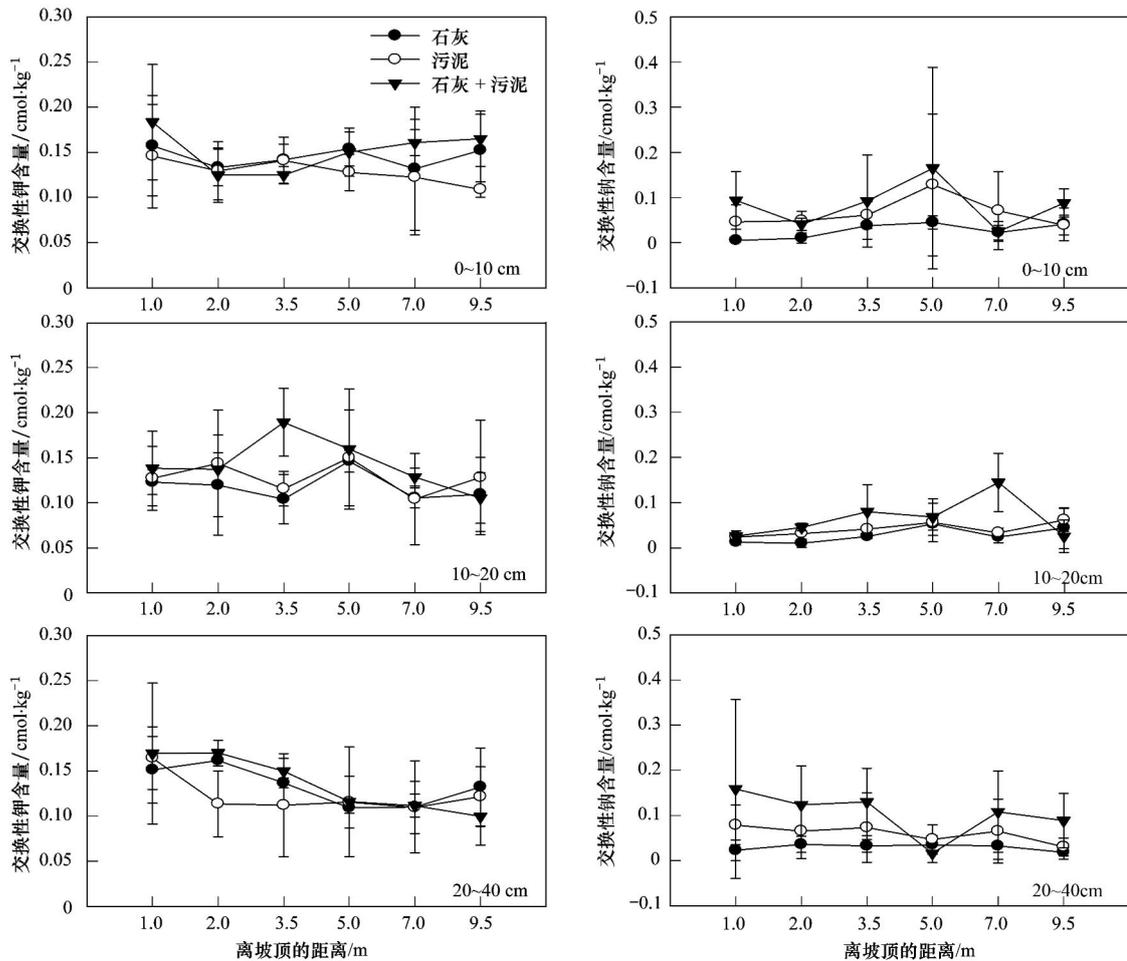


图2 丘陵林地不同土壤改良剂处理10个月后离坡顶不同距离土壤交换性钾和钠动态变化情况

Fig. 2 Exchange cation of K^+ and Na^+ dynamics on different distances away from the top of the slope after 10 months under different soil amendments

度($P < 0.05$), 促进土壤有机质和氮素含量逐渐上升, 增加土壤阳离子交换量, 从而有效改善丘陵林地酸化土壤的营养元素平衡。

(2) 土壤改良剂在丘陵林地上坡位的集中施用, 能够通过径流与泥沙随坡体向下坡迁移的自然扩散机制, 使丘陵林地大面积酸化土壤得到修复。

(3) 将城市污水污泥用于酸化土壤修复, 有利于解决城市污水污泥的污染问题。但在施用城市污水污泥后土壤重金属含量比较高, 因而使用污水污泥进行丘陵林地酸化土壤改良只限于非经济林酸化土壤的恢复。

参考文献:

- [1] 冯宗炜. 中国酸雨对陆地生态系统的影响和防治对策[J]. 中国工程科学, 2000, 2(9): 5-11, 28.
- [2] Dai Z H, Liu Y X, Wang X J, *et al.* Changes in pH, CEC and exchangeable acidity of some forest soils in southern China during the last 32-35 years[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 1998, 108(3-4): 377-390.
- [3] 王文兴, 丁国安. 中国降水酸度和离子浓度的时空分布[J]. 环境科学研究, 1997, 10(2): 1-6.
- [4] Thorjörn L, Jerald L S, Hans M S, *et al.* Evaluation of different approaches for modeling effects of acid rain on soils in China[J]. Science of the Total Environment, 2000, 246(2-3): 175-193.
- [5] 张明, 李小明. 酸沉降对泰山土壤酸化的影响[J]. 山东大学学报(理学版), 2010, 45(1): 36-40.
- [6] 张新民, 柴发合, 王淑兰, 等. 中国酸雨研究现状[J]. 环境科学研究, 2010, 23(5): 527-532.
- [7] 杨忠芳, 余涛, 唐金荣, 等. 湖南洞庭湖地区土壤酸化特征及机理研究[J]. 地学前缘, 2006, 13(1): 105-112.
- [8] Hindar A, Wright R F, Nilsen P, *et al.* Effects on stream water chemistry and forest vitality after whole-catchment application of dolomite to a forest ecosystem in southern Norway [J]. Forest Ecology and Management, 2003, 180(1-3): 509-525.
- [9] Koptsik G, Mukhina I. Effects of acid deposition on acidity and exchangeable cations in podzols of the Kola Peninsula [J]. Water, Air, and Soil Pollution, 1995, 85(3): 1209-1214.
- [10] 张俊平, 张新明, 曾纯军, 等. 酸雨对生态系统酸化影响的研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(增刊): 245-

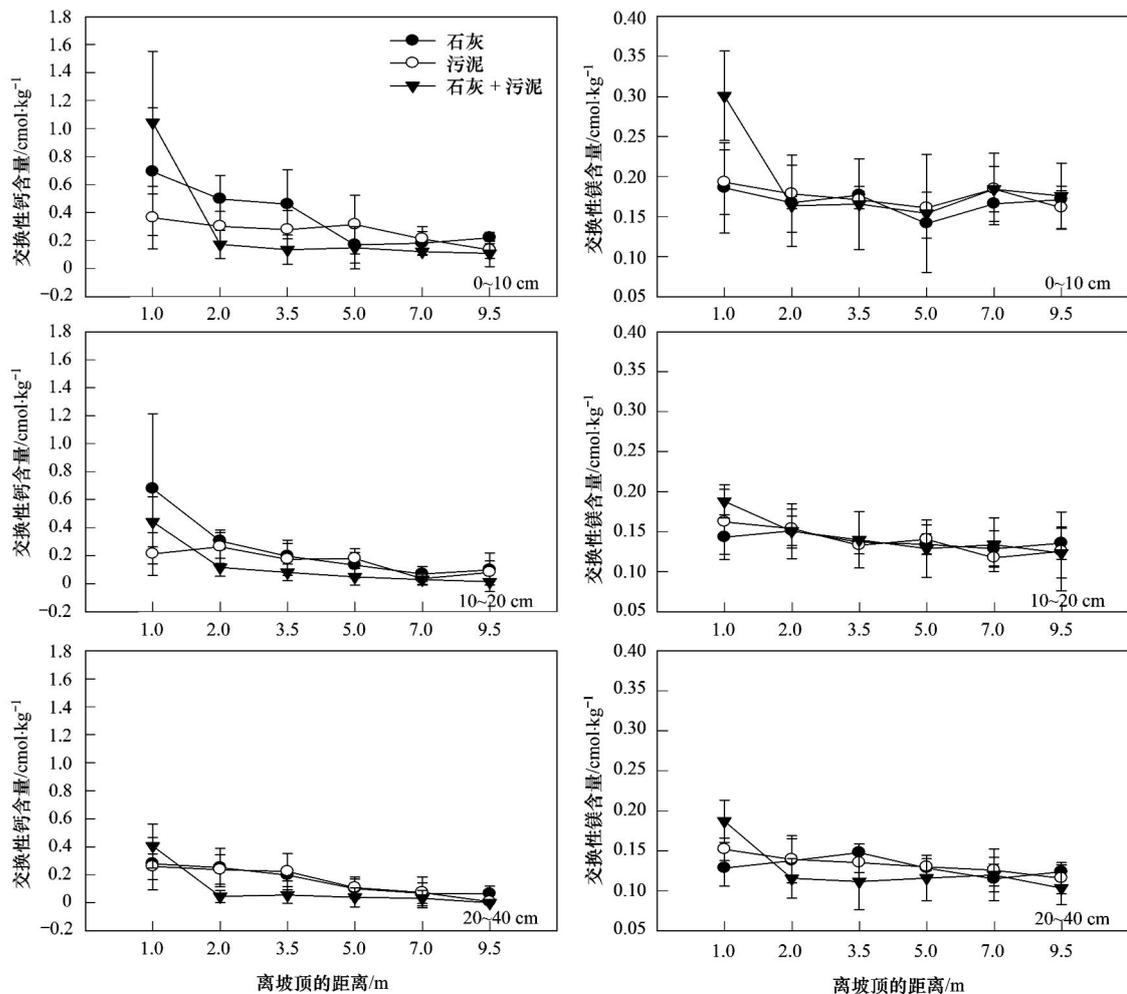


图3 丘陵林地不同土壤改良剂处理10个月后离坡顶不同距离土壤交换性钙和镁动态变化情况

Fig. 3 Exchange cation of Ca^{2+} and Mg^{2+} dynamics on different distances away from the top of the slope after 10 months under different soil amendments

- 249.
- [11] Michopoulos P. Lead migration in some acid forest soils under beech in Greece[J]. Journal of Environmental Quality-Abstract, 1999, **28**(6): 1705-1708.
- [12] 王晓春, 王云, 王晓光. 森林系统对环境变化响应的研究近况[J]. 浙江化工, 2003, (6): 16-17.
- [13] Fang Y T, Gundersen P, Mo J M, *et al.* Nitrogen leaching in response to increased nitrogen inputs in subtropical monsoon forests in southern China[J]. Forest Ecology and Management, 2009, **257**(1): 332-342.
- [14] 王文兴, 冯宗炜, 唐孝炎, 等. 我国酸沉降及其生态环境影响研究[R]. 北京: 中国环境科学研究院, 1996. 65-100.
- [15] Børja I, Nilsen P. Long term effect of liming and fertilization on ectomycorrhizal colonization and tree growth in old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands[J]. Plant and Soil, 2008, **314**(1-2): 109-119.
- [16] 吴雅琼, 吕志坚, 安斌, 等. 1985-2008年间我国废水排放量动态研究[J]. 科技情报开发与经济, 2011, **21**(17): 183-185.
- [17] 蒋成爱, 黄国锋, 吴启堂. 城市污水污泥处理利用研究进展[J]. 农业环境与发展, 1999, **16**(1): 13-18.
- [18] 郭渭兰, 米尔芳, 田若涛, 等. 城市污泥和污泥与垃圾堆肥的农田施用对土壤性质的影响[J]. 农业环境保护, 1994, **13**(5): 204-209.
- [19] 温琰茂. 城市污泥农业利用研究的展望[M]. 广州: 中山大学出版社, 1997. 209-210.
- [20] 郇恒福, 刘国道, Suzane B, 等. 施用不同土壤改良剂对砖红壤酸度的影响[J]. 热带作物学报, 2009, **30**(8): 1099-1104.
- [21] 孟赐福, 水建国, 吴益伟, 等. 红壤旱地施用石灰对土壤酸度、油菜产量和肥料利用率的长期影响[J]. 中国油料作物学报, 1999, **21**(2): 45-48.
- [22] 王敬国. 植物营养的土壤化学[M]. 北京: 北京农业大学出版, 1995. 92-103.
- [23] 李梦红, 黄现民, 诸葛玉平. 污泥农用对土壤理化性质及作物产量的影响[J]. 水土保持通报, 2009, **29**(6): 95-96.
- [24] 蔡东, 肖文芳, 李国怀. 施用石灰改良酸性土壤的研究进展[J]. 中国农学通报, 2010, **26**(9): 206-213.
- [25] Zhou G Y, Yan J H. The influences of regional atmospheric

- precipitation characteristics and its element inputs on the existence and development of Dinghushan forest ecosystems[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(12): 2002-2012.
- [26] De Wit H A, Mulder J, Nygaard P H, *et al.* Testing the aluminium toxicity hypothesis: a field manipulation experiment in mature spruce forest in Norway [J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2001, **130**(1-4): 995-1000.
- [27] Löfgren S, Cory N, Zetterberg T, *et al.* The long-term effects of catchment liming and reduced sulphur deposition on forest soils and runoff chemistry in southwest Sweden [J]. *Forest Ecology and Management*, 2009, **258**(5): 567-578.
- [28] 段雷, 马萧萧, 余德祥, 等. 酸化森林土壤投加石灰石和菱镁矿 5 a 后的化学性质变化[J]. *环境科学*, 2011, **32**(6): 1758-1763.
- [29] 马琨, 王兆骞, 陈欣, 等. 不同雨强条件下红壤坡地养分流失特征研究[J]. *水土保持学报*, 2002, **16**(3): 16-19.
- [30] 唐将, 李勇, 付绍红, 等. 三峡库区不同地貌区土壤元素分布特征[J]. *山地学报*, 2005, **23**(2): 136-143.
- [31] 葛方龙, 张建辉, 苏正安. 坡耕地紫色土养分空间变异对土壤侵蚀的响应[J]. *生态学报*, 2007, **27**(2): 459-464.

《环境科学》编辑部关于启用编辑信息管理系统公告

《环境科学》编辑部已经开通本刊网站并启用编辑信息管理系统(网站地址:<http://www.hjcx.ac.cn>)。该系统能实现在线投稿、在线审稿、期刊浏览检索等功能,欢迎广大作者、读者和审稿专家使用。目前本刊所有来稿都通过网站编辑信息管理系统进行。作者使用编辑信息管理系统投稿时请先进行注册,注册完毕后以作者身份登录,按照页面上给出的提示投稿即可。如果您在使用过程中有问题,请及时与我刊编辑部联系。

邮政地址:北京市海淀区双清路 18 号《环境科学》编辑部

邮 编:100085

电 话:010-62941102,010-62849343

传 真:010-62849343

E-mail:hjcx@rcees.ac.cn

网 址:www.hjcx.ac.cn

CONTENTS

Characteristics of Total Gaseous Mercury Concentrations at a Rural Site of Yangtze Delta, China	DOU Hong-ying, WANG Shu-xiao, WANG Long, <i>et al.</i> (1)
Compositions of Organic Acids in PM ₁₀ Emission Sources in Xiamen Urban Atmosphere	YANG Bing-yu, HUANG Xing-xing, ZHENG An, <i>et al.</i> (8)
Analysis on Water-soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol of Xinglong	LI Xing-ru, SONG Ai-li, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> (15)
Effects of Gaseous Compositions the on Simultaneous Removal of NO _x and SO ₂ from Simulated Flue Gas by Ammonia Absorption	WANG Hong, ZHU Tian-le, WANG Mei-yan (21)
Comparing the Ammonia Volatilization Characteristic of Two Typical Paddy Soil with Total Wheat Straw Returning in Taihu Lake Region	WANG Jun, WANG De-jian, ZHANG Gang, <i>et al.</i> (27)
Real-Time Analysis of Polyvinyl Chloride Thermal Decomposition/Combustion Products with Single Photon Ionization/Photoelectron Ionization Online Mass Spectrometer	CHEN Wen-dong, HOU Ke-yong, CHEN Ping, <i>et al.</i> (34)
Surface Characteristics of Alkali Modified Activated Carbon and the Adsorption Capacity of Methane	ZHANG Meng-zhu, LI Lin, LIU Jun-xin, <i>et al.</i> (39)
Distribution of Dimethylsulfoxide(DMSO) in the Surface Water of the Yellow Sea and the Bohai Sea	WANG Min, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (45)
Resolving Characteristic of CDOM by Excitation-Emission Matrix Spectroscopy Combined with Parallel Factor Analysis in the Seawater of Outer Yangtze Estuary in Autumn in 2010	YAN Li-hong, CHEN Xue-jun, SU Rong-guo, <i>et al.</i> (51)
Estimation and Forecast of Chlorophyll a Concentration in Taihu Lake Based on Ensemble Square Root Filters	LI Yuan, LI Yun-mei, WANG Qiao, <i>et al.</i> (61)
Research of Hyperspectral Reconstruction Based on HJ1A-CCD Data	GUO Yu-long, LI Yun-mei, ZHU Li, <i>et al.</i> (69)
Research on the Sensitivity of Geochemical of Underground River in Chongqing Xueyu Cave	XU Shang-quan, YANG Ping-heng, YIN Jian-jun, <i>et al.</i> (77)
Bivariate Statistical Model for Calculating Phosphorus Input Loads to the River from Point and Nonpoint Sources	CHEN Ding-jiang, SUN Si-yang, JIA Ying-na, <i>et al.</i> (84)
Temporal and Spatial Variations of Total Nitrogen and Total Phosphorus in the Typical Reaches of Qinhuai River	LI Yue-fei, XIA Yong-qiu, LI Xiao-bo, <i>et al.</i> (91)
Derivation and Application of Sediment Quality Criteria of Cd and Hg for the Xiangjiang River	JIANG Bo-feng, SANG Lei-xin, SUN Wei-ling, <i>et al.</i> (98)
Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Soil of Relocation Areas from the Danjiangkou Reservoir	ZHANG Lei, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (108)
Concentrations of Soil Heavy Metals and Their Spatial Distribution in the Surrounding Area of Fenhe Reservoir	LI Jin-chang, ZHANG Hong, SHI Wei (116)
Distribution and Health Risk Assessment of Heavy Metals of Groundwaters in the Irrigation District of the Lower Reaches of Yellow River	ZHANG Yan, LI Fa-dong, OUYANG Zhu, <i>et al.</i> (121)
Concentrations and Distribution of Organochlorine Pesticides in the Surface Sediments of Jiaozhou Bay, Taotzi Bay and Sishili Bay	LIU Yi-kai, ZHONG Guang-cai, TANG Jian-hui, <i>et al.</i> (129)
Choice of Macroinvertebrate Metrics for Constructing a Benthic-Index of Biotic Integrity Based on the Disturbance Gradients in the Qinjiang River Basin	LU Dong-qi, ZHANG Yong, CAI De-suo, <i>et al.</i> (137)
Isolation and Identification of <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 and Its Allelopathy on <i>Skeletonema costatum</i>	WANG Hong-bin, CHEN Wen-hui, LI Xin-shu, <i>et al.</i> (145)
Effects of the Rice Straw on <i>Microcystis aeruginosa</i> Analyzed by Different Physiological Parameters	SU Wen, KONG Fan-xiang, YU Yang, <i>et al.</i> (150)
Effects of Allochemicals Ethyl Cinnamate on the Growth and Physiological Characteristics of <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	GAO Li-li, GUO Pei-yong, SU Guang-ming, <i>et al.</i> (156)
Hydraulic Simulation and Safety Assessment of Secondary Water Supply System with Anti-Negative Pressure Facility	WANG Huan-huan, LIU Shu-ming, JIANG Shuai, <i>et al.</i> (163)
Effect of Relative Molecular Mass Distribution and Hydrophilicity/Hydrophobicity of NOM on Membrane Fouling in MF-combined Process	HU Meng-liu, LIN Jie, XU Guang-hong, <i>et al.</i> (169)
Effect of Permeabilization on Sulfate Reduction Activity of <i>Desulfovibrio vulgaris</i> Hildenborough Cells in the Presence of Different Electron Donors	XU Hui-wei, ZHANG Xu, LI Li-ming, <i>et al.</i> (177)
Dechlorination of HCB by Bimetals Based on Zero Valent Iron	ZENG Xian-wei, LIU Jian-guo, NIE Xiao-qin (182)
Study on Kinetics of Photoelectrocatalytic Degradation of Supported TiO ₂ on Malachite Green	ZHANG Xiao-na, ZHOU Shao-qi, ZHOU Xiao (188)
Measurement and Analysis of Micropore Aeration System's Oxygenating Ability Under Operation Condition in Waste Water Treatment Plant	WU Yuan-yuan, ZHOU Xiao-hong, SHI Han-chang, <i>et al.</i> (194)
Influence of Microbubble and Its Generation Process on Mixed Liquor Properties of Activated Sludge	LIU Chun, MA Jin, ZHANG Lei, <i>et al.</i> (198)
Impact of Different Nitrogen Concentrations on the N ₂ O Production in the Denitrification Process of Granular Sludge	HAN Xue, GAO Da-wen (204)
Effect of Simulated Heavy Metal Leaching Solution of Electroplating Sludge on the Bioactivity of <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	XIE Xin-yuan, SUN Pei-de, LOU Ju-qing, <i>et al.</i> (209)
Characteristic and Ion Exchanges During Cu ²⁺ and Cd ²⁺ Biosorption by <i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	BAI Jie-qiong, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (217)
Sorption of Nitrobenzene to Anionic Surfactant Modified Layered Double Hydroxides	XIA Yan, ZHU Run-liang, TAO Qi, <i>et al.</i> (226)
Study on Phosphate Removal and Recovery by Activated Alumina	MENG Wen-na, XIE Jie, WU De-yi, <i>et al.</i> (231)
Spatial Distribution of Inhalable Particulate and Association with Respiratory Disease in Beijing City	YANG Wei, ZHAO Wen-ji, GONG Zhao-ning, <i>et al.</i> (237)
Pollution Levels of Perfluorochemicals in Chicken Eggs and Duck Eggs from the Markets in Beijing	QI Yan-jie, ZHOU Zhen, SHI Ya-li, <i>et al.</i> (244)
Residual Levels of Pesticides in Freshwater Fish from Beijing Aquatic Product Markets and Health Risk Assessment	YU Zhi-yong, JIN Fen, SUN Jing-fang, <i>et al.</i> (251)
Characterizing the Toxicity Interaction of the Binary Mixture Between DMSO and Pesticide by the Multi-Effect Residual Analysis (MERA)	HUO Xiang-chen, LIU Shu-shen, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (257)
Isolation of Quinolofop- <i>p</i> -ethyl-degrading Bacteria from Soil by DGGE-Colony <i>in situ</i> Hybridization	LÜ Xin, PENG Xia-wei, HU Qing, <i>et al.</i> (263)
White-Rot Fungi Combinations Impact on Enzyme Productions	MENG Yao, LIANG Hong, GAO Da-wen (271)
Effects of Different Fertilizer Application on Soil Active Organic Carbon	ZHANG Rui, ZHANG Gui-long, JI Yan-yan, <i>et al.</i> (277)
Effect of Reclamation on the Vertical Distribution of SOC and Retention of DOC	HUO Li-li, ZOU Yuan-chun, GUO Jia-wei, <i>et al.</i> (283)
Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon and Its Composition in <i>Suaeda salsa</i> Wetland in the Yellow River Delta	DONG Hong-fang, YU Jun-bao, GUAN Bo (288)
Study the Restoration Technology of Concentrated Application-Natural Diffusion about Amendments of Acidified Soil of Hilly Woodland	FANG Xiong, LIU Ju-xiu, YIN Guang-cai, <i>et al.</i> (293)
Optimizing Remediation Conditions of Non-thermal Plasma for DDTs Heavily Contaminated Soil	CHEN Hai-hong, LUO Yong-ming, TENG Ying, <i>et al.</i> (302)
Chemical Extraction of Arsenic Co-precipitated with Amorphous Fe(OH) ₃ and Fe ₃ O ₄	CHEN Yi-ping, WANG Shao-feng, JIA Yong-feng (308)
Influence of Aluminum and Manganese on the Growth, Nutrient Uptake and the Efflux by Ectomycorrhizal Fungi	LI Hua, HUANG Jian-guo, YUAN Ling (315)
High-solids Anaerobic Co-digestion of Sludge and Kitchen Garbage Under Mesophilic Conditions	DUAN Ni-na, DONG Bin, LI Jiang-hua, <i>et al.</i> (321)
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of High Surface Area Biomass-based Activated Carbons	LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (328)
Study on Strategies of Pollution Prevention in Coastal City of Zhejiang Province Based on Scenario Analysis	TIAN Jin-ping, CHEN Lü-jun, DU Peng-fei, <i>et al.</i> (336)
Advance in the Bioavailability Monitoring of Heavy Metal Based on Microbial Whole-cell Sensor	HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xiu-liang, <i>et al.</i> (347)
Characteristics of Heavy Metal Contamination in Street Dusts Along the Urban-Rural Gradient Around Beijing	HE Xiao-yan, GU Pei, LI Xu-yong, <i>et al.</i> (357)
Content Trends of Pollutants in Street Dust of Beijing Along the Urban-Rural Gradient and Road Density Gradient	TANG Rong-li, MA Ke-ming, ZHANG Yu-xin, <i>et al.</i> (364)
Analysis of First Flush Effect of Typical Underlying Surface Runoff in Beijing Urban City	REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (373)
Temporal Variation of Water Quality and Driving Factors in Yanghe Watershed of Zhangjiakou	PANG Bo, WANG Tie-yu, LÜ Yong-long, <i>et al.</i> (379)
Research on Carbon Reduction Potential of Electric Vehicles for Low-Carbon Transportation and Its Influencing Factors	SHI Xiao-qing, LI Xiao-nuo, YANG Jian-xin (385)
Investigation of Waste Classification and Collection Actual Effect and the Study of Long Acting Management in the Community of Beijing	DENG Jun, XU Wan-ying, ZHOU Chuan-bin (395)
Problems and Countermeasures in the Application of Constructed Wetlands	HUANG Jin-lou, CHEN Qin, XU Lian-huang (401)

《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)

2013年1月15日 34卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 1 Jan. 15, 2013

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: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发售