

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第12期

Vol.35 No.12

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(卷终)

北京雾霾天气生物气溶胶浓度和粒径特征	高敏,仇天雷,贾瑞志,韩梅琳,宋渊,王旭明(4415)
杭州大气颗粒物散射消光特性及霾天气污染特征	徐昶,叶辉,沈建东,孙鸿良,洪盛茂,焦荔,黄侃(4422)
太原市采暖季 PM _{2.5} 中元素特征及重金属健康风险评价	李丽娟,温彦平,彭林,白慧玲,刘凤娴,史美鲜(4431)
成都市城区 PM _{2.5} 中二次水溶性无机离子污染特征	李友平,周洪,张智胜,王启元,罗磊(4439)
北京市臭氧的时空分布特征	王占山,李云婷,陈添,张大伟,孙峰,孙瑞雯,董欣,孙乃迪,潘丽波(4446)
南京北郊大气 VOCs 变化特征及来源解析	安俊琳,朱彬,王红磊,杨辉(4454)
祁连山中段降水化学的环境意义研究	李宗杰,李宗省,田青,宋玲玲,贾冰,郭瑞,宋耀选,苏索南,韩春坛(4465)
中亚热带典型林分不同层次氮硫湿沉降动态变化	孙涛,马明,王定勇,黄礼昕(4475)
本底大气 CO ₂ 观测分析过程中 QA/QC 方法的建立与评估	刘立新,周凌晔,夏玲君,王红阳,方双喜(4482)
轻型汽油车 CH ₄ 和 N ₂ O 排放因子研究	何立强,宋敬浩,胡京南,解淑霞,祖雷(4489)
煤燃烧超细微粒粒径谱演变及排放因子的实验研究	孙在,杨文俊,谢小芳,陈秋方,蔡志良(4495)
春、夏季长江口及其邻近海域溶解 N ₂ O 的分布和海-气交换通量	王岚,张桂玲,孙明爽,任景玲(4502)
珠江口水体组分的吸收特性分析	王珊珊,王永波,扶卿华,尹斌,李云梅(4511)
河流汇合处水体磷素形态特征及紫外光照的影响:以渠江-嘉陵江、涪江-嘉陵江交汇为例	闫金龙,江韬,魏世强,李玲,郭念,李璐璐,刘江(4522)
基于太湖微囊藻毒素的叶绿素 a 阈值研究	魏代春,苏婧,纪丹凤,伏小勇,王骥,霍守亮,崔驰飞,唐军,席北斗(4530)
百花湖周边城市近郊小流域氮、磷输出时空特征	冯源嵩,林陶,杨庆媛(4537)
自然光照对淹水条件下三峡库区消落带典型土壤磷释放影响	郭念,江韬,魏世强,闫金龙,梁俭,卢松,高洁(4544)
垂直流人工湿地 LDHs 覆膜改性沸石基质强化除磷效果及其机制	张翔凌,陈俊杰,郭露,陈巧珍,王晓晓(4553)
三峡库区消落带 3 种植物淹水后汞的动态变化及其对水体的影响	张翔,张成,孙荣国,王定勇(4560)
纳米 TiO ₂ 对底泥中汞释放及活化的影响	张金洋,李楚娴,王定勇,周雄,孙荣国,张成,梁丽(4567)
首都水源地——洋河流域人为源多环芳烃(PAHs)排放清单估算及其影响分析	高佳佳,罗维,奚晓霞(4573)
石化工业园区有毒废水来源识别研究	杨茜,于茵,周岳溪,陈学民,伏小勇,王淼(4582)
污水处理厂中红霉素抗药性基因的污染特征及选择性因子	李侃竹,吴立乐,黄圣琳,何势,刘振鸿,薛罡,高品(4589)
2 种填料 BAF 深度处理印染废水沿程污染物变化规律研究	刘俊峰,范举红,刘锐,陈吕军,张永明(4596)
硫酸盐还原型甲烷厌氧氧化菌群驯化及其群落特征	席婧茹,刘素琴,李琳,刘俊新(4602)
MBR 处理腈纶废水的效能及微生物群落结构分析	魏健,宋永会,赵乐(4610)
制革废水的厌氧氨氧化 ABR 脱氮工艺研究	曾国驱,贾晓珊(4618)
生物滤池工艺的数值模拟与运行优化	邹宗森,施汉昌,陈向强,谢小青(4627)
气升装置对厌氧氨氧化污泥形态及性能的影响	李祥,黄勇,袁怡,周呈,陈宗短,张大林(4636)
给水厂污泥改良生物滞留填料除磷效果的研究	王建军,李田,张颖(4642)
北京地区不同城镇污水处理厂堆肥污泥的营养含量和重金属污染	白莉萍,齐洪涛,伏亚萍,李萍(4648)
电子垃圾拆解区污染池塘中鱼类多氯联苯及其代谢产物的组织分配及暴露风险	唐斌,罗孝俊,曾艳红,麦碧娴(4655)
广东罗非鱼养殖区水体和鱼体中重金属、HCHs、DDTs 含量及风险评价	谢文平,朱新平,郑光明,马丽莎(4663)
崇明典型水生生物中雌激素含量和分布特征	耿婧婧,叶爱丽,杨毅,刘敏,张婧,周俊良(4671)
啮虫脒光催化降解动力学的优化及其降解产物的分析	周文常,阳海,胡志斌,兰世林(4678)
氮添加对生长季寒温带针叶林土壤有效氮和酸化的影响	陈高起,傅瓦利,罗亚晨,高文龙,李胜功,杨浩(4686)
土地利用方式对缙云山土壤团聚体稳定性及其有机碳的影响	李鉴霖,江长胜,郝庆菊(4695)
上海市郊设施大棚次生盐渍化土壤盐分含量调查及典型对应分析	唐冬,毛亮,支月娥,张进忠,周培,柴晓彤(4705)
某铅酸蓄电池污染场地表层土壤重金属 Pb 空间分布预测研究	刘庚,牛俊杰,张朝,赵鑫,郭观林(4712)
海泡石对镉-铅复合污染钝化修复效应及其土壤环境质量影响研究	孙约兵,王朋超,徐应明,孙扬,秦旭,赵立杰,王林,梁学峰(4720)
盐碱区不同开发年限水田温室气体排放规律及影响因素	汤洁,方天儒,侯克怡,赵仁竹,梁爽(4727)
不同热解温度生物炭对 Cd(II) 的吸附特性	王震宇,刘国成,Monica Xing,李锋民,郑浩(4735)
碱土金属钙沉积对 Mn-Ce/TiO ₂ 低温 SCR 催化剂脱硝性能的影响	周爱奕,毛华峰,盛重义,谭月,杨柳(4745)
国内外水泥工业大气污染物排放标准比较研究	江梅,李晓倩,纪亮,邹兰,魏玉霞,赵国华,车飞,李刚,张国宁(4752)
我国水泥工业大气污染物排放标准的修订历程与思考	江梅,李晓倩,纪亮,邹兰,魏玉霞,赵国华,车飞,李刚,张国宁(4759)
《环境科学》第35卷(2014年)总目录	(4767)
《环境科学》征订启事(4617) 《环境科学》征稿简则(4654) 信息(4474, 4529, 4536, 4744)	

上海市郊设施大棚次生盐渍化土壤盐分含量调查及典型对应分析

唐冬^{1,2}, 毛亮², 支月娥², 张进忠^{1*}, 周培^{2,3}, 柴晓彤²

(1. 西南大学资源环境学院, 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715; 2. 上海交通大学农业与生物学院, 农业部都市农业(南方)重点实验室, 上海 200240; 3. 上海交通大学陆伯勋食品安全研究中心, 上海 200240)

摘要: 调查和分析了上海市郊出现耕作障碍的设施栽培土壤的盐分特征。随着种植年限的增加, 设施栽培盐渍化土壤中含盐量表现出先升高后降低的趋势。大棚盐渍化土壤主要以微盐渍土、轻度盐渍土和盐土为主, 分别占 17.39%、56.52% 和 13.04%, 其中崇明县芦笋大棚土壤的盐渍化程度最高。大棚土壤盐分离子组成中, 阳离子以 Ca^{2+} 和 Na^{+} 为主, 其次为 Mg^{2+} ; 阴离子以 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 为主, 其次为 Cl^- 。施肥方式、种植年限、作物种类和管理水平都会影响盐渍化程度, 使得土壤含盐量和盐分离子的变化较大。典型对应分析发现, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 NO_3^- 含量受种植年限影响较大; 长期施用单一肥料会加重土壤次生盐渍化, 混施化肥和有机肥的土壤盐渍化程度较低; 根据土壤中盐分离子与样方的关系, 上海市郊设施栽培土壤可划分为 4 种类型, 每种类型土壤受不同盐分离子的影响, 其中以受 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 NO_3^- 和 Cl^- 影响的土壤最多, 应重点控制。

关键词: 上海市郊; 次生盐渍化; 设施大棚土壤; 盐分含量; 典型对应分析

中图分类号: X53 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)12-4705-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.12.038

Investigation and Canonical Correspondence Analysis of Salinity Contents in Secondary Salinization Greenhouse Soils in Shanghai Suburb

TANG Dong^{1,2}, MAO Liang², ZHI Yue-e², ZHANG Jin-zhong¹, ZHOU Pei^{2,3}, CHAI Xiao-tong²

(1. Key Laboratory of Eco-Environments in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Key Laboratory of Urban Agriculture (South), Ministry of Agriculture, School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China; 3. Bor. S. Luh Food Safety Research Center, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: The salinity characteristics of greenhouse soils with cropping obstacles in Shanghai suburb were investigated and analyzed. The salinity contents of the salinization greenhouse soils showed a trend of first increasing and then decreasing with the increasing cropping duration. The salinized soils mainly included slightly salted, mildly salted and salted soils, which accounted for 17.39%, 56.52% and 13.04%, respectively. Among them, the degree of salinity in greenhouse soil planted with asparagus in Chongming County was the highest. Among the salt ions in greenhouse soils, the cations were mainly Ca^{2+} and Na^{+} , while the anions were mainly NO_3^- and SO_4^{2-} . The degree of salinity was mainly influenced by fertilization mode, cropping duration, crop type and management level, which led to the great variation in the salinity contents and salt ions. Canonical correspondence analysis found that the contents of Ca^{2+} , Mg^{2+} and NO_3^- in greenhouse soils were greatly affected by cropping duration, and the degree of salinity would be enhanced and attenuated with long-term application of single fertilizer and mixed application of chemical fertilizer and organic manure, respectively. The greenhouse soils in Shanghai suburb could be classified as four patterns influenced by the relationship between salinity ions and samples, and the most soils were influenced by Ca^{2+} , Mg^{2+} , NO_3^- and Cl^- , which required to be primarily controlled.

Key words: Shanghai suburb; secondary salinization; greenhouse soil; salinity content; canonical correspondence analysis

设施栽培在蔬菜和重要经济作物的反季节、跨区域种植中发挥着重要作用。2008 年, 我国设施栽培面积突破 330 万 hm^2 , 其中设施蔬菜年种植面积达到 34.7 万 hm^2 ^[1]。由于设施环境的封闭性、盲目施肥、不合理灌溉和管理不当等原因, 设施土壤出现养分不均衡、板结和次生盐渍化等问题, 其中次生盐渍化最为突出^[2]。土壤出现次生盐渍化能显著降低植物根系的吸收能力, 改变作物对土壤养分的需求^[3], 势必加大肥料施用, 加重土壤中盐分积累,

加剧土壤次生盐渍化。随着设施使用年限的增加, 土壤盐分积累问题越来越突出, 不仅危害土壤生态环境, 还对作物产生毒害^[4]。

目前, 上海市郊设施菜地面积达到 5 000 hm^2 , 占常年菜地面积的 1/3^[5], 设施大棚蔬菜成为市场

收稿日期: 2014-05-05; 修订日期: 2014-07-21

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2012AA101405)

作者简介: 唐冬(1988~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为污染控制化学, E-mail: tangdong1213@126.com

* 通讯联系人, E-mail: jzhzhang@swu.edu.cn

供给的主要来源之一。由于肥料投入量大、自然淋洗少和管理不当等原因,设施大棚土壤出现不同程度的次生盐渍化,作物生长发生障碍,严重威胁了设施栽培的可持续发展^[6]。现有研究大多局限在该市某一区域,分析种植年限(一般为1~5 a)、种植方式和土层深度等单一因素对盐渍化的影响,而多区域、多因素对设施大棚土壤盐渍化的影响研究还鲜见报道。为此,本研究在充分调查上海市郊设施大棚次生盐渍化土壤盐分含量的基础上,用典型对应分析研究盐分离子含量与采样区域、种植年限和施肥方式等因素的对应关系,探讨种植年限和施肥方式对土壤盐渍化的影响,以期对次生盐渍化土壤污染防治提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 土壤样品采集

2013年9月~2014年1月,在上海市郊的崇明、南汇(现属浦东新区)、奉贤、松江、嘉定、闵行和青浦等7个区县各大园艺场,以作物发生生长障碍、土表出现明显盐渍化的设施大棚土壤为研究对象,采用“S形”采样法,随机采集30个问题大棚的表层土样(0~20 cm),同一大棚土壤样品由多点取样混合而成。同时在崇明采集露天旱地、稻田表土样品为对照。除稻田土样属黏土外,其余土样均属壤土(主要为中壤和轻壤)。所有土样分成两批,一批自然风干,一批在-20℃冰箱中冷藏保存。

1.2 分析方法

取风干土壤,利用“四分法”取舍土样,磨碎、过0.2 mm筛后保存待测。土样分析方法见文献^[7],土壤有机质: $K_2Cr_2O_7$ 滴定法测定;土壤水溶性盐分(EC):用1:5的土水比浸提,电导率仪测定;土壤pH:玻璃电极法;土壤全盐:烘干残渣法; SO_4^{2-} :EDTA间接配位滴定法; CO_3^{2-} 和 HCO_3^- :双指示剂中和滴定法; Cl^- :沉淀滴定法; NO_3^- :用AA3流动注射分析仪(SEAL公司,德国)测定; K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} :ICP-OES法。

1.3 数据统计与处理

用Origin 8.0、SPSS 19.0和Canoco 5.0软件处理数据。在用Canoco 5.0软件进行典型对应分析(CCA)时,将采样点作为“sample”,盐分离子作为“species”,pH、EC、种植年限(years)、单施有机肥(OM)、单施化肥(CF)、混施化肥与有机肥(CF+OM)作为“environment variable”,将OM、CF、CF+OM转化为“0~1”变量,导入数据后,利用软件中的“analysis”功能,选择“constrained (species ~ environment variable)”进行CCA,数据转化方式选用对数形式,排序次数为系统默认,最终获得CCA图。

2 结果与讨论

2.1 上海市郊设施大棚土壤次生盐渍化现状

上海市郊设施土壤和对照土壤的基本理化性质如表1所示。

表1 上海市郊土壤样品的基本理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of soil samples in Shanghai suburb

土壤样品	统计值	pH	EC/mS·cm ⁻¹	有机质/%	含盐量/g·kg ⁻¹
设施大棚土壤	最小值	6.04	0.355	1.46	0.94
	最大值	8.64	3.970	6.72	21.70
	平均值	7.24	1.288	2.96	5.30
	标准偏差	0.86	1.065	1.21	5.64
	变异系数/%	11.92	82.70	40.88	106.23
旱地土壤	平均值	8.09	0.325	2.55	0.66
稻田土壤	平均值	7.60	0.229	3.10	0.72

从表1可以看出,设施大棚土壤的pH最低为6.04,与旱地和稻田土壤比较,呈现一定程度的酸化。这是由于大棚土壤处于封闭环境,硝酸盐易在表层聚集^[8],使土壤pH下降,引起土壤酸化,从而增大土壤中盐分阳离子特别是 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的活性,进而增加EC值。在特定的环境条件和管理措施下,绝大多数永久性农田的土壤有机质含量趋于稳定水平^[9]。在含盐量较高的大棚土壤中,有机质含量的

平均值为2.96%,总体处于正常范围;但是,含盐量变化较大,最小值和最大值分别为0.94 g·kg⁻¹和21.70 g·kg⁻¹,变异系数为106.23%。

上海市郊设施大棚次生盐渍化土壤的分级结果见表2。从中可以看出,根据土壤盐渍化分级标准,上海市郊设施耕作障碍的大棚土壤中非盐渍土、微盐渍土、轻度盐渍土、中度盐渍土、重度盐渍土和盐土分别占4.35%、17.39%、56.52%、4.35%、

4.35% 和 13.04%, 其中崇明县芦笋大棚的盐渍化程度最高(平均含盐量为 $18.54\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)。总体来说,上海设施大棚土壤次生盐渍化程度呈现加重的趋势。

表 2 土壤盐渍化程度分级标准及土样所占比例

Table 2 Graduation standard of salinity degree and the percentages of soil samples						
盐渍化等级	非盐渍土	微盐渍土	轻度盐渍土	中度盐渍土	重度盐渍土	盐土
含盐量/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	<1.0	1.0~2.0	2.0~5.0	5.0~8.0	8.0~10.0	>10.0
比例/%	4.35	17.39	56.52	4.35	4.35	13.04

2.2 土壤盐分离子及其相关性分析

由于上海各地大棚的原始土壤、施肥方式、作物类型和种植年限等因素不尽相同,使得引起盐渍化的离子各不相同,造成不同大棚之间的盐渍化程度差异较大^[10~12]。例如,在同一种植年限下,种植茄瓜类蔬菜的大棚土壤含盐量一般比种植叶类蔬菜的土壤高,这是由不同种类蔬菜的需肥量差异造成的。图 1 为上海市郊次生盐渍土中盐分离子的箱线图。从中可以看出,由于不同地区土壤盐渍化程度和主要盐害离子的差异,采集的设施大棚土样中盐分离子的标准差较大,其中以 NO_3^- 的标准差最大;阳离子以 Ca^{2+} 、 Na^+ 为主,其次为 Mg^{2+} ;阴离子以 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 为主,其次为 Cl^- , HCO_3^- 含量很低,基本不含 CO_3^{2-} 。按易溶性盐形成的盐土进行分类,上海市郊大棚土壤中阴离子浓度比 $[\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}]/[\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-] < 1$, 且 $[\text{Cl}^-]/[\text{SO}_4^{2-}] < 1$, 属于氯化物-硫酸型盐土和硫酸型盐土;阳离子浓度比 $[\text{Na}^+ + \text{K}^+]/[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]$ 为 $0.2 \sim 1.2$, 且 $[\text{Mg}^{2+}]/[\text{Ca}^{2+}] < 2$, 属于 Ca^{2+} - Na^+ 型盐土和 Ca^{2+} 型盐土,这与姚春霞等^[13]的研究结果基本一致。

明确土壤中各离子间、离子与含盐量间的关联性,有利于了解设施大棚土壤积累盐分的构成特点,为治理次生盐渍化土壤提供科学依据。Pearson 相关分析结果(表 3)表明,除 HCO_3^- 外,其它离子均与含盐量呈极显著正相关,以 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和

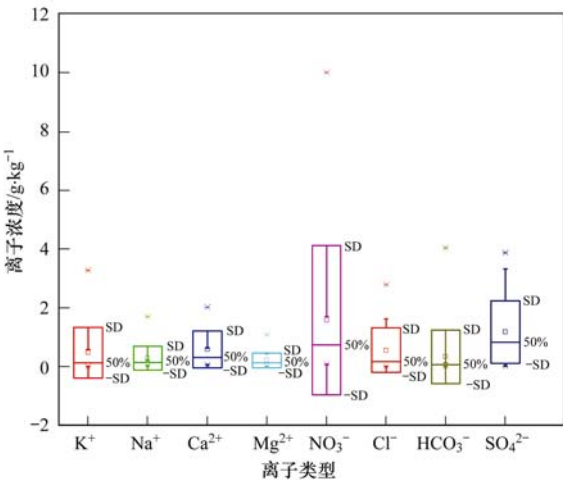


图 1 上海市郊次生盐渍土中盐分离子的箱线图

Fig. 1 Box plots of salt ions in secondary salination soils in Shanghai suburb

NO_3^- 与含盐量的相关系数较高,均大于 0.9; NO_3^- 分别与 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 呈极显著正相关, Ca^{2+} 与 Mg^{2+} 呈极显著正相关, Ca^{2+} 与 Na^+ 无显著相关性。由此看来,含盐量的主要贡献离子是 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 NO_3^- 、 Cl^- 和 SO_4^{2-} ; 以 NO_3^- 的相关性最高,土壤含盐量随 NO_3^- 含量的增加而增加。因此,上海市郊设施大棚土壤次生盐渍化的特点表现为硝酸盐积累,是作物生理障碍的主导因子,与滨海盐土和内陆盐碱土明显不同。由于化肥中富含 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 NO_3^- 等离子,而有机肥中除 N、P、K

表 3 土壤含盐量及离子相关矩阵¹⁾

Table 3 Correlation matrix of soil salinity and its ion components									
	含盐量	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NO_3^-	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}
含盐量	1	0.923 **	0.583 **	0.910 **	0.937 **	0.954 **	0.276	0.752 **	0.687 **
K^+		1	0.558 **	0.803 **	0.814 **	0.897 **	0.345	0.659 **	0.530 **
Na^+			1	0.299	0.450 *	0.464 *	0.387	0.919 **	0.188
Ca^{2+}				1	0.861 **	0.852 **	0.182	0.517 *	0.779 **
Mg^{2+}					1	0.935 **	0.209	0.678 **	0.610 **
NO_3^-						1	0.316	0.661 **	0.511 *
HCO_3^-							1	0.305	-0.118
Cl^-								1	0.311
SO_4^{2-}									1

1) * 表示相关($P < 0.05$); ** 表示显著相关($P < 0.01$)

外,Na⁺和Cl⁻较多,按此将盐分离子分为两组,受施肥类型差异的影响,这两组离子的组内相关系数较高,而组间相关系数较低,甚至无相关性.另外,上海地区大棚土壤中HCO₃⁻含量极低,与含盐量和其它离子均无相关性,这与当地的土质有关.

2.3 不同种植年限次生盐渍化大棚土壤盐分离子的组成特点

按种植年限对设施大棚盐渍土中含盐量和离子组成进行统计分析,获得如表4所示的结果.从中可以看出,随着种植年限的增加,含盐量的平均值呈现先增加后降低的趋势,与Herrero等^[14]的研究结果类似;各离子平均含量也表现出与平均含盐量相似的变化趋势.含盐量的变异系数随种植年限明显增大,种植3~5a的土样为56.12%,6~9a和10a以上的土样分别达到108.61%和103.62%,说

明在短期内(5a以下)不同大棚土壤中含盐量的变化差异不大,6a以上的大棚土壤随种植年限的增加表现出不同程度的盐渍化. Ca²⁺、Mg²⁺和NO₃⁻变异系数的变化趋势也与含盐量相似,种植年限越高,不同大棚间的差异越大.但是,部分离子变异系数的变化趋势不同:K⁺和Na⁺在不同种植年限间均表现出较大变异,说明大棚土壤中两种离子含量的差异较大;SO₄²⁻在不同种植年限间的变异系数较小,维持在相对稳定的水平,说明大棚土壤中SO₄²⁻含量受种植年限的影响较小;Cl⁻的变异系数随种植年限增加而逐渐减小,说明种植年限越长,Cl⁻的地方差异越低.与正常土样中离子含量比较(见表4),除HCO₃⁻外,设施大棚盐渍土表的含盐量和盐分离子含量均明显高于正常土样.

表4 不同年限土壤及正常土样的含盐量和离子组成(n=30)/g·kg⁻¹

Table 4 Salinities and ion components in soils after different cultivated years and in normal soil(n=30)/g·kg ⁻¹										
种植年限/a	统计值	含盐量	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
3~5	最小值	1.40	0.04	0.05	0.14	0.05	0.10	0.01	0.09	0.48
	最大值	8.03	0.59	1.71	0.64	0.24	1.14	0.14	2.80	2.86
	平均值	3.65	0.18	0.40	0.32	0.13	0.49	0.05	0.59	1.50
	标准差	2.05	0.18	0.58	0.20	0.08	0.33	0.05	0.94	0.89
	变异系数/%	56.21	101.5	147.1	61.38	60.49	68.2	100.79	157.63	59.42
6~9	最小值	0.94	0.14	0.05	0.08	0.03	0.11	0.01	0.09	0.02
	最大值	21.70	3.29	0.93	2.03	1.10	10.02	0.13	2.11	4.05
	平均值	7.50	0.87	0.31	0.87	0.31	2.55	0.09	0.62	1.88
	标准差	8.15	1.20	0.34	0.86	0.37	3.60	0.04	0.79	1.69
	变异系数/%	108.61	136.82	108.51	98.87	118.53	140.93	40.86	128.58	89.99
>10	最小值	1.78	0.02	0.06	0.15	0.05	0.75	0.03	0.09	0.29
	最大值	15.52	2.29	0.65	1.86	0.63	7.06	0.10	1.55	1.39
	平均值	4.68	0.40	0.19	0.61	0.22	1.73	0.07	0.60	0.87
	标准差	4.85	0.83	0.21	0.57	0.22	2.35	0.03	0.51	0.36
	变异系数/%	103.62	208.89	112.79	94.27	100.26	136.04	38.25	86.38	40.98
旱地土	平均值	0.66	0.01	0.04	0.08	0.02	0.13	0.13	0.13	0.03
水稻土	平均值	0.72	0.03	0.16	0.06	0.03	0.02	0.15	0.31	0.05

2.4 不同施肥方式下次生盐渍化大棚土壤盐分离子的组成特点

按施肥方式对设施大棚盐渍土中含盐量和离子组成进行统计分析,获得如表5所示的结果.

从表5中可以看出,大棚土壤平均含盐量表现为单施化肥>单施有机肥>混施有机肥和化肥,说明过量和不合理施用化肥对土壤盐渍化的贡献最大;Ca²⁺、NO₃⁻和SO₄²⁻的平均含量均以单施化肥最高,单施有机肥最低,这是由于化肥中富含这些离子,而微生物需要一定时间分解有机肥供作物吸收;K⁺、Na⁺和Cl⁻的平均含量以单施有机肥最高,混施有机肥和化肥最低,有机肥特别是粪肥中含有一

定量的Na⁺和Cl⁻,长期不合理施用有机肥会使土壤中N、P、K含量过高,还会造成Na⁺和Cl⁻在土壤中积累;Mg²⁺的平均含量为单施有机肥≈单施化肥>混施有机肥和化肥.单施化肥的大棚土壤,除HCO₃⁻和SO₄²⁻外,其它离子和含盐量的变异系数均大于100%,不同地区差异较大,这与该地区的施肥类型、施肥量和施肥习惯等有关;在单施有机肥的大棚土壤中HCO₃⁻和SO₄²⁻的变异系数较大,不同地区差异明显,则是因为上海地区土壤中HCO₃⁻含量不高,SO₄²⁻可能受其它因素的影响;混施有机肥和化肥的大棚土壤含盐量和盐分离子的变异系数均较低,采用该种施肥方式的各样点土壤均无明显差异.

表5 不同施肥方式下土壤含盐量和离子组成 ($n=30$)/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$

Table 5 Salinities and ion components in soils with different fertilization modes($n=30$)/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$										
施肥方式	统计值	含盐量	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NO_3^-	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}
单施有机肥	最小值	1.40	0.10	0.12	0.09	0.05	0.06	0.002	0.65	0.02
	最大值	8.03	4.03	1.71	0.27	0.57	1.14	0.14	2.80	1.21
	平均值	4.02	1.90	0.61	0.15	0.28	0.42	0.045	1.70	0.36
	标准差	2.45	1.73	0.68	0.07	0.20	0.44	0.063	0.92	0.51
	变异系数/%	60.94	91.07	111.29	44.92	71.95	102.60	137.91	54.38	142.99
单施化肥	最小值	0.94	0.03	0.05	0.08	0.03	0.10	0.01	0.09	0.02
	最大值	21.70	3.29	0.93	2.03	1.10	10.02	0.13	2.11	4.05
	平均值	7.25	0.81	0.30	0.83	0.29	2.55	0.08	0.61	1.78
	标准差	7.67	1.18	0.32	0.84	0.35	3.48	0.04	0.76	1.54
	变异系数/%	105.76	145.15	106.00	101.31	121.03	136.35	56.92	124.46	86.27
混施有机肥和化肥	最小值	2.01	0.02	0.06	0.18	0.09	0.50	0.008	0.09	0.59
	最大值	4.15	0.29	0.16	0.63	0.44	1.05	0.11	0.78	2.05
	平均值	3.16	0.15	0.11	0.44	0.17	0.78	0.057	0.43	1.03
	标准差	0.80	0.09	0.04	0.17	0.12	0.16	0.036	0.29	0.48
	变异系数/%	25.16	63.13	36.12	39.92	70.43	20.94	62.35	68.12	47.03

2.5 大棚土壤盐分离子的典型对应分析

利用 Canoco 5.0 软件对大棚土壤的盐分离子进行典型对应分析,以反映盐分离子与环境变量(如 pH、EC、施肥方式、种植年限)和采样区域之间的关系,获得如图 2 所示的结果。

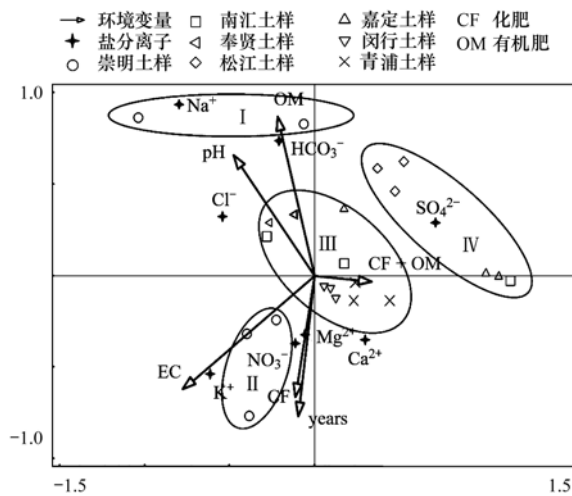


图2 上海市郊设施大棚次生盐渍土的典型对应分析(CCA)
Fig. 2 Canonical correspondence analysis of the secondary saline soils in greenhouse in Shanghai suburb

图2中,特征根的 $F=4.0$, $P=0.002$,轴1、轴2、轴3和轴4的特征根的相关系数分别为0.8101、0.8365、0.6744和0.5356,到轴4的累计合理解释变量为99.87%。环境变量(environment variable)间夹角的余弦值表示二者的相关关系;盐分离子(species)间的距离为卡方距离,表明它们之间的亲疏关系;盐分离子对环境变量线段的投影点到空箭头的距离表示环境变量对盐分离子的影响,距离越

短,影响越大,即在该环境变量中,盐分离子有较大的积累量;盐分离子和样方(sample)间的距离代表盐分离子对样方的影响,距离越近,该离子的盐害作用越明显,根据该距离的远近可将采样点按照一定区域划分为不同类型,每种类型受不同盐分离子的影响。

上海市郊大棚次生盐渍土中 pH 与 OM 呈正相关,说明施加有机肥会使土壤发生一定程度的碱化;而 pH 与 CF 呈负相关,说明施加化肥会使土壤出现一定程度的酸化。盐分离子中, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 与 NO_3^- 的距离较近,说明硝酸盐积累较高的区域, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的浓度也比较高, NO_3^- 与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的相关分析也说明这一点。EC 与种植年限呈正相关,说明随着种植年限的增加,含盐量也增加。根据相关性分析, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 NO_3^- 与含盐量的相关系数较高 (>0.9),且为大棚盐渍化的主要离子,而它们对 years 的投影点到空心箭头的距离较近,说明3种离子的积累量随种植年限的增加而增大。另外,这3种离子在单施化肥的大棚土壤中较容易积累,Sebilo 等^[15]用氮同位素示踪法研究发现,长期施用化肥造成35%~39%的氮素残留于土壤,出现不同程度的盐渍化。因此,在防治次生盐渍化土壤时,除关注 NO_3^- 外,还应重视 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的影响。而 Na^+ 、 Cl^- 、 HCO_3^- 和 SO_4^{2-} 受种植年限的影响相对较小,主要来自于采样地区土壤中的本底含量。同一种种植年限下,不同施肥方式对含盐量和盐分离子的影响不同。化肥以离子形式为作物直接提供营养元素,长期不合理施用化肥对土壤盐分的积累影响较

大^[16],将造成土壤中 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 NO_3^- 过剩,积聚在土壤表层,打破土壤营养平衡,导致蔬菜、瓜果等农产品的产量和品质下降,与张北赢等^[17]和吕家珑等^[18]的研究结果一致;OM、EC 与 years 呈一定负相关,说明短期内有机肥在一定程度上可以改良盐渍化土壤^[19],但长期不合理施用有机肥, Cl^- 和 Na^+ 会在土壤中积累,产生盐害^[20];CF + OM 与 EC 呈负相关,且与 years 无明显相关性,表明混施有机肥和化肥的大棚土壤盐渍化程度较低,不受种植年限的影响,这是因为适量施入有机肥可在一定程度上增强土壤微生物活性^[21],固持化肥矿化出来的氮,降低氮素损失^[22]. Verma 等^[23]和 Brar 等^[24]也发现混施化肥与有机肥可增加土壤中的活跃性碳和水溶性碳含量,显著改善土壤环境. 与单施化肥或有机肥比较,混施化肥和有机肥的土壤中养分释放更符合作物的需肥规律,土壤中盐分离子的积累量大幅下降,减轻了次生盐渍化程度. 因此,合理混施有机肥和化肥可有效防治土壤次生盐渍化. 另外,私人管理和农场管理的大棚土壤盐渍化程度不同^[25],由于私人管理在施肥量控制和空间利用等方面具有一定的盲目性,管理者的知识水平也有一定局限性,基本不采取任何土壤保护性措施;而农场管理相对比较科学,管理者文化程度较高,会针对土壤和作物出现的问题,采取应对措施. 一般来说,私人管理对土壤的破坏大,农场管理破坏较小.

根据盐分离子的距离,可将上海次生盐渍化大棚土样可分为 4 种类型,在图 2 中分别用 4 个区域表示. 区域 I(I 号类型)为崇明县的部分盐渍化大棚土壤,受 Na^+ 、 Cl^- 和 HCO_3^- 的影响较大,这是因为崇明岛由水流冲击而成,四面环海,原始土壤本身属于 NaCl 型滨海盐土^[26],加之该地区长期单施有机肥;区域 II(II 号类型)为崇明县的另一部分盐渍化大棚土壤,受 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 NO_3^- 的影响较大,种植芦笋年限在 10 年左右,加之该地区长期大量单施化肥;区域 III(III 号类型)包括奉贤、闵行、青浦、部分南汇和部分嘉定地区的大棚土壤,涵盖大部分盐渍化土壤,以混施化肥和有机肥为主,存在园艺场管理和私人管理等多种方式,受 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 NO_3^- 和 Cl^- 的影响较大,应重点控制;区域 IV(IV 号类型)为松江、部分嘉定和南汇地区的大棚土壤,主要受 SO_4^{2-} 的影响,原始土壤可能受上海地区 H_2SO_4 型酸沉降的影响^[27],且长期不合理施用化肥. 因此,治理设施次生盐渍化土壤应当因地制宜,采用合适的修复技术.

3 结论

(1)随着种植年限的增加,上海市郊耕作障碍设施大棚土壤的平均含盐量呈现先升高后降低的趋势. 其中,非盐渍土、微盐渍土、轻度盐渍土、中度盐渍土、重度盐渍土和盐土分别占 4.35%、17.39%、56.52%、4.35%、4.35% 和 13.04%,崇明县芦笋大棚的盐渍化程度最高.

(2)大棚盐渍土的含盐量与阴阳离子含量间的相关性较好,阳离子以 Ca^{2+} 和 Na^+ 为主,其次为 Mg^{2+} ;阴离子以 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 为主,其次为 Cl^- . NO_3^- 是最主要的积累离子.

(3)施肥方式、种植年限、种植作物类型和管理水平都会影响次生盐渍化程度. Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 NO_3^- 积累量随种植年限的增加而增大;长期单施有机肥或化肥,分别造成土壤碱化或酸化现象,加重土壤次生盐渍化;合理混施化肥和有机肥的大棚土壤盐渍化程度较低,且不受种植年限的影响.

(4)根据盐分离子和采样点的关系,可将上海市郊设施栽培土壤划分为 4 种类型. 大部分大棚土壤主要受 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 NO_3^- 和 Cl^- 的影响,应重点控制.

参考文献:

- [1] 张金锦,段增强. 设施菜地土壤次生盐渍化的成因、危害及其分类与分级标准的研究进展[J]. 土壤, 2011, 43(3): 361-366.
- [2] 余海英,李廷轩,周健民. 设施土壤次生盐渍化及其对土壤性质的影响[J]. 土壤, 2005, 37(6): 581-586.
- [3] 时唯伟,支月娥,王景,等. 土壤次生盐渍化与微生物数量及土壤理化性质研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(6): 166-170.
- [4] Qin S, Zhang Y J, Yuan B, et al. Isolation of ACC deaminase-producing habitat-adapted symbiotic bacteria associated with halophyte *Limonium sinense* (Girard) Kuntze and evaluating their plant growth-promoting activity under salt stress [J]. Plant and Soil, 2014, 374(1-2): 753-766.
- [5] 郭春霞. 设施农业土壤次生盐渍化污染特征[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2011, 29(4): 50-54, 60.
- [6] Shi G T, Chen Z L, Xu S Y, et al. Salinity and persistent toxic substances in soils from Shanghai, China [J]. Pedosphere, 2009, 19(6): 779-789.
- [7] 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.
- [8] 李文庆,张民,李海峰,等. 大棚土壤硝酸盐状况研究[J]. 土壤学报, 2002, 39(2): 283-287.
- [9] 杨景成,韩兴国,黄建辉,等. 土壤有机质对农田管理措施的动态响应[J]. 生态学报, 2003, 23(4): 787-796.

- [10] Darwish T, Atallah T, El Moujabber M, *et al.* Salinity evolution and crop response to secondary soil salinity in two agro-climatic zones in Lebanon [J]. *Agricultural Water Management*, 2005, **78**(1-2): 152-164.
- [11] 施毅超, 胡正义, 龙为国, 等. 轮作对设施蔬菜大棚中次生盐渍化土壤盐分离子累积的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2011, **19**(3): 548-553.
- [12] 张冈, 周志宇, 张彩萍. 利用方式对盐渍化土壤中有有机质和盐分的影响[J]. *草业学报*, 2007, **16**(4): 15-20.
- [13] 姚春霞, 陈振楼, 许世远. 上海市郊保护地土壤盐分研究[J]. *环境科学*, 2007, **28**(6): 1372-1376.
- [14] Herrero J, Perez-Coveta O. Soil salinity changes over 24 years in a Mediterranean irrigated district [J]. *Geoderma*, 2005, **125**(3-4): 287-308.
- [15] Sebito M, Mayer B, Nicolardot B, *et al.* Long-term fate of nitrate fertilizer in agricultural soils [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2013, **110**(45): 18185-18189.
- [16] 张青狮, 曹广勇. 日光温室蔬菜连作问题的解决对策[J]. *现代农业科技*, 2009, (6): 88-89.
- [17] 张北赢, 陈天林, 王兵. 长期施用化肥对土壤质量的影响[J]. *中国农学通报*, 2010, **26**(11): 182-187.
- [18] 吕家珑, 张一平, 王旭东, 等. 长期单施化肥对土壤性状及作物产量的影响[J]. *应用生态学报*, 2001, **12**(4): 569-572.
- [19] Yao L X, Li G L, Tu S H, *et al.* Salinity of animal manure and potential risk of secondary soil salinization through successive manure application [J]. *Science of the Total Environment*, 2007, **383**(1-3): 106-114.
- [20] 王辉, 董元华, 张绪美, 等. 集约化养殖畜禽粪便农用对土壤次生盐渍化的影响评估[J]. *环境科学*, 2008, **29**(1): 183-188.
- [21] Tu C, Louws F J, Creamer N G, *et al.* Responses of soil microbial biomass and N availability to transition strategies from conventional to organic farming systems [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2006, **113**(1-4): 206-215.
- [22] Liang Y C, Si J, Nikolic M, *et al.* Organic manure stimulates biological activity and barley growth in soil subject to secondary salinization [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2005, **37**(6): 1185-1195.
- [23] Verma B C, Datta S P, Rattan R K, *et al.* Labile and stabilised fractions of soil organic carbon in some intensively cultivated alluvial soils [J]. *Journal of Environmental Biology*, 2013, **34**(6): 1069-1075.
- [24] Brar B S, Singh K, Dheri G S, *et al.* Carbon sequestration and soil carbon pools in a rice-wheat cropping system: Effect of long-term use of inorganic fertilizers and organic manure [J]. *Soil & Tillage Research*, 2013, **128**: 30-36.
- [25] 李俊良, 崔德杰, 孟祥霞, 等. 山东寿光保护地蔬菜施肥现状及问题的研究[J]. *土壤通报*, 2002, **33**(2): 126-128.
- [26] 睦丽华, 胡敦华. 崇明岛滩涂土壤的形成特点与开发利用意见[J]. *上海农业学报*, 1989, **5**(1): 91-96.
- [27] 艾东升, 郑祥民, 周立旻, 等. 近2年上海市夏季降水地球化学特征研究[J]. *环境科学*, 2010, **31**(9): 2002-2009.

CONTENTS

Concentration and Size Distribution of Bioaerosols at Non-haze and Haze Days in Beijing	GAO Min, QIU Tian-lei, JIA Rui-zhi, <i>et al.</i> (4415)
Light Scattering Extinction Properties of Atmospheric Particle and Pollution Characteristics in Hazy Weather in Hangzhou	XU Chang, YE Hui, SHEN Jian-dong, <i>et al.</i> (4422)
Characteristic of Elements in PM _{2.5} and Health Risk Assessment of Heavy Metals During Heating Season in Taiyuan	LI Li-juan, WEN Yan-ping, PENG Lin, <i>et al.</i> (4431)
Pollution Characteristics of Secondary Water-soluble Inorganic Ions of PM _{2.5} in Urban Chengdu, China	LI You-ping, ZHOU Hong, ZHANG Zhi-sheng, <i>et al.</i> (4439)
Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Ozone in Beijing	WANG Zhan-shan, LI Yun-ting, CHEN Tian, <i>et al.</i> (4446)
Characteristics and Source Apportionment of Volatile Organic Compounds (VOCs) in the Northern Suburb of Nanjing	AN Jun-lin, ZHU Bin, WANG Hong-lei, <i>et al.</i> (4454)
Environmental Significance of Wet Deposition Composition in the Central Qilian Mountains, China	LI Zong-jie, LI Zong-xing, TIAN Qing, <i>et al.</i> (4465)
Dynamics of Nitrogen and Sulfur Wet Deposition in Typical Forest Stand at Different Spatial Levels in Simian Mountain, Mid-subtropical Region	SUN Tao, MA Ming, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (4475)
Establishment and Assessment of QA/QC Method for Sampling and Analysis of Atmosphere Background CO ₂	LIU Li-xin, ZHOU Ling-xi, XIA Ling-jun, <i>et al.</i> (4482)
An Investigation of the CH ₄ and N ₂ O Emission Factors of Light-duty Gasoline Vehicles	HE Li-qiang, SONG Jing-hao, HU Jing-nan, <i>et al.</i> (4489)
Experimental Study on the Size Spectra and Emission Factor of Ultrafine Particle from Coal Combustion	SUN Zai, YANG Wen-jun, XIE Xiao-fang, <i>et al.</i> (4495)
Distributions and Air-Sea Fluxes of Dissolved Nitrous Oxide in the Yangtze River Estuary and Its Adjacent Marine Area in Spring and Summer	WANG Lan, ZHANG Gui-ling, SUN Ming-shuang, <i>et al.</i> (4502)
Spectral Absorption Properties of the Water Constituents in the Estuary of Zhujiang River	WANG Shan-shan, WANG Yong-bo, FU Qing-hua, <i>et al.</i> (4511)
Characteristics of Phosphorus Forms and the Effects of UV Light in the Confluences Water of Qujiang-Jialing River and Fujiang-Jialing River	YAN Jin-long, JIANG Tao, WEI Shi-qiang, <i>et al.</i> (4522)
Research on the Threshold of Chl-a in Lake Taihu Based on Microcystins	WEI Dai-chun, SU Jing, JI Dan-feng, <i>et al.</i> (4530)
Temporal and Spatial Characteristic of Nitrogen and Phosphorus Output in the Suburb Watershed Around the Baihua Lake	FENG Yuan-song, LIN Tao, YANG Qing-yuan (4537)
Effects of Light Irradiation on Phosphorous Releases from Typical Submerged Soils of Water-Level Fluctuation Zones of Three Gorges Reservoirs Areas	GUO Nian, JIANG Tao, WEI Shi-qiang, <i>et al.</i> (4544)
Analysis on the Removal Efficiency and Mechanisms of Phosphorus by Modified Zeolites Substrates Coated with LDHs Reacted by Different Metal Compounds in Laboratory-Scale Vertical-Flow Constructed Wetlands	ZHANG Xiang-ling, CHEN Jun-jie, GUO Lu, <i>et al.</i> (4553)
Mercury Dynamics of Several Plants Collected from the Water-Level Fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir Area During Flooding and Its Impact on Water Body	ZHANG Xiang, ZHANG Cheng, SUN Rong-guo, <i>et al.</i> (4560)
Effect of Nano-TiO ₂ on the Release and Activation of Mercury in Sediment	ZHANG Jin-yang, LI Chu-xian, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (4567)
Estimation Inventory of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) from Anthropogenic Sources and Its Impacts within the Yanghe Watershed, an Important Water-Source Site of Beijing, China	GAO Jia-jia, LUO Wei, XI Xiao-xia (4573)
Source Identification of Toxic Wastewaters in a Petrochemical Industrial Park	YANG Qian, YU Yin, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (4582)
Investigation of Pollution Characteristics of Erythromycin Resistance Genes in a Sewage Treatment Plant and the Relevant Selective Factors	LI Kan-zhu, WU Li-le, HUANG Sheng-lin, <i>et al.</i> (4589)
Variation of Pollutants Along the Height of Two Media BAF During Advanced Treatment of Dyeing Wastewater	LIU Jun-feng, FAN Ju-hong, LIU Rui, <i>et al.</i> (4596)
Acclimatization and Characteristics of Microbial Community in Sulphate-Dependent Anaerobic Methane Oxidation	XI Jing-ru, LIU Su-qin, LI Lin, <i>et al.</i> (4602)
Capability and Microbial Community Analysis of a Membrane Bioreactor for Acrylic Fiber Wastewater Treatment	WEI Jian, SONG Yong-hui, ZHAO Le (4610)
Nitrogen Removal Performance of ANAMMOX ABR Process in Tannery Wastewater Treatment	ZENG Guo-qu, JIA Xiao-shan (4618)
Numerical Simulation and Operation Optimization of Biological Filter	ZOU Zong-sen, SHI Han-chang, CHEN Xiang-qiang, <i>et al.</i> (4627)
Effect of Gas-lift Device on the Morphology and Performance of ANAMMOX Sludge	LI Xiang, HUANG Yong, YUAN Yi, <i>et al.</i> (4636)
Water Treatment Residual as a Bioretention Media Amendment for Phosphorus Removal	WANG Jian-jun, LI Tian, ZHANG Ying (4642)
Nutrient Contents and Heavy Metal Pollutions in Composted Sewage Sludge from Different Municipal Wastewater Treatment Plants in Beijing Region	BAI Li-ping, QI Hong-tao, FU Ya-ping, <i>et al.</i> (4648)
Polychlorinated Biphenyls and Their Methylsulfonyl Metabolites in Fish from an Electronic Waste Recycling Site in South China: Tissue Distribution and Human Dietary Exposure	TANG Bin, LUO Xiao-jun, ZENG Yan-hong, <i>et al.</i> (4655)
Residues and Health Risk Assessment of HCHs, DDTs and Heavy Metals in Water and <i>Tilapia</i> s from Fish Ponds of Guangdong	XIE Wen-ping, ZHU Xin-ping, ZHENG Guang-ming, <i>et al.</i> (4663)
Concentration and Distribution Characteristics of Estrogen in Aquatic Organism from Chongming Island	GENG Jing-jing, YE Ai-li, YANG Yi, <i>et al.</i> (4671)
Photocatalytic Degradation of Acetamiprid by TiO ₂ and Xe Lamp: Kinetics and Degradation Intermediates	ZHOU Wen-chang, YANG Hai, HU Zhi-bin, <i>et al.</i> (4678)
Effects of Nitrogen Addition on Available Nitrogen Content and Acidification in Cold-temperate Coniferous Forest Soil in the Growing Season	CHEN Gao-qi, FU Wa-li, LUO Ya-chen, <i>et al.</i> (4686)
Impact of Land Use Type on Stability and Organic Carbon of Soil Aggregates in Jinyun Mountain	LI Jian-lin, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju (4695)
Investigation and Canonical Correspondence Analysis of Salinity Contents in Secondary Salinization Greenhouse Soils in Shanghai Suburb	TANG Dong, MAO Liang, ZHI Yue-e, <i>et al.</i> (4705)
Spatial Distribution Prediction of Surface Soil Pb in a Battery Contaminated Site	LIU Geng, NIU Jun-jie, ZHANG Chao, <i>et al.</i> (4712)
Immobilization Remediation of Cd and Pb Contaminated Soil: Remediation Potential and Soil Environmental Quality	SUN Yue-bing, WANG Peng-chao, XU Ying-ming, <i>et al.</i> (4720)
Rules and Impact Factors of Greenhouse Gases Emission in the Saline-Alkali Paddy Fields in Different Years	TANG Jie, FANG Tian-ru, HOU Ke-yi, <i>et al.</i> (4727)
Adsorption of Cd(II) Varies with Biochars Derived at Different Pyrolysis Temperatures	WANG Zhen-yu, LIU Guo-cheng, Monica Xing, <i>et al.</i> (4735)
Poisoning Effect of Ca Depositing Over Mn-Ce/TiO ₂ Catalyst for Low-temperature Selective Catalytic Reduction of NO by NH ₃	ZHOU Ai-yi, MAO Hua-feng, SHENG Zhong-yi, <i>et al.</i> (4745)
A Comparative Study on Domestic and Foreign Emission Standards of Air Pollutants for Cement Industry	JIANG Mei, LI Xiao-qian, JI Liang, <i>et al.</i> (4752)
Revision Process and Thinking of Emission Standard of Air Pollutants for Cement Industry	JIANG Mei, LI Xiao-qian, JI Liang, <i>et al.</i> (4759)

《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12月15日 第35卷 第12期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 12 Dec. 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