

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第2期

Vol.35 No.2

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

我国环境空气中颗粒物达标统计要求研究	王帅,丁俊男,王瑞斌,李健军,孟晓艳,杨彬,林宏 (401)
北京城区 PM _{2.5} 中致癌重金属季节变化特征及其来源分析	陶俊,张仁健,段菁春,荆俊山,朱李华,陈忠明,赵岳,曹军骥 (411)
北京地区冬春 PM _{2.5} 和 PM ₁₀ 污染水平时空分布及其与气象条件的关系	赵晨曦,王云琦,王玉杰,张会兰,赵冰清 (418)
北京市 PM _{2.5} 可吸入颗粒物反演及其时空分布分析	王艳慧,肖瑶 (428)
杭州市春季大气超细颗粒物粒径谱分布特征	谢小芳,孙在,杨文俊 (436)
春节期间南京市大气气溶胶粒径分布特征	王红磊,朱彬,沈利娟,刘晓慧,张泽峰,杨洋 (442)
南京市大气颗粒物中有机碳和元素碳粒径分布特征	吴梦龙,郭照冰,刘凤玲,刘杰,卢霞,姜琳娟 (451)
忻州市环境空气 PM ₁₀ 中有机碳和元素碳污染特征分析	史美鲜,彭林,刘效峰,牟玲,白慧玲,刘凤娟,杨花 (458)
广州某工业区大气中 PCDD/Fs 含量水平及其季节性变化特征	青亮,苏原,苏青,张素坤,任明忠 (464)
燃煤电厂锅炉 PM _{2.5} 排放危害度评价模型建立及案例分析	史妍婷,杜谦,高建民,边昕,王知涛,董鹤鸣,韩强,曹阳 (470)
中国南海大气降水化学特征	肖红伟,龙爱民,谢露华,肖化云,刘丛强 (475)
临安本底站酸雨长期观测特征分析	李正泉,马浩,毛裕定,冯涛 (481)
北京城区大气氮湿沉降特征研究	贺成武,任玉芬,王效科,毛宇翔 (490)
烟雾箱与数值模拟研究苯和乙苯的臭氧生成潜势	贾龙,徐永福 (495)
祁连山老虎沟 12 号冰川积雪中飞灰颗粒物的特征	董志文,秦大河,秦翔,杜志恒,陈记祖,任贾文 (504)
生活垃圾填埋场作业面恶臭散发率研究	羌宁,王红玉,赵爱华,袁文祥,邵俊,陈檬 (513)
生物滴滤塔处理苯酚气体研究	何觉聪,黄倩茹,陈洲洋,叶纪宏,罗雨薇,魏在山 (520)
国 V 柴油机燃用丁醇-柴油混合燃料颗粒粒径分布特性试验研究	楼狄明,徐宁,范文佳,张涛 (526)
翻堆频率对猪粪条垛堆肥过程温室气体和氨气排放的影响	赵晨阳,李洪枚,魏源送,钟佳,郑嘉嘉,韩圣慧,万合峰 (533)
CuBr ₂ 分解缓释-膜催化对零价汞的氧化性能研究	胡林刚,瞿赞,晏乃强,郭永福,谢江坤,贾金平 (541)
浙闽沿海岸域总溶解态无机锡的分布及影响因素研究	张许州,任景玲,刘宗广,樊孝鹏,刘诚刚,吴莹 (547)
基于双向算法的湖库允许纳污负荷量计算及案例	贾海峰,郭羽 (555)
北京平原区第四系地下水污染风险评价	郭高轩,李宇,许亮,李志萍,杨庆,许苗娟 (562)
不同季节辽河口营养盐的河口混合行为	张晋华,于立霞,姚庆祯,田琳 (569)
太湖南运河入湖河口沉积物氮素分布特征	马久远,王国祥,李振国,张佳,周锋,魏宏农,欧媛 (577)
亚热带地区潜流人工湿地木本植物筛选与净化潜力评价	陈永华,吴晓芙,郝君,陈明利,朱光玉 (585)
潜流人工湿地基质结构与水力特性相关性研究	白少元,宋志鑫,丁彦礼,游少鸿,何珊 (592)
凤眼莲对铜绿微囊藻生长及藻毒素与营养盐释放的影响	周庆,韩士群,严少华,宋伟,刘国峰 (597)
不同预氧化剂对长江原水氯(胺)化 DBPs 生成潜能的影响	田富箱,徐斌,荣蓉,陈英英,张天阳,朱贺振 (605)
溴化十六烷基吡啶改性沸石对水中菲的吸附作用	李佳,林建伟,詹艳慧,陈祖梅,王鹏钧 (611)
四环素光催化降解特性与选择性研究	宋晨怡,尹大强 (619)
微生物电解系统生物阴极的硫酸盐还原特性研究	符诗雨,刘广立,骆海萍,张仁铎,章莹颖 (626)
市政污水 A/DAT-IAT 系统中溶解性有机物表征与生态安全	杨赛,周启星,华涛 (633)
膜-生物反应器处理高盐废水膜面污染物特性研究	李彬,王志刚,安莹,吴志超 (643)
臭氧-曝气生物滤池组合工艺处理石化二级出水的试验研究	刘明国,吴昌永,周岳溪,高祯,王佩超,杨琦,董德 (651)
厌氧生物法处理果胶废水的研究	陈兵兵,杨春平,黎想,代传花,彭蓝艳 (657)
氧氟沙星在碳纳米管上的吸附机制研究	赵兴兴,于水利,王哲 (663)
平菇菌糠对废水中铜离子的生物吸附性能	胡晓婧,戴婷婷,顾海东,金羽,曲娟娟 (669)
基于流态化作用的吸附反应动力学和穿透特征	王君,王瑶,黄星,袁益龙,陈瑞晖,周航,周丹丹 (678)
广州城市污泥中重金属形态特征及其生态风险评价	郭鹏然,雷永乾,蔡大川,张涛,吴锐,潘佳钊 (684)
中国农田土壤重金属富集状况及其空间分布研究	张小敏,张秀英,钟大洋,江洪 (692)
废旧电容器封存点土壤中的 PCBs 污染特征和健康风险评价	周玲莉,吴广龙,薛南冬,杨兵,李发生,丁琼,周丹丹,燕云仲,刘博,韩宝禄 (704)
深圳市表层土壤多环芳烃污染及空间分异研究	章迪,曹善平,孙建林,曾辉 (711)
洋河流域万全段重金属污染风险及控制对策	谭冰,王铁宇,朱朝云,李奇峰,徐笠,吕永龙 (719)
施用组配固化剂对盆栽土壤重金属交换态含量及在水稻中累积分布的影响	曾卉,周航,邱琼瑶,廖柏寒 (727)
螯合剂复配对实际重金属污染土壤洗脱效率影响及形态变化特征	尹雪,陈家军,吕策 (733)
<i>Pseudomonas</i> sp. QJX-1 的锰氧化特性研究	周娜娜,柏耀辉,梁金松,罗金明,刘锐平,胡承志,袁林江 (740)
$n(\text{NO}_3^- - \text{N})/n(\text{NO}_2^- - \text{N})$ 对混培养菌与纯培养菌同步脱氮除硫的影响	陈子爱,陈会娟,魏本平,刘刚金,邓良伟,吴力斌 (746)
杭州市空气微生物群落碳代谢特征研究	龚婍娟,许晶,方治国,楼秀芹,欧阳志云 (753)
鼠李糖脂逆胶束体系中纤维素酶的后萃研究	赵艳鸽,袁兴中,黄华军,崔凯龙,彭馨,彭子原,曾光明 (759)
黄海常见鱼类体内汞含量的种内和种间差异研究	朱艾嘉,许战洲,柳圭泽,邓丽杰,方宏达,黄良民 (764)
3 种 PAEs 对蚯蚓的毒性作用和组织酶活性影响的研究	王艳,马泽民,吴石金 (770)
新型保水剂应用于土壤-小白菜系统的环境安全评价	李希,贺纪正,郑袁明,郑明兰 (780)
黄河三角洲翅碱蓬湿地硫化氢和羧基硫排放动态研究	李新华,郭洪海,杨丽萍,朱振林,孙晓青 (786)
农田土壤 N ₂ O 产生的关键微生物过程及减排措施	朱永官,王晓辉,杨小茹,徐会娟,贾炎 (792)
《环境科学》征订启事 (691) 《环境科学》征稿简则 (800) 信息 (489,519,591,791)	

新型保水剂应用于土壤-小白菜系统的环境安全评价

李希^{1,2}, 贺纪正¹, 郑袁明^{1*}, 郑明兰³

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 山西省临汾市尧都区环境保护局, 临汾 041000)

摘要: 保水剂作为一种抗旱节水材料, 有广泛应用于农业生产的潜在价值. 以基于植物萃取物合成的新型保水剂为对象, 通过设置不同给水条件(超量、正常及缺水3个条件)和保水剂施用方法(底施和喷施2种方法), 研究了保水剂使用对土壤水分、团粒结构、小白菜生长、土壤微生物生物量及微生物呼吸的影响. 结果表明, 与对照相比, 保水剂的施用可显著提高土壤含水率, 促进土壤大团聚体($>0.25\text{ mm}$)的形成, 有利于土壤微生物活性的提高($P<0.05$). 特别是在缺水条件下, 保水剂对土壤环境的改善效果更为明显. 此外, 保水剂的使用方式是影响其节水效果的重要因素. 与正常水分条件下的空白相比, 在不影响小白菜产量的前提下, 喷施 Jaguar C (JC) 可减少灌溉用水量约25%; 而与缺水条件的空白相比, 喷施 JC 处理则可提高小白菜产量2倍以上. 综合以上结果表明, 该类保水剂的使用对土壤生态系统有较明显的改善, 是环境安全的农业节水技术.

关键词: 保水剂; 小白菜; 土壤团聚体; 土壤微生物量; 土壤微生物呼吸

中图分类号: X820.2 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)02-0780-06

Environmental Safety Assessment on the New Super Absorbent Polymers Applied into a Soil-Chinese Cabbage System

LI Xi^{1,2}, HE Ji-zheng¹, ZHENG Yuan-ming¹, ZHENG Ming-lan³

(1. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Environmental Protection Bureau of Yaodu District, Linfen 041000, China)

Abstract: Super absorbent polymers (SAPs), a new water retention material, have a potential for application in water-saving agricultural production. In this study, we investigated the effects of SAPs, synthesized from natural plant extracts, on Chinese cabbage fresh weight, soil water content, soil water stable aggregates, soil microbial biomass (carbon) and soil microbial respiration under three water conditions (excessive, normal and deficient) and two SAPs application strategies (bulk treatment and spraying treatment). The results showed that the SAPs significantly promoted the soil water content, water-stable aggregates ($>0.25\text{ mm}$) and the soil microbial activities, especially under the water deficient conditions. Meanwhile, SAP application strategy was of great significance to the effects on Chinese cabbage and soil properties. Compared with the control treatment under normal water condition, spraying treatment of Jaguar C (S-JC) could reduce irrigation water amount by about 25% without reducing the crop production. Furthermore, compared with the control treatment under the same water condition with S-JC (deficient), it could increase Chinese cabbage production by 287%. Thus, SAPs is an environmental friendly water-saving technique in agricultural production.

Key words: super absorbent polymers (SAPs); Chinese cabbage; soil aggregates; soil microbial biomass; soil microbial respiration

水资源短缺是人类面临的最严峻挑战之一^[1]. 尤其我国北方部分地区水资源开发利用已经超过资源环境的承载能力, 成为工业化和城市化发展的瓶颈^[1]. 目前全球淡水资源的70%用于农业生产^[1], 发展节水农业是应对水资源危机的必由之路. 保水剂作为高分子聚合物, 具有超强的水分吸附能力, 从而提高土壤含水量, 有效改善土壤容重、孔隙度、团粒结构等土壤物理性质, 减少水土流失^[2~4]; 同时还能起到保持土壤养分的作用^[5]. 因此, 保水剂在农业上已受到越来越多国内外研究者的重视.

随着人类环境保护意识的增强, 仅考虑保水剂实用性远远不够, 还应同时考察其对土壤环境的影响. 鉴于在保水剂的使用过程中曾经出现过毒

性^[6]、土壤板结等环境问题^[7], 结合目前新型保水剂材料层出不穷的背景^[8], 对保水剂进行环境安全评价是其大规模推广使用的必要前提. 目前国内外对保水剂的研究多注重其自身材料的改进、对植物生长、土壤理化性质的影响^[9~12], 对土壤微生物生态影响的研究还处于空白. 土壤微生物与土壤的物质循环和能量流动密切相关, 开展相关研究是降低保水剂实际应用环境风险的必然选择. 本文通过对

收稿日期: 2013-04-21; 修订日期: 2013-05-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071163); 中国科学院青年创新促进会项目

作者简介: 李希(1983~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为基于土壤微生物分子生态学的化学品生态风险评价, E-mail: lixi147@yahoo.com.cn

* 通讯联系人, E-mail: zhengym@rcees.ac.cn

植物萃取物合成的新型保水剂对小白菜生长和土壤物理性质的影响研究,进一步分析了其对土壤微生物的影响,较为系统地评价了保水剂使用的安全性,以期建立更为全面和系统的农用化学品的生态风险评价体系提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 实验材料与设计

盆栽实验在中国科学院生态环境研究中心温室大棚内进行,室内气温 23.5 ~ 24.5℃,湿度 32.5% ~ 34.5%,采用自然光照。供试土壤采集于山西省临汾市,属于褐土(淋溶土,luvisols),有机质含量为 0.8%,pH 为 7.6,CEC 为 13.2 cmol·kg⁻¹。

盆栽实验周期为 2010 年 9 月 27 日 ~ 10 月 26 日。实验用保水剂 Jaguar C (JC) 和 Jaguar S (JS) 为从天然植物中提取合成的聚合物型保水剂,由法国罗地亚投资有限公司提供,JC 为淡黄色粉末状,JS 为亮白色粉末状。

实验用塑料盆高 18 cm,直径 21 cm,每盆加入 2 kg 过 2 mm 筛的风干土,并施入底肥。施肥方式为磷肥 [Ca (H₂PO₄)₂] (以 P₂O₅/干土计) 0.15 g·kg⁻¹,钾肥 (K₂SO₄) (以 K₂O/干土计) 0.15 g·kg⁻¹,均为一次性施入。另外施入氮肥 [CO(NH₂)₂] (以 N/干土计) 0.2 g·kg⁻¹,分 3 次施入:底肥(50%)、间苗 30%、收获期前 10 d 20%。农作物为小白菜,种子购买于北京京研盛丰种苗研究所。

实验控制保水剂和水分两个条件,其中保水剂设置空白(CK)、底施 JC (B-JC)、底施 JS (B-JS) 以及喷施 JC (S-JC) 这 4 个处理;水分条件包括设置每 2 (WC1)、3 (WC2)、4 (WC3) 天浇水 50 mL 3 个处理(喷施只设 WC3 一个水分条件)。每个处理 4 个重复。底施处理保水剂质量浓度为 0.05%,与盆栽中表层 7 cm 的土壤混匀;喷施处理为 0.05% (质量体积比) JC 悬浊液在土壤表面喷施 4 s (经实际计算,此喷施方法施入的保水剂的量与底施处理相当)。

实验开始时每盆撒 10 粒种子,一周后间苗,最后保证每盆保留 3 株小白菜。小白菜收获后用小铁铲在塑料盆内小心采集 3 ~ 4 个点,分别去除与工具接触变形的土壤后,收集剩余基本未破坏结构的土壤共约 50 g 用于团粒结构分析。用环刀继续采集土壤样品用于其他指标分析。

1.2 研究方法

土壤含水量的测定采用烘干法,土壤结构的测定采用湿筛法^[13]。土壤微生物生物量碳采用氯仿熏蒸 K₂SO₄ 提取 TOC 仪测定^[14],土壤微生物呼吸测定采用室内密闭培养法^[15]。细菌 16S rRNA (BAC) 的定量分析采用 TaqMan 探针法^[16]。

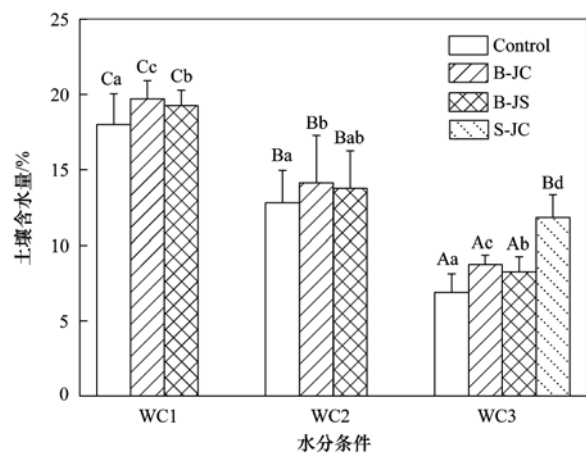
1.3 数据处理与分析方法

采用 Origin 软件进行数据处理与绘图,采用 SPSS 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 保水剂对土壤含水量的影响

方差分析表明,保水剂能够显著提高土壤含水量(图 1)。尤其在 WC3 条件下,与空白相比,JC 及 JS 分别将土壤含水率提高了 27% 和 20%,可见随着灌溉量的降低保水剂对土壤含水率的保持效果增强,且 JC 的保水效果优于 JS。此外,施用方式对保水剂的使用效果有显著影响,在相同缺水条件下(WC3),喷施 JC 的效果要远好于相同水分条件下底施 JC 和 JS 的效果,且与 WC2 底施 JC 土壤的含水率相当。随着灌溉间隔时间的延长,土壤含水率呈现显著下降趋势。



大写英文字母代表在同一保水剂不同给水条件下差异显著 ($P < 0.05$),小写字母代表在同一给水条件下不同保水剂差异显著 ($P < 0.05$),下同

图 1 在不同水分条件和保水剂处理下的土壤含水率(平均值 ± 标准误差)

Fig. 1 Soil water content under different water condition (WC) and SAP treatments (Mean ± SE)

2.2 保水剂对小白菜生长的影响

水分条件对小白菜鲜重有显著影响(图 2)。WC1 和 WC2 水分条件下小白菜鲜重没有差异,表明小白菜生长的正常需水量 WC2 就可以满足。WC3 处理下小白菜鲜重显著低于其他水分条件,表

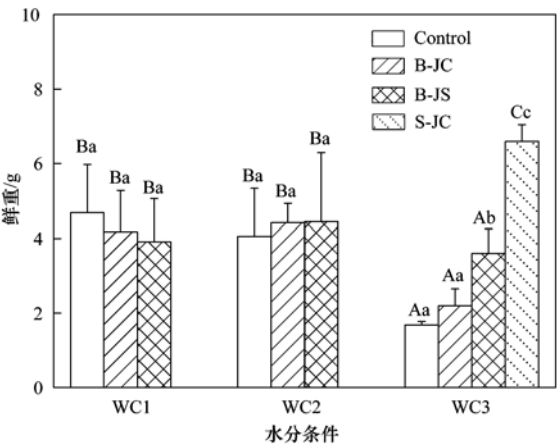


图2 不同给水条件和保水剂处理下小白菜鲜重(平均值±标准误差)

Fig. 2 Fresh weight of Chinese cabbage under different water condition (WC) and SAP treatments (Mean ± SE)

明小白菜在该水分条件下已不能正常生长;但此时与正常水分条件(WC2)的小白菜产量相比,S-JC依然能够显著增加小白菜产量。

2.3 保水剂对土壤水稳定团粒结构的影响

由表1可见,JC和JS两种保水剂均能显著提高>0.25 mm大团粒结构,但是不同种类和不同施用方式间的差异不明显。

2.4 保水剂对土壤微生物量碳和土壤微生物呼吸的影响

土壤微生物量碳和土壤微生物呼吸在不同的给水条件和不同保水剂的处理间均有显著差异(图3)。保水剂促进微生物活性的大小顺序是:JC>JS>空白。在WC3水分条件下,喷施JC对土壤微生物量碳和土壤微生物呼吸的效果要好于底施JC和JS的处理,喷施JC对微生物促进效果与在WC1和

表1 不同水分条件和保水剂处理下的土壤水稳定团粒结构组成¹⁾

Table 1 Soil water-stable aggregates under different water condition and SAP treatments

施用方法	土壤水稳团粒结构组成/%					
	<0.25 mm	0.25~0.5 mm	1~0.5 mm	1~2 mm	2~5 mm	>5 mm
C-WC1	42.25Ab	17.56Aa	11.88Aa	7.81Aa	8.94Aa	11.57Aa
JC-WC1	24.75Aa	22.50Ab	20.13Ab	10.38Ab	9.63Aa	13.13Ab
JS-WC1	24.81Aa	22.00Ab	20.88Ab	10.13Ab	9.50Aa	12.69Ab
C-WC2	42.56Ab	18.00Aa	11.44Aa	7.75Aa	9.13Aa	11.13Aa
JC-WC2	25.13Aa	22.50Ab	20.50Ab	10.38Ab	9.56Aa	12.31Ab
JS-WC2	25.00Aa	21.75Ab	21.25Ab	10.38Ab	9.63Aa	12.00Ab
C-WC3	42.49Ab	17.94Aa	11.31Aa	7.81Aa	9.08Aa	11.38Aa
JC-WC3	24.81Aa	21.63Ab	20.69Ab	10.69Bb	10.06Aa	12.13Ab
JS-WC3	25.38Aa	21.66Ab	20.75Ab	10.38Ab	10.19Aa	11.63Aa
Surface-JC	25.81Aa	22.31Ab	20.13Ab	10.44Ab	9.19Aa	12.13Aa

1) 不同的大写英文字母代表在同一保水剂不同给水条件下差异显著($P < 0.05$),不同的小写字母代表在同一给水条件下不同保水剂差异显著($P < 0.05$)

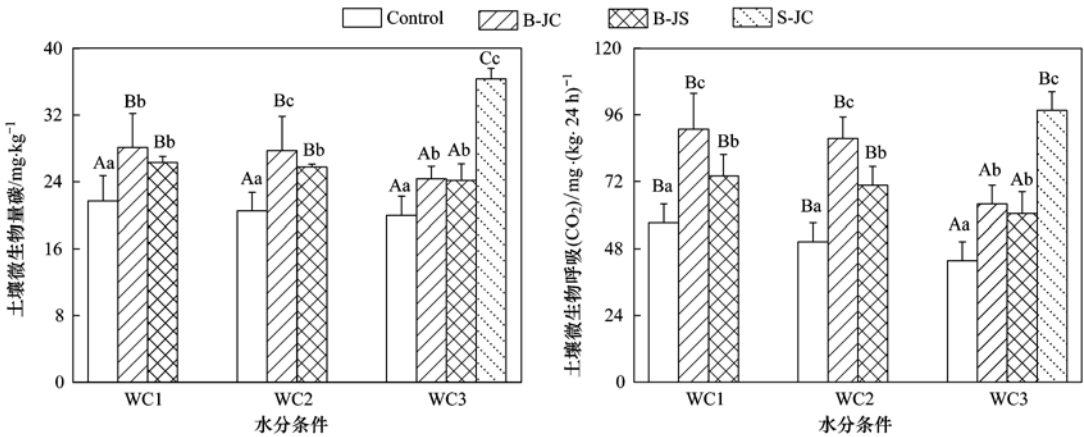


图3 在不同给水条件和不同保水剂处理下的土壤微生物量碳和土壤微生物呼吸(平均值±标准误差)

Fig. 3 Microbial biomass carbon and soil microbial respiration under different water condition (WC) and SAP treatments (Mean ± SE)

WC2水分条件底施JC效果没有显著差异。此结果与土壤含水率、小白菜鲜重的结果相一致。由表2

方差分析贡献度可见,土壤含水率是影响土壤微生物的主要因素,且土壤含水率会受到保水剂的影响,

表 2 不同水分条件及保水剂处理对土壤微生物量碳和土壤微生物呼吸双因素方差分析

Table 2 Two way ANOVA analysis for effects of water condition and SAP treatments on the soil microbial biomass carbon and soil microbial respiration

影响因素	土壤微生物量碳				土壤微生物呼吸			
	平方和	<i>F</i>	Sig.	方差贡献率/%	平方和	<i>F</i>	Sig.	方差贡献率/%
水分	6 620.1	33.2	0.00	66.1	275.7	4 011.6	0.00	80.4
保水剂	1 866.5	14.0	0.00	18.7	59.7	1 303.5	0.00	17.4
水分×保水剂	188.0	0.71	0.00	1.9	7.1	77.4	0.00	2.1
随机误差	1 329.4			13.3	0.5			0.1

二者有明显的交互作用。

2.5 保水剂对细菌丰度的影响

通过定量 PCR 分析,在不同保水剂处理下,细菌 16S rRNA 基因拷贝数在 $1.65 \sim 2.86 \times 10^9 \text{ g}^{-1}$ 干土之间(图 4)。在各种给水条件下,细菌 16S rRNA 基因拷贝数均没有显著差异。

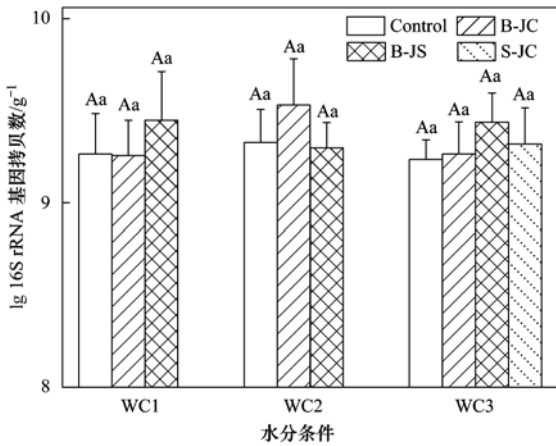


图 4 不同水分条件和保水剂处理下的对数 16S rRNA 基因拷贝数(平均值±标准误差)

Fig. 4 Log 16S rRNA gene copies under different water condition (WC) and SAP treatments (Mean±SE)

3 讨论

保水剂施加到土壤中能够使土壤的吸水性和保水能力得到有效提高^[17]。本研究中植物萃取物合成的新型保水剂显著增加了土壤含水率,与其他类型保水剂研究结果一致^[10, 18, 19]。施用方法也会影响保水剂的效果,喷施 JC 的效果好于底施 JC,这可能是由于 JC 喷洒到土壤表面后可形成一层保护膜,防止土壤水分蒸发的缘故。土壤团聚体是土粒经各种作用形成的直径在 $10 \sim 0.25 \text{ mm}$ 的结构单位,其组成和稳定性与肥力水平密切相关,并控制着土壤水、气、根系穿插及养分活化等状况。团聚体的稳定性直接影响土壤表层的水、土界面行为,特别是与降雨入渗和土壤侵蚀关系十分密切^[20]。粒径 $0.25 \sim 5.00 \text{ mm}$ 的团粒含量越高,土壤透气度越大,土壤涵养水分和供应植物所需水分的能力越高^[25]。

本研究结果得出植物萃取物合成的新型保水剂同样有利于大团粒结构的形成,这一结果与大多数研究学者的结果一致^[4, 11, 21, 22]。总体来说该类保水剂有利于改善土壤结构,改善土壤通透性。

大量研究表明,保水剂对多数农作物的生长均能起到一定促进作用。刘殿红等^[23]发现保水剂可促进马铃薯干物质的积累,提高光合生产率。杨永辉等^[24]在施用营养型抗旱保水剂时发现小麦产量有所提高。Yazdani 等^[25]发现,保水剂的加入能促进大豆的生长。虽然在本研究中土壤水分充足条件下底施保水剂对于小白菜的生长没有显著的促进作用,但是如果以适宜的使用方式施用保水剂却可以达到较好的节水效果。例如,以小白菜一个生长季为 36 d 计(为了计算方便,选择 12 的倍数),WC2 需浇水 12 次(600 mL),WC3 需浇水 9 次(450 mL)。因此,在不影响小白菜产量的前提下,喷施 JC 可节水 25% 左右。而如果与 WC3 的对照相比,喷施 JC 则能提高小白菜产量 200% 以上。值得注意的是,通常保水剂的作用方式有两种,一种是通过自身的交联结构把水分保持在土壤中,在植物需要的时候供给^[11]。这种方式可能会导致保水剂保持的水分不能被植物利用,即非生物有效态水分。另外一种是在土壤表面形成保护膜^[26],减少水分蒸发的损失,例如在土壤表面喷施保水剂。这部分水由于形态并没有改变而较易被植物利用。本研究中喷施 JC 更有利于作物生长并达到较好的节水效果可能与第二种作用方式有关,具体原因有待进一步的实验数据证明。但基本可以得出,该类保水剂对小白菜的生长没有产生消极作用。

此外,土壤施加保水剂后,土壤微生物量碳和土壤微生物呼吸都得到了显著提高。土壤微生物量会随土壤含水率的增加而增加^[27],但当土壤含水率超过田间持水量时,土壤微生物量会随着土壤含水量的增加而减少^[28]。与空白相比,保水剂的使用增加了土壤含水率可能是间接刺激微生物增长的原因。土壤的颗粒大小使土壤团聚体内水分和空气的分布有较大的差异,并直接影响到土壤颗粒中微生物与

环境间的物质与能量交换^[29]。团聚体的数量及质量不仅影响微生物群落结构,而且与土壤微生物生物量之间存在密切联系^[30, 31]。保水剂在改变土壤物理性状的同时,也为微生物的生长繁殖提供了良好的条件。这可能是保水剂施加促进微生物活性的另外一个间接原因。保水剂对细菌 16S rRNA 基因拷贝数没有显著影响,可能与保水剂用量较低有关,还需要进一步的实验观察。

保水剂的使用一方面是环境安全性,一方面是节水效果。这两方面都不能与小白菜的生产有抵触。本研究结果表明保水剂在保证小白菜产量的同时,增加了土壤的含水率,改善了土壤团粒结构,刺激了土壤微生物活性,并得出喷施 JC 是最佳的施用方式,这些结果都说明了由植物萃取物合成的新型保水剂 JC 和 JS 对小白菜的生长和土壤环境没有造成危害,对土壤微生物还有一定的促进作用。

4 结论

(1)由植物萃取物合成的新型保水剂 JC 和 JS 在不同给水条件下均能显著提高土壤的含水率,并且 JC 的效果好于 JS,喷施 JC 的效果好于底施 JC 和 JS 的效果。植物萃取物合成的新型保水剂 JC 和 JS 能够有效地改善土壤的团粒结构。

(2)在不同水分条件下,植物萃取物合成的新型保水剂 JC 和 JS 均能显著促进土壤中微生物的活性,然而对小白菜生长影响,除了在 WC3 条件下,底施 JS 和喷施 JC 以外,其他水分条件下,保水剂处理对小白菜生长影响不显著。

(3)植物萃取物合成的新型保水剂可广泛运用于农田生产,对土壤能起到保水和改善其通透性的效果,喷施是该类保水剂较佳施用方式,对土壤环境也没有造成不利影响。本结果可为建立起保水剂的生态风险评价体系提供基础。

参考文献:

- [1] 张利平,夏军,胡志芳,等. 中国水资源状况与水资源安全问题分析[J]. 长江流域资源与环境, 2009, **18**(2): 116-120.
- [2] Musila C F, Arnolds J L, van Heerden P D R, *et al.* Mechanisms of photosynthetic and growth inhibition of a southern African geophyte *Tritonia crocata* (L.) Ker. Gawl. by an invasive European annual grass *Lolium multiflorum* Lam [J]. Environmental and Experimental Botany, 2009, **66**(1): 38-45.
- [3] 崔娜,张玉龙,白丽萍. 不同粒径保水剂对土壤物理性质和番茄苗期生长的影响[J]. 核农学报, 2011, **25**(1): 127-130.
- [4] 杨红善,刘瑞凤,张俊平,等. PAAM-atta 复合保水剂对土壤持水性及其物理性能的影响[J]. 水土保持学报, 2005, **19**(3): 38-41.
- [5] 张富仓,李继成,雷艳,等. 保水剂对土壤保水持肥特性的影响研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2010, **18**(1): 120-128.
- [6] Fanta G F, Burr R C, William M D. Graft polymerization of acrylamide and 2-acrylamido-2-methylpropanesulfonic acid onto starch[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1979, **24**(9): 2015-2023.
- [7] 王爱勤,张俊平. 有机-无机复合高吸水性树脂研究进展与发展趋势[J]. 功能材料信息, 2006, **3**(5): 14-18.
- [8] 田巍,李天一,白福臣,等. 保水剂研究进展及应用[J]. 化工新型材料, 2009, **37**(2): 11-14.
- [9] 白文波,王春艳,李茂松,等. 不同灌溉条件下保水剂对新疆棉花生长及产量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, **26**(10): 69-76.
- [10] 陈晓蓉,刘辉,陈薇,等. 几种矿物复合保水剂的保水性能及养分增效研究[J]. 土壤学报, 2011, **49**(1): 194-197.
- [11] 员学锋,汪有科,吴普特,等. PAM 对土壤物理性状影响的试验研究及机理分析[J]. 水土保持学报, 2005, **19**(2): 37-40.
- [12] Busscher W J, Bjorneberg D L, Sojka R E. Field application of PAM as an amendment in deep-tilled US southeastern coastal plain soils[J]. Soil & Tillage Research, 2009, **104**(2): 215-220.
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [14] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1987, **19**(6): 703-707.
- [15] Chen C, Condon L M, Davis M, *et al.* Effects of afforestation on phosphorus dynamics and biological properties in a New Zealand grassland soil[J]. Plant and Soil, 2000, **220**(1-2): 151-163.
- [16] Suzuki M T, Taylor L T, Delong E F. Quantitative analysis of small-subunit rRNA genes in mixed microbial populations via 5'-nuclease assays [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2000, **66**(11): 4605-4614.
- [17] 刘亚琦,黄占斌,林杉,等. 10 种农用保水剂基本性能的比较研究[J]. 干旱地区农业研究, 2011, **29**(6): 147-151.
- [18] 张运超,蒋进,宋春武,等. 4 种剂型保水剂吸水性和保水特性研究[J]. 水土保持通报, 2011, **31**(6): 99-103.
- [19] 张建刚,汪勇,汪有科,等. 10 种保水剂基本特性对比研究[J]. 干旱地区农业研究, 2009, **27**(2): 208-212.
- [20] 赵勇钢,赵世伟,曹丽花,等. 半干旱典型草原区退耕地土壤结构特征及其对入渗的影响[J]. 农业工程学报, 2008, **24**(6): 14-20.
- [21] Goebel M O, Bachmann J, Woche S K, *et al.* Soil wettability, aggregate stability, and the decomposition of soil organic matter [J]. Geoderma, 2005, **128**(1-2): 80-93.
- [22] John B, Yamashita T, Ludwig B, *et al.* Storage of organic carbon

- inaggregate and density fractions of silty soils under different types of land use[J]. *Geoderma*, 2005, **128**(1-2): 63-79.
- [23] 刘殿红, 黄占斌, 蔡连捷, 等. 保水剂用法和用量对马铃薯产量和效益的影响[J]. *西北农业学报*, 2008, **17**(1): 266-270.
- [24] 杨永辉, 武继承, 吴普特, 等. 保水剂用量对小麦不同生育期根系生理特性的影响[J]. *应用生态学报*, 2011, **22**(1): 73-78.
- [25] Yazdani F, Allahdadi I, Akbari G A. Impact of superabsorbent polymer on yield and growth analysis of soybean (*Glycine max* L.) under drought stress condition[J]. *Pakistan Journal Biologic Science*, 2007, **10**(23): 4190-4196.
- [26] 张蕊, 耿桂俊, 于健, 等. 聚丙烯酰胺施用方式对土壤水热及春小麦生产的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2013, **31**(1): 140-145.
- [27] Dalal R C, Mayer R J. Long-term trends in fertility of soil under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland III. Distribution and kinetics of soil organic carbon in particle-size fractions[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 1986, **24**(2): 293-300.
- [28] Killham K, Tennoe M T, Henssonow S F. *Soil Ecology* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- [29] 蒋先军, 李航, 谢德体, 等. 分形理论在土壤肥力研究中的应用与前景[J]. *土壤*, 2007, **39**(5): 677-683.
- [30] Adu J K, Lades J M. Utilization of organic materials in soil aggregates by bacteria and fungi [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1978, **10**(1): 117-122.
- [31] Chan K Y, Heenan D P. Microbial-induced soil aggregate stability under different crop rotations[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1999, **30**(1-2): 29-32.

CONTENTS

Form of the Particulate Matter Ambient Air Standards in China	WANG Shuai, DING Jun-nan, WANG Rui-bin, <i>et al.</i> (401)
Seasonal Variation of Carcinogenic Heavy Metals in PM _{2.5} and Source Analysis in Beijing	TAO Jun, ZHANG Ren-jian, DUAN Jing-chun, <i>et al.</i> (411)
Temporal and Spatial Distribution of PM _{2.5} and PM ₁₀ Pollution Status and the Correlation of Particulate Matters and Meteorological Factors During Winter and Spring in Beijing	ZHAO Chen-xi, WANG Yun-qi, WANG Yu-jie, <i>et al.</i> (418)
Inversion and Spatial-Temporal Distribution Analysis on PM _{5.0} Inhalable Particulate in Beijing	WANG Yan-hui, XIAO Yao (428)
Characterization of Ultrafine Particle Size Distribution in the Urban Atmosphere of Hangzhou in Spring	XIE Xiao-fang, SUN Zai, YANG Wen-jun (436)
Size Distributions of Aerosol During the Spring Festival in Nanjing	WANG Hong-lei, ZHU Bin, SHEN Li-juan, <i>et al.</i> (442)
Size Distributions of Organic Carbon and Elemental Carbon in Nanjing Aerosol Particles	WU Meng-long, GUO Zhao-bing, LIU Feng-ling, <i>et al.</i> (451)
Characterization of Organic and Elemental Carbon in PM ₁₀ in Xinzhou City	SHI Mei-xian, PENG Lin, LIU Xiao-feng, <i>et al.</i> (458)
Seasonal Variation of Concentrations and Distribution Characteristics of PCDD/Fs in Atmosphere of an Industrial Area, Guangzhou	QING Xian, SU Yuan, SU Qing, <i>et al.</i> (464)
Hazard Evaluation Modeling of Particulate Matters Emitted by Coal-Fired Boilers and Case Analysis	SHI Yan-ting, DU Qian, GAO Jian-min, <i>et al.</i> (470)
Chemical Characteristics of Precipitation in South China Sea	XIAO Hong-wei, LONG Ai-min, XIE Lu-hua, <i>et al.</i> (475)
Analysis of Acid Rain Characteristics of Lin'an Regional Background Station Using Long-term Observation Data	LI Zheng-quan, MA Hao, MAO Yu-ding, <i>et al.</i> (481)
Characteristics of Atmospheric Nitrogen Wet Deposition in Beijing Urban Area	HE Cheng-wu, REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> (490)
Studies of Ozone Formation Potentials for Benzene and Ethylbenzene Using a Smog Chamber and Model Simulation	JIA Long, XU Yong-fu (495)
Characteristics of Fly Ash Particles Deposition in the Snowpack of Laohugou Glacier No. 12 in Western Qilian Mountains, China	DONG Zhi-wen, QIN Da-he, QIN Xiang, <i>et al.</i> (504)
Odor Emission Rate of Municipal Solid Waste from Landfill Working Area	QIANG Ning, WANG Hong-yu, ZHAO Ai-hua, <i>et al.</i> (513)
Gaseous Phenol Removal in a Bio-Trickling Filter	HE Jue-cong, HUANG Qian-ru, CHEN Zhou-yang, <i>et al.</i> (520)
Particulate Distribution Characteristics of Chinese Phrase V Diesel Engine Based on Butanol-Diesel Blends	LOU Di-ming, XU Ning, FAN Wen-jia, <i>et al.</i> (526)
Effects of Turning Frequency on Emission of Greenhouse Gas and Ammonia During Swine Manure Windrow Composting	ZHAO Chen-yang, LI Hong-mei, WEI Yuan-song, <i>et al.</i> (533)
Oxidation of Mercury by CuBr ₂ Decomposition Under Controlled-Release Membrane Catalysis Condition	HU Lin-gang, QU Zan, YAN Nai-qiang, <i>et al.</i> (541)
Distributions and Influencing Factors of Total Dissolved Inorganic Antimony in the Coastal Area of Zhejiang and Fujian	ZHANG Xu-zhou, REN Jing-ling, LIU Zong-guang, <i>et al.</i> (547)
Calculation of Allowable Pollution Loads for Lake and Reservoir Based on Bi-direction Algorithm and Its Case Study	JIA Hai-feng, GUO Yu (555)
Risk Assessment of Quaternary Groundwater Contamination in Beijing Plain	GUO Gao-xuan, LI Yu, XU Liang, <i>et al.</i> (562)
Mixing Behavior of Nutrients in Different Seasons at Liaohe Estuary	ZHANG Jin-hua, YU Li-xia, YAO Qing-zhen, <i>et al.</i> (569)
Distribution of Nitrogen in the Sediment of Taige South River Estuary	MA Jiu-yuan, WANG Guo-xiang, LI Zhen-guo, <i>et al.</i> (577)
Selection and Purification Potential Evaluation of Woody Plant in Vertical Flow Constructed Wetlands in the Subtropical Area	CHEN Yong-hua, WU Xiao-fu, HAO Jun, <i>et al.</i> (585)
Correlation of Substrate Structure and Hydraulic Characteristics in Subsurface Flow Constructed Wetlands	BAI Shao-yuan, SONG Zhi-xin, DING Yan-li, <i>et al.</i> (592)
Impacts of <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms Stress on the Growth Characteristics, Microcystins and Nutrients Release of <i>Microcystis aeruginosa</i>	ZHOU Qing, HAN Shi-qun, YAN Shao-hua, <i>et al.</i> (597)
Effects of Different Pre-oxidants on DBPs Formation Potential by Chlorination and Chloramination of Yangtze River Raw Water	TIAN Fu-xiang, XU Bin, RONG Rong, <i>et al.</i> (605)
Adsorption of Phenanthrene from Aqueous Solution on Cetylpyridinium Bromide (CPB)-Modified Zeolite	LI Jia, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (611)
Characteristics and Selectivity of Photocatalytic-Degradation of Tetracycline Hydrochloride	SONG Chen-yi, YIN Da-qiang (619)
Characterization of Biocatalysed Sulfate Reduction in a Cathode of Microbial Electrolysis System	FU Shi-yu, LIU Guang-li, LUO Hai-ping, <i>et al.</i> (626)
Characteristics of Dissolved Organic Matter in A/DAT-IAT System for Municipal Wastewater Treatment Based on Ecological Safety	YANG Sai, ZHOU Qi-xing, HUA Tao (633)
Membrane Surface Fouling Properties in MBRs for High-Salinity Wastewater Treatment	LI Bin, WANG Zhi-wei, AN Ying, <i>et al.</i> (643)
Treatment of Petrochemical Secondary Effluent by Ozone-biological Aerated Filter	LIU Ming-guo, WU Chang-yong, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (651)
Treatment of Pectin Wastewater by Anaerobic Biological Process	CHEN Bing-bing, YANG Chun-ping, LI Xiang, <i>et al.</i> (657)
Sorption Mechanism of Ofloxacin by Carbon Nanotubes	ZHAO Xing-xing, YU Shui-li, WANG Zhe (663)
Biosorption Characteristics of Cu ²⁺ by Spent Substrate of <i>Pleurotus</i> Oyster	HU Xiao-jing, ZANG Ting-ting, GU Hai-dong, <i>et al.</i> (669)
Adsorption Dynamics and Breakthrough Characteristics Based on the Fluidization Condition	WANG Jun, WANG Yao, HUANG Xing, <i>et al.</i> (678)
Characteristics of Speciation and Evaluation of Ecological Risk of Heavy Metals in Sewage Sludge of Guangzhou	GUO Peng-ran, LEI Yong-qian, CAI Da-chuan, <i>et al.</i> (684)
Spatial Distribution and Accumulation of Heavy Metal in Arable Land Soil of China	ZHANG Xiao-min, ZHANG Xiu-ying, ZHONG Tai-yang, <i>et al.</i> (692)
Pollution Patterns and Health Risk Assessment for Polychlorinated Biphenyls in Soils from a Capacitor Storage Site	ZHOU Ling-li, WU Guang-long, XUE Nan-dong, <i>et al.</i> (704)
Occurrence and Spatial Differentiation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soils from Shenzhen, China	ZHANG Di, CAO Shan-ping, SUN Jian-lin, <i>et al.</i> (711)
Risk Assessment and Countermeasures of Heavy Metals Pollution in Wanquan Segment of Yanghe River	TAN Bing, WANG Tie-yu, ZHU Zhao-yun, <i>et al.</i> (719)
Effects of Group Matching Curing Agent on Exchangeable Pb, Cd, Zn Contents in the Potted Soils and their Accumulation in Rice Plants	ZENG Hui, ZHOU Hang, QIU Qiong-yao, <i>et al.</i> (727)
Impact of Compound Chelants on Removal of Heavy Metals and Characteristics of Morphologic Change in Soil from Heavy Metals Contaminated Sites	YIN Xue, CHEN Jia-jun, LÜ Ce (733)
Characterization of Manganese Oxidation by <i>Pseudomonas</i> sp. QJX-1	ZHOU Na-na, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i> (740)
Effects of the Ratio of NO ₃ ⁻ -N to NO ₂ ⁻ -N on the Removal of Sulfide and Nitrogen by Mixed Culture and Pure Culture	CHEN Zi-ai, CHEN Hui-juan, WEI Ben-ping, <i>et al.</i> (746)
Carbon Metabolic Characteristics of Airborne Microbes in Hangzhou	GONG Chan-juan, XU Jing, FANG Zhi-guo, <i>et al.</i> (753)
Study on the Backward Extraction of Cellulase in Rhammolid Reverse Micelles	ZHAO Yan-ge, YUAN Xing-zhong, HUANG Hua-jun, <i>et al.</i> (759)
Inner- and Inter-Species Differences of Mercury Concentration in Common Fishes from the Yellow Sea	ZHU Ai-jia, XU Zhan-zhou, LIU Gui-ze, <i>et al.</i> (764)
Study on the Effect of Enzymatic Activity and Acute Toxicity of Three PAEs on <i>Eisenia foetida</i>	WANG Yan, MA Ze-min, WU Shi-jin (770)
Environmental Safety Assessment on the New Super Absorbent Polymers Applied into a Soil-Chinese Cabbage System	LI Xi, HE Ji-zheng, ZHENG Yuan-ming, <i>et al.</i> (780)
Study on Dynamics of Hydrogen Sulfide and Carbonyl Sulfide Emission Fluxes from <i>Suaeda salsa</i> Marsh in the Yellow River Estuary	LI Xin-hua, GUO Hong-hai, YANG Li-ping, <i>et al.</i> (786)
Key Microbial Processes in Nitrous Oxide Emissions of Agricultural Soil and Mitigation Strategies	ZHU Yong-guan, WANG Xiao-hui, YANG Xiao-ru, <i>et al.</i> (792)

《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)

2014年2月15日 35卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 2 Feb. 15, 2014

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

国内外公开发行