

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第9期

Vol.36 No.9

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

长江三角洲 PM _{2.5} 质量浓度遥感估算与时空分布特征	徐建辉, 江洪 (3119)
宁波市 PM _{2.5} 中碳组分的时空分布特征和二次有机碳估算	杜博涵, 黄晓锋, 何凌燕, 胡敏, 王川, 任宇超, 应红梅, 周军, 汪伟峰, 许丹丹 (3128)
青岛大气中酸碱气体及 PM _{2.5} 中水溶性离子的浓度特征和气粒平衡关系	周佳佳, 石金辉, 李丽平, 姚小红, 高会旺 (3135)
北京雾霾天大气颗粒物中微生物气溶胶的浓度及粒谱特征	胡凌飞, 张柯, 王洪宝, 李娜, 王洁, 杨文慧, 殷喆, 焦周光, 温占波, 李劲松 (3144)
2015 年春节北京市空气质量分析	程念亮, 陈添, 张大伟, 李云婷, 孙峰, 魏强, 刘嘉林, 刘保献, 孙瑞雯 (3150)
上海市大气挥发性有机化学消耗与臭氧生成的关系	王红丽 (3159)
生物滴滤塔净化氯代烃混合废气的研究	陈东之, 缪孝平, 欧阳杜娟, 叶杰旭, 陈建孟 (3168)
一种基于 GOCI 数据的叶绿素 a 浓度三波段估算模型	郭宇龙, 李云梅, 李渊, 吕恒, 刘阁, 王旭东, 张思敏 (3175)
巢湖溶解性有机物时空分布规律及其影响因素	叶琳琳, 吴晓东, 刘波, 闫德智, 张玫琪, 周阳 (3186)
河北洺河溶解性有机物光谱学特性	虞敏达, 张慧, 何小松, 檀文炳, 张媛, 马丽娜, 席北斗, 党秋玲, 高如泰 (3194)
东山岛地下水“三氮”空间分布特征	吴海燕, 傅世锋, 蔡晓琼, 汤坤贤, 曹超, 陈庆辉, 梁修雨 (3203)
重庆典型岩溶区地下河中溶解态正构烷烃、脂肪酸来源、迁移及转化	梁作兵, 孙玉川, 王尊波, 师阳, 江泽利, 张媚, 谢正兰, 廖昱 (3212)
硫酸对乌江中上游段岩溶水化学及 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 的影响	黄奇波, 覃小群, 刘朋雨, 张连凯, 苏春田 (3220)
阆中市思依镇水化学特征及其成因分析	张艳, 吴勇, 杨军, 孙厚云 (3230)
东南沿海河流-水库系统藻类生长营养盐限制季节变动	陈聪聪, 饶拉, 黄金良, 白敏冬 (3238)
水体氮磷营养盐水平与氯霉素浓度复合水体对苦草的生理生化影响	胡珍珍, 崔益斌, 李梅, 余静 (3248)
溶藻活性物质对棕囊藻溶藻及其脂肪酸影响的模拟	杨秋婵, 赵玲, 尹平河, 谭烁, 舒万姣, 侯少玲 (3255)
坡岸截留强化处理设施在不同运行条件下对农业面源污染物去除效果	李怀正, 陈珂莉, 危忠, 王卫刚 (3262)
典型材料屋面积尘重金属形态分布与风险评估	李敦柱, 管运涛, 刘安, 李思远 (3269)
南水北调丹江口水库水氯(胺)化消毒副产物产生特性与消毒工艺对比	张民盛, 徐斌, 张天阳, 程拓, 夏圣骥, 楚文海 (3278)
臭氧-混凝交互作用对混凝效果的影响	刘海龙, 郭雪峰, 王敏慧, 焦茹媛, 石健 (3285)
含溴水臭氧化过程阴离子对溴酸盐生成的影响	吴悦, 吴纯德, 刘吕刚, 袁博杰 (3292)
厌氧环境雌黄溶解产物形态的 XAS 研究	王莹, 许丽英, 王少锋, 肖翻, 贾永峰 (3298)
印染及染料行业废水生物处理系统中的 AOX 污染研究	申洋洋, 刘锐, 徐灿灿, 舒小铭, 许江军, 兰亚琼, 陈吕军 (3304)
螺旋霉素制药废水处理过程中耐药菌和抗性基因的转归特征	覃彩霞, 佟娟, 申佩弘, 魏源送 (3311)
两种膜生物反应器处理养猪沼液的比较研究	税勇, 川岸朋树, 宋小燕, 刘锐, 陈吕军 (3319)
农村污水膜生物反应器系统中微生物群落解析	孔晓, 崔丙健, 金德才, 吴尚华, 杨波, 邓晔, 庄国强, 庄绪亮 (3329)
四区一体反应器冬季启动脱氮特性及硝化菌群结构分析	张岩, 孙凤侠, 谢杭冀, 陈敬, 睦稀, 甘志明, 王修平, 史扬 (3339)
从亚硝酸还原厌氧氨氧化转变为硫酸盐型厌氧氨氧化	刘正川, 袁林江, 周国标, 李晶 (3345)
提高有机负荷对好氧颗粒污泥形成与稳定过程的影响	刘小鹏, 王建芳, 钱飞跃, 王琰, 陈重军, 沈耀良 (3352)
常规施肥条件下农田不同途径氮素损失的原位研究: 以长江中下游地区夏玉米季为例	桑蒙蒙, 范会, 姜珊珊, 蒋静艳 (3358)
水氮组合模式对双季稻甲烷和氧化亚氮排放的影响	傅志强, 龙攀, 刘依依, 钟娟, 龙文飞 (3365)
厌氧条件下砂壤水稻土 N ₂ 、N ₂ O、NO、CO ₂ 和 CH ₄ 排放特征	曹娜, 王睿, 廖婷婷, 陈诺, 郑循华, 姚志生, 张海, Klaus Butterbach-Bahl (3373)
黄土丘陵区不同有机碳背景下侵蚀坡面土壤呼吸特征	陈盖, 许明祥, 张亚锋, 王超华, 樊会敏, 王闪闪 (3383)
生物炭添加对半干旱地区土壤温室气体排放的影响	郭艳亮, 王丹丹, 郑纪勇, 赵世伟, 张兴昌 (3393)
宁南山区林地土壤原位矿化过程中碳氮转化耦合特征	倪银霞, 黄懿梅, 牛丹, 赵彤, 闫浩, 蒋跃利 (3401)
石漠化山地植被恢复过程土壤团聚体氮分布及与氮素矿化关系研究	胡宁, 马志敏, 蓝家程, 伍宇春, 陈高起, 傅瓦利, 文志林, 王文净 (3411)
江汉平原农田土壤有机碳分布与变化特点: 以潜江市为例	王玉竹, 肖和艾, 周萍, 童成立, 葛体达, 曾冠军, 吴金水 (3422)
缙云山不同土地利用方式下土壤团聚体中活性有机碳分布特征	李睿, 江长胜, 郝庆菊 (3429)
西北典型工矿型城市街道尘埃重金属污染的环境磁学响应	聂燕, 王新, 王博, 许淑婧, 高福元, 余晔, 夏敦胜, 夏听鸣 (3438)
电镀厂周边环境重金属分布特征及人体健康暴露风险评价	郭鹏然, 雷永乾, 周巧丽, 王畅, 潘佳钊 (3447)
典型电力电容器污染土壤中多氯联苯水平及特性	刘洁, 李晓东, 赵中华, 祁志福, 陈彤, 严建华 (3457)
紫色土对硫丹的吸附与解吸特征	赵炎, 郑国灿, 朱恒, 张进忠, 朱秀英, 胡淑春, 吴娅林 (3464)
紫茉莉对石油污染盐碱土壤微生物群落与石油烃降解的影响	焦海华, 崔丙健, 吴尚华, 白志辉, 黄占斌 (3471)
4 株外生菌根真菌对 Al ³⁺ 吸收与吸附的研究	王明霞, 袁玲, 黄建国, 周志峰 (3479)
长春市郊区蔬菜有机磷农药残留与健康风险评价	于锐, 刘景双, 王其存, 刘强, 王洋 (3486)
北京市北神树生活垃圾填埋场产甲烷菌的群落结构和演替规律	宋立娜, 王磊, 夏孟婧, 苏月, 李振山 (3493)
城市分散式粪便颗粒化有机肥用作叶菜肥的肥力及环境影响	吕文洲, 乔宇祥, 余宁, 史荣华, 王光明 (3501)
V ₂ O ₅ -WO ₃ /TiO ₂ 催化剂与活性炭混合降解气相二噁英	任咏, 纪莎莎, 俞明峰, 李晓东, 严建华 (3508)
基于出行服务的纯电动公交车节能减排效益分析	林晓丹, 田良, 吕彬, 杨建新 (3515)
我国挥发性有机物定义和控制指标的探讨	江梅, 邹兰, 李晓倩, 车飞, 赵国华, 李刚, 张国宁 (3522)
异化铁还原对土壤中重金属形态转化及其有效性影响	司友斌, 王娟 (3533)
《环境科学》征订启事 (3297) 《环境科学》征稿简则 (3303) 信息 (3127, 3202, 3277, 3318)	

城市分散式粪便颗粒化有机肥用作叶菜肥的肥力及环境影响

吕文洲¹, 乔宇祥¹, 余宁², 史荣华², 王光明²

(1. 宁波大学建筑工程与环境学院, 宁波 315211; 2. 宁波市市容环境卫生管理处, 宁波 315000)

摘要: 城市分散式粪便的处理已经成为现代化城市管理的一个难题。本研究在将城市分散式粪便经收集、除渣、絮凝脱水后制成颗粒肥; 通过盆栽小青菜试验, 评价了不同施肥量对小青菜的增产效果以及对土壤、淋溶水性质的影响, 探讨了颗粒肥用于叶菜施肥的可行性。结果表明, 施用颗粒肥可显著提高小青菜产量, 试验条件下未对小青菜叶片造成大肠杆菌、大肠菌群等病原菌污染; 在适当比例的施肥水平下, 颗粒肥施用后淋溶水中的病原菌浓度低于对照组。施用颗粒肥能显著提高土壤氮、磷、钾、有机质等营养物质含量, 提高土壤孔隙度水平, 降低土壤容重, 改善土壤理化性质; 同时颗粒肥施用不会对土壤和淋溶水造成重金属离子污染, 且能有效降低土壤氮、钾的淋溶。

关键词: 分散粪便; 颗粒肥; 土壤改良; 重金属; 淋溶水

中图分类号: X171.1; X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)09-3501-07 DOI: 10.13227/j.hjkk.2015.09.048

Fertility and Environmental Impacts of Urban Scattered Human Feces Used as Organic Granular Fertilizer for Leaf Vegetables

LÜ Wen-zhou¹, QIAO Yu-xiang¹, YU Ning², SHI Rong-hua², WANG Guang-ming²

(1. Faculty of Architectural, Civil Engineering and Environment, Ningbo University, Ningbo 315211, China; 2. Ningbo Environment and Sanitation Management Office, Ningbo 315000, China)

Abstract: The disposal of urban scattered human feces has become a difficult problem for the management of modern city. In present study, the scattered human feces underwent the collection, scum removal, flocculation and dehydration, finally became the granular fertilizer; the effects of the ratio of fertilizer to soil on the growth of the pakchoi and the quality of soil and leaching water were evaluated, and the feasibility of granular fertilizer manuring the pakchoi was discussed by pot experiments. The results showed that the granular fertilizer significantly enhanced the production of the pakchoi which were not polluted by the intestinal microorganisms under the experiment conditions; meanwhile, at the proper ratio of fertilizer to soil, the concentration of these microorganisms in the leaching water was lower than that in the control check. Chemical analyses of soil revealed that the nutrient content of nitrogen, phosphorus, potassium and organic matters in soil became much richer in all treatments. In addition, the granular fertilizer improved the physical-chemical properties of soil, including raising the level of soil porosity and reducing the volume weight of soil. Application of granular fertilizer won't pollute the soil or leaching water; instead, it can also prevent nitrogen, potassium and intestinal microorganisms from leaching into ground water at the proper ratio of granular fertilizer to soil.

Key words: scattered human feces; granular fertilizer; soil improvement; heavy metals; leaching water

城市分散式粪便(如公厕、化粪池等)因为其性质和填埋处理的限制已经成为当前城市管理的一个难题,探索分散式粪便的科学处置已经成为一个刻不容缓的问题。粪便中富含植物所需的营养元素及有机质,具有用作肥料的潜力,目前以填埋为主的处理方式造成了巨大的资源浪费。以前的传统农业曾将粪便直接用于农田,但由于肥力低、使用不便且容易造成二次污染的问题,已经逐步被化肥取代。但有机肥具有普通化肥无法比拟的优势,特别是可有效防止土壤的板结。随着我国农业结构的调整,资源节约型和环境友好型的现代农业迅速发展,对有机肥的需求量剧增。目前应用较多的有机肥来自禽、畜粪便,其中往往夹带饲料添加剂、兽药、雌激

素^[1]等残留,因此可能对作物本身、生态环境以及人体健康造成一定的危害和风险。突出的问题比如四环素、金霉素、土霉素等抗生素、饲料添加剂在蔬菜中的残留、累积^[2-4];禽畜粪便中抗生素对堆肥过程^[5]以及施肥土壤中微生物群落结构与功能的破坏^[6-8]以及禽畜粪便中As、Ni、Cd、Cr等重金属对土壤、地下水的污染^[9-13],因此禽畜粪有机肥一直饱受诟病。考虑到城市分散式粪便基本来源于健康人群,加之一般经过了较长时间的腐熟,相比之

收稿日期: 2015-01-20; 修订日期: 2015-04-01

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(LY12E08007); 宁波市农村科技创新创业资金项目(2014C91030)

作者简介: 吕文洲(1974~),男,博士,副教授,主要研究方向为废物资源化利用, E-mail: wenzhoulv@yahoo.com

下可能没有禽畜粪使用作有机肥时存在的诸多问题,因此在用于有机肥方面可能更具潜力. 本研究将城市分散式粪便制成颗粒有机肥并进行小青菜施肥试验,探讨有机肥的肥力以及对土壤、地下水的环境影响,评价施肥后叶片表面的大肠菌群的积累,对于探索和推进城市粪便的资源化处置利用具有重要的意义.

1 材料与方法

1.1 试验材料及方法

城市分散式粪便中的粪渣通过吸粪车收集,经过粗格栅、一体式固液分离设备去掉粒径大于 8 mm 的残渣,然后通过投加 0.5‰ 的聚丙烯酰胺对悬浮物进行絮凝后进入螺压脱水机造粒进行颗粒化,制成颗粒肥,处理流程如图 1 所示.

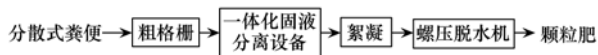


图 1 颗粒肥生产流程示意

Fig. 1 Flow chart of production of granular fertilizer from human feces

试验土壤取自宁波市郊某大田,较贫瘠且多年未耕种. 土壤经风干、磨碎过 2 mm 筛. 将颗粒肥和土壤按照 1:5、1:4、1:3、1:2、1:1 的肥土比混合. 分别取不同肥土比混合土壤 3 kg 置于花盆内,以不施肥为对照(CK),每个处理设 3 个重复. 试验在塑料大棚中进行,花盆内的混合土壤经自来水喷雾并浸透约 2/3,静置 1 d 后点播小青菜种子 15 粒. 花盆采取随机排列布局,定期调换位置、定期喷雾灌溉,并尽可能保证外界环境条件相同. 2 个月后收取小青菜地上部分后称其鲜重;经 105℃ 杀青 30 min, 75℃ 烘干至恒重后测其干重. 同时测定土壤的相关指标. 在试验结束前,加大喷雾量,使花盆底部有淋溶水流出,采集约 2 000 mL 淋溶水,充分混匀后取 200 mL 到样品瓶,置于 4℃ 冰箱存放并及时分析相关指标.

1.2 分析方法

①土壤性质测定:含水率采用烘干法;容重采用比重法和环刀法;速效磷、有机质、氨氮、全钾分别采用国标 NY/T 1121.7-2006、GB 9834-88、GB 7479-87、GB 9836-88 方法测定.

②金属离子含量测定:风干过筛的一定量土壤参照原子吸收分光光度法(GB/T 17141-1997)中的预处理方法进行消解并经 0.45 μm 滤膜过滤. 参照

规范^[14]中相关方法使用 ICP(100DV 型,铂金埃尔默,美国)测定 Cu、Zn、总 Cr、Ni、Cd、Pb 的离子含量.

③淋溶液测定:淋溶氮、淋溶磷参照①中氨氮、速效磷的测定方法,金属离子测定方法同②.

④大肠菌群和大肠杆菌测定采用美国 3M 公司的试剂盒:每个处理各采集 5 片大小类似的叶片置于 200 mL 无菌水中反复振荡后取水样测定;取各处理淋溶水 1 mL(每个处理 3 次重复)垂直滴在测试片中央处测得淋溶水中菌落数量.

⑤数据采用 SPSS 17.0 进行 Pearson 相关性及显著性(双侧)分析.

2 结果与分析

2.1 颗粒肥施用对生物量的影响

图 2 显示颗粒肥施用后小青菜生物量增加明显,且小青菜生物量与施肥量呈极显著相关($P < 0.01$),见表 1. 试验中分别观察小青菜地上部分和根部生物量变化,发现地上部分生物量比根部增加更显著(施用颗粒肥对根部的影响不显著, $P > 0.05$).

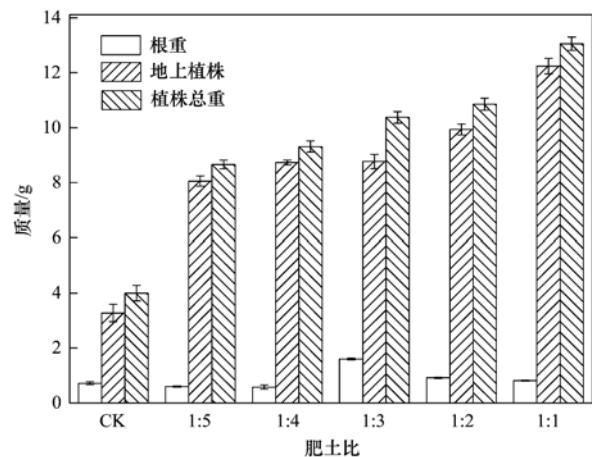


图 2 颗粒肥施用比例对小青菜生物量的影响

Fig. 2 Effects of the ratio between granular fertilizer and soil on the growth of pakchoi

2.2 颗粒肥施用对土壤氮磷钾的影响

图 3 显示全钾和速效磷随肥土比增大而增大,且变化显著($P < 0.01$),而氨氮在肥土比为 1:5 至 1:2 时增加缓慢,这可能是因为测定的是速效成分,植株吸收较多而导致土壤中含量较少. 氨氮、全钾、速效磷含量与肥土比的相关系数分别为 0.977^{**}、0.998^{**}、0.957^{**},可见,颗粒肥施肥可以显著提高土壤中有关营养元素.

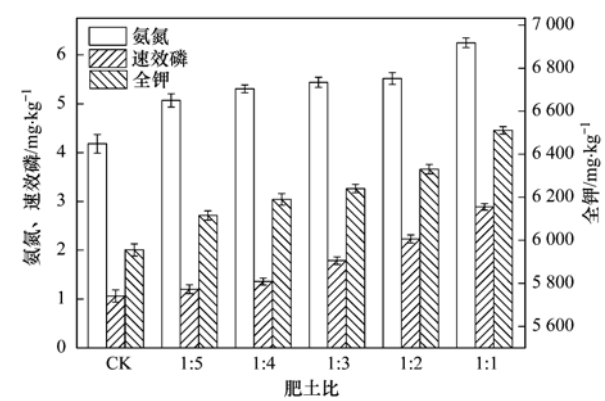


图3 颗粒肥施用对土壤氮磷钾的影响

Fig. 3 Effects of the ratio between granular fertilizer and soil on the content of nitrogen, phosphorus and potassium in soil

2.3 颗粒肥施用对土壤有机质和腐殖质的影响

土壤有机质是土壤肥力的标志且直接影响着土

壤的保水性、保肥性、缓冲性。由表1可知随肥土比增大,土壤中有有机质显著增加($P < 0.05$),尤以1:1时效果最好。据土壤有机质参考指标,肥土比大于1:3时即可保证土壤有机质含量处于中高水平($>2.5\%$);对土壤肥力影响最大的腐殖质亦有显著增加(图4),可见颗粒肥施用有助于土壤对腐殖质的积累。史吉平等^[15]在用猪粪作为有机肥对不同土壤长期定位施肥后发现,施用有机肥或有机无机肥配施不仅影响土壤腐殖质含量,还影响土壤理化性质。土壤胡敏素是土壤腐殖物质中的重要组成部分,且在土壤水溶液中是不溶的。但有研究表明,胡敏素对土壤中的铜离子有明显的吸附作用^[16]。本研究表明,颗粒肥施入后,胡敏素含量有明显升高($r=0.973^{**}$),可能会有利于固定土壤中的某些金属离子以免其进入淋溶水中。

表1 颗粒肥施用与植物、土壤和淋溶水中相关指标变化的相关性与显著性分析¹⁾

Table 1 Correlation analysis and significance test between fertilization and some index of vegetables, soil and leaching water							
小青菜	指标	根重	地上植株	植株总重			
	Pearson 系数	0.200	0.962 **	0.961 **			
	显著性(双侧)	0.703	0.002	0.002			
土壤	指标	有机质	腐殖质	胡敏酸碳量	富里酸碳量	胡敏素碳量	含水率
	Pearson 系数	0.943 **	0.944 **	0.993 **	0.976 **	0.973 **	0.869 *
	显著性(双侧)	0.005	0.005	0.000	0.001	0.001	0.025
	指标	总孔隙度	容重	氮氮	全钾	速效磷	镉
	Pearson 系数	0.962 **	-0.960 **	0.977 **	0.998 **	0.957 **	0.800
	显著性(双侧)	0.002	0.002	0.001	0.000	0.003	0.056
	指标	铅	铜	锌	总铬	镍	
	Pearson 系数	-0.906 *	0.962 **	0.968 **	-0.445	0.980 **	
	显著性(双侧)	0.013	0.002	0.002	0.377	0.001	
淋溶水	指标	镉	铅	铜	锌	总铬	镍
	Pearson 系数	0.346	a	-0.077	0.858 *	a	0.206
	显著性(双侧)	0.502	a	0.884	0.029	a	0.696
	指标	淋溶氮	淋溶磷	大肠杆菌	大肠菌群		
	Pearson 系数	0.019	0.980 **	0.615	0.678		
	显著性(双侧)	0.971	0.001	0.193	0.139		

1) * * 表示在 0.01 水平上相关; * 表示在 0.05 水平上相关; a 代表未检出; 负值代表负相关

2.4 颗粒肥施用对土壤孔隙度影响

土壤孔隙度是土壤结构的重要指标,孔隙分布改善有助于减少淋溶,促进土壤中热、气和水运动及植物根系的生长;容重则主要影响种子出苗、耕作耗能和水气的通透。图5显示随肥土比增大,各处理土壤总孔隙度增加,容重下降。这可能与施入后颗粒肥分解过程中大孔隙的形成、土壤中生物活动增强有关。经相关性分析发现土壤总孔隙度、土壤容重与施肥量均呈极显著相关($P < 0.01$),见表1。Rasool等^[17]通过对土壤连续32a的施肥后发现有机肥可显著提高土壤总孔隙度,同时可看到土壤

含水率也有较显著提高,说明颗粒肥中有机物的良好亲水性使土壤保水能力增强,也提高了土壤有效水含量。

2.5 颗粒肥施用对土壤金属离子及其淋溶水的影响

由表1和表2可知土壤中金属离子变化除Cu、Zn外并不明显。Cd在对照(CK)或施肥后均处于极微量水平;随肥土比增大,Pb、总Cr含量减小,Ni有所增加,但三者均仅微量变化而并未显著累积;Cu、Zn含量随肥土比增大而增大且增量明显。但根据土壤环境质量标准(GB 15618-1995),除1:1时Ni稍高于标准外,其他均符合一级标准。

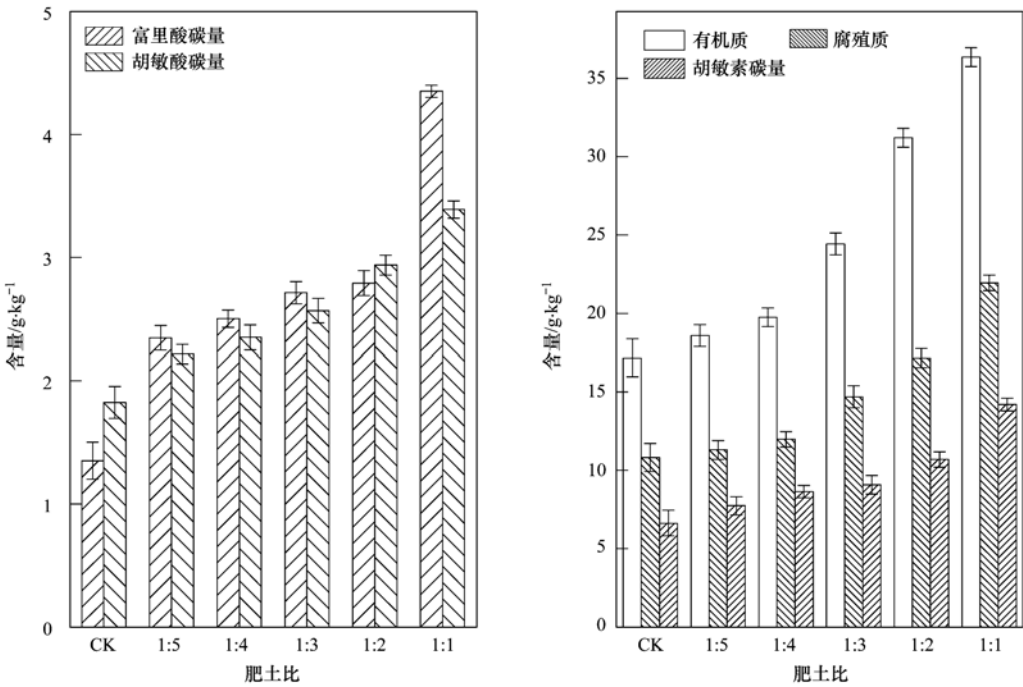


图 4 颗粒肥施用对土壤有机质的影响

Fig. 4 Effects of the ratio between granular fertilizer and soil on the organic matters in soil

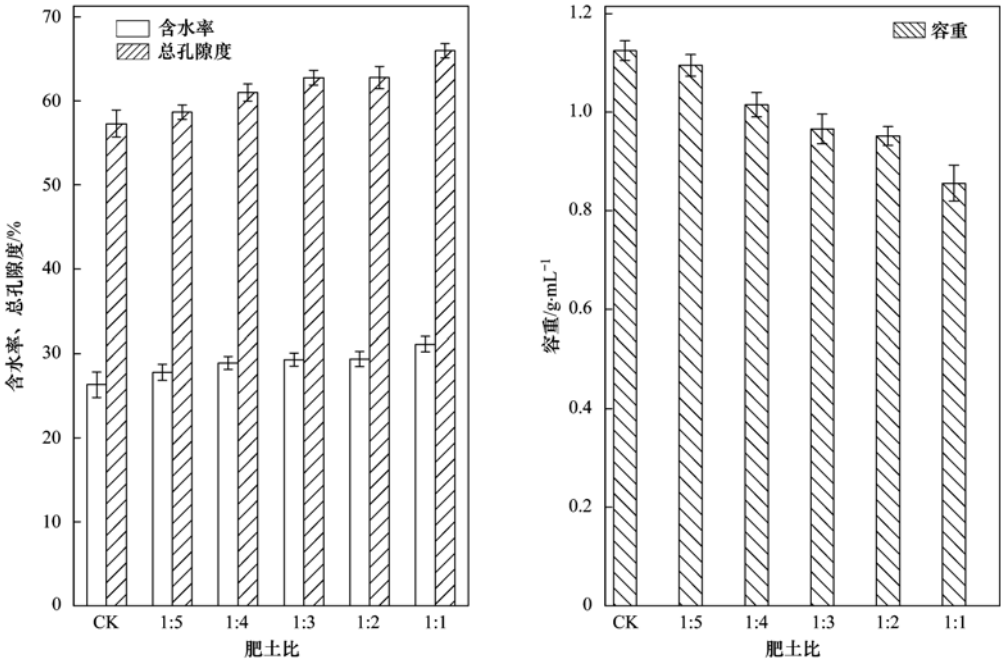


图 5 颗粒肥施用对土壤理化性质的影响

Fig. 5 Effects of the ratio between granular fertilizer and soil on the physical-chemical properties of soil

淋溶水中 Zn 离子变化显著(表 1、表 3),根据地下水水质标准(GB/T 14848-93)二类标准的 Zn 限值为 $\leq 0.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,因此施入颗粒肥虽增加了地下水中 Zn 含量,但仍远未超标. 而 Cd、Pb、Cu、总 Cr 及 Ni 含量与对照组基本无差别,处于痕量或极微量

水平,不会对地下水造成不良影响.

2.6 颗粒肥施用对土壤淋溶水中氮磷钾的影响

表 1 显示淋溶磷与肥土比呈极显著相关($P < 0.01$),说明颗粒肥施入可能使部分磷进入地下水中(图 6),但目前地下水标准(GB/T 14848-93)中

尚未列入磷的限制值. 氮和钾的淋溶量随着肥土比的增加而增大,但却始终小于对照组,说明施用颗粒肥后能有效降低土壤氮和钾的淋溶,使土壤保氮、保钾能力提高,从而降低了对地下水的影响.

表 2 颗粒肥施用对土壤中金属离子的影响¹⁾ × 10⁻¹/mg·kg⁻¹

Table 2 Effects of the ratio between granular fertilizer and soil on the metal ions in soil × 10 ⁻¹ /mg·kg ⁻¹						
肥土比	Cd	Pb	Cu	Zn	总 Cr	Ni
CK	—	26.40	37.56	96.62	58.82	30.22
1:5	0.07	27.09	58.10	144.50	57.72	32.90
1:4	0.07	25.70	62.76	137.64	61.30	35.64
1:3	0.06	23.54	85.84	181.50	59.28	36.70
1:2	0.05	22.81	93.60	202.60	57.82	37.66
1:1	0.06	20.28	161.78	313.00	57.04	44.34

1) “—”表示未检出,下同

表 3 颗粒肥施用对淋溶水中金属离子的影响 × 10⁻¹/mg·kg⁻¹

Table 3 Effects of the ratio between granular fertilizer and soil on the metal ions in leaching water × 10 ⁻¹ /mg·kg ⁻¹						
肥土比	Cd	Pb	Cu	Zn	总 Cr	Ni
CK	—	—	—	0.046	—	0.008
1:5	0.002	—	—	0.096	—	0.008
1:4	0.002	—	0.002	0.106	—	—
1:3	0.002	—	0.002	0.100	—	0.006
1:2	—	—	—	0.116	—	—
1:1	0.002	—	—	0.117	—	0.013

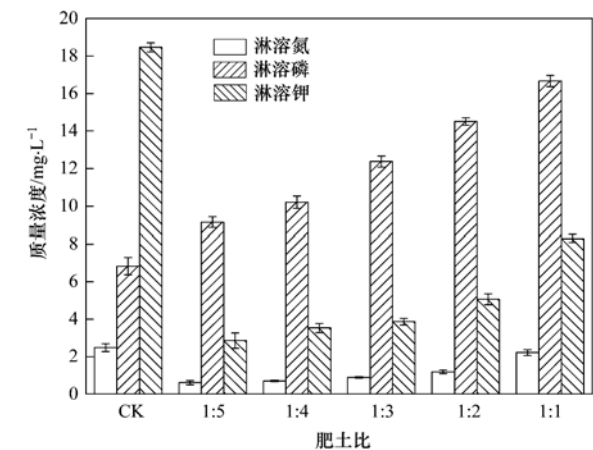


图 6 颗粒肥施用对土壤淋溶液的影响

Fig. 6 Effects of the ratio between granular fertilizer and soil on the leaching water

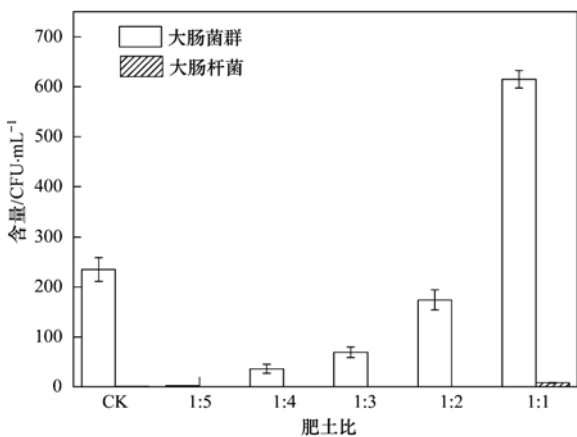


图 7 颗粒肥施用对淋溶水中大肠杆菌和大肠菌群的影响

Fig. 7 Effects of the ratio between granular fertilizer and soil on *E. coli* and coliform group in leaching water

2.7 颗粒肥施用的卫生学评价

在对土壤淋溶液(图 7)的检测中仅肥土比 1:1 的处理中检出了大肠杆菌,而大肠菌群数则除肥土比 1:1 外,其他处理均小于对照. 据地下水水质标准(GB/T 14848-93),肥土比小于 1:2 时水质达Ⅲ类标准,属“较好”,可见一定量的颗粒肥施用反而能降低土壤病原菌污染^[18],降低对地下水的潜在危害.

试验在对小青菜叶片的检测中均未发现大肠杆菌和大肠菌群,说明施用颗粒肥未对小青菜造成病原菌污染.

3 讨论

3.1 颗粒肥肥效问题

有机肥可有效提高土壤肥力,包括提高土壤氮磷钾、有机质等营养元素含量及改善土壤孔隙结构^[19, 20]. 就肥效而言,小青菜生物量在 5 个施肥处理中均有显著增加(图 2),表明在其整个生育期内,颗粒肥供氮磷钾平稳肥效理想,能满足植物生长需要. 土壤中全钾含量增加显著(表 1),且有研究表明土壤中充足的磷会通过 H₂PO₄⁻ 与黏土矿物中的 OH⁻ 发生代换作用而增加黏土矿物的负电荷^[21],从

而促进土壤中钾素的固定. 土壤中氨氮和速效磷有不同程度增加(图3),但根据土壤肥力分级标准和土壤有效磷含量指标:氨氮属第“6”级,即较低水平;速效磷含量属低供磷水平. 氮磷含量低主要是因为土壤取自贫瘠且多年未耕种大田,土壤本身并不含较高氮磷;试验只进行了一茬,土壤耕期短,是导致虽磷钾变化显著但土壤累积不高的缘故. 因此,颗粒肥实际应用中可借鉴禽畜粪便-无机肥配施^[21]或多年连续施用来提高土壤中氮磷钾含量.

3.2 颗粒肥施用对土壤中重金属浓度的影响

重金属对土壤的污染常是永久性且不可逆的,因此是有机肥施用安全性的研究重点. 如张春兰等^[22]用污泥做有机肥,发现施肥后 Hg、Cd 含量分别超过土壤环境质量国家标准的 4 倍和 3 倍,而施用垃圾堆肥后, Hg 甚至高于背景值 32 倍. Wong 等^[23]在猪粪和马粪堆肥对金合欢树苗生长情况的试验中发现土壤中重金属累积明显. Han 等^[24]发现连续 25 a 施用猪粪($10 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)导致土壤表层 Cu、Zn 出现明显富集,分别为对照的 22.4 和 7.5 倍. 本试验结果(表1)虽土壤中 Cu、Zn 增加显著($P < 0.01$),但均符合国家二级标准,属尚清洁;仅当肥土比高达 1:1 时 Ni 才稍高于一级标准. 但在实际中肥土比不可能达到 1:1,且有机肥对重金属具有络合、螯合作用可降低其活性,从而影响微量元素有效性或毒性.

本试验结果显示淋溶水中所有金属离子指标均符合国家二类水质标准,对地下水无影响. 可见与禽畜粪有机肥和污泥有机肥相比,颗粒肥因其来源特殊所以更洁净,从根本上降低了对土壤和地下水的潜在影响.

3.3 颗粒肥施用对水体富营养化的影响

导致水体富营养化的土壤养分流失取决于多种因素^[25],但尤以化肥过施对地下水影响为甚,如王朝辉等^[26]选取了连施氮肥的常年露地、2 a 和 5 a 大棚菜田中土壤进行分析,发现 40 cm 以下土壤中的硝态氮就很难被作物吸收,而多在深层土壤中累积. 由于蔬菜根系分布较浅,残留在土壤深层难以被重新利用的硝态氮将随雨水和灌溉水不断向土壤深层迁移,最终污染地下水环境. 相比于化肥,颗粒肥施用后能有效降低土壤氮淋溶. 尽管盆栽试验土层较浅仅相当于大田中的耕层,但在 1:5 时淋溶氮仍能较对照减少 75% (图6). 这为以产量为目标的“经济施氮量”和以环保为目标的“环保施氮量”的兼顾提供了解决思路,即可通过连施颗粒肥在保证

土壤肥力的前提下有效降低土壤氮淋溶,消除对地下水的潜在危害.

由图6可知,淋溶液中磷含量随施肥量增加而上升($r = 0.980^{**}$,表1),这可能是土壤中速效磷含量随颗粒肥施用量增加而显著增加($P < 0.01$),见表1和图3,并最终导致淋溶液中磷含量升高的原因,不过这也可能与盆栽试验土层较薄有关^[27].

3.4 施肥后叶菜食用安全性分析

试验中对小青菜叶片上大肠杆菌和大肠菌群做了检测,结果均未检出. 而 Van Haute 等^[28]发现若莴苣表面被微生物污染,紫外线或 H_2O_2 消毒不能有效清洗掉微生物. 可见对于叶菜类植物的施肥更需重视来自未腐熟粪便中的病原微生物的污染,因为仅重视食用前的清洗是无法达到安全卫生标准的,必须从有机肥处理阶段即开始控制微生物指标. 本试验的粪便来源于公厕或者小区中的化粪池,经腐熟等流程后制成颗粒肥,显著降低病原微生物的数量,因此可减轻对蔬菜植株外部的污染.

禽畜粪施用后易对蔬菜组织内部造成污染,如 Zhou 等^[29]用含 Zn 的猪粪种植青菜,发现猪粪 Zn 最高处理时青菜中 Zn 含量(以鲜重计,下同)为 $28.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,超过了我国食品卫生标准($20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). Brochier 等^[30]在法国伊夫林省的长达两年的试验中发现,大肠杆菌在茎和叶中较少,主要在作物根部中,因此可能不影响叶菜类植物的食用安全性. 本研究施用颗粒肥后, Cu 和 Zn 质量浓度在土壤中均有提高(表2),但可以通过控制施肥比例降低对土壤的影响;至于两种离子在小青菜内部的迁移规律,有待于进一步研究.

4 结论

(1)城市分散式粪便制成颗粒肥后农用能显著提高小青菜产量,且不会对小青菜叶片造成大肠杆菌、大肠菌群等病原菌污染;在适当比例的施肥水平下,也不会对淋溶水造成病原菌污染.

(2)颗粒肥的施入可明显改善土壤理化性质,增加土壤中氮磷钾、有机质、腐殖质等营养物质含量,提高土壤肥力和土壤孔隙度水平,降低土壤容重.

(3)颗粒肥施用短期内不会对土壤及淋溶水造成重金属离子污染;而且施用颗粒肥能有效降低土壤中氮和钾的淋溶.

参考文献:

- [1] Zhang H, Shi J H, Liu X W, *et al.* Occurrence and removal of

- free estrogens, conjugated estrogens, and bisphenol A in manure treatment facilities in East China[J]. *Water Research*, 2014, **58**: 248-257.
- [2] Peng S, Wang Y M, Zhou B B, *et al.* Long-term application of fresh and composted manure increase tetracycline resistance in the arable soil of eastern China [J]. *Science of the Total Environment*, 2015, **506-507**: 279-286.
- [3] Aust M O, Godlinski F, Travis G R, *et al.* Distribution of sulfamethazine, chlortetracycline and tylosin in manure and soil of Canadian feedlots after subtherapeutic use in cattle [J]. *Environmental Pollution*, 2008, **156**(3): 1243-1251.
- [4] Martínez-Carballo E, González-Barreiro C, Scharf S, *et al.* Environmental monitoring study of selected veterinary antibiotics in animal manure and soils in Austria [J]. *Environmental Pollution*, 2007, **148**(2): 570-579.
- [5] Selvam A, Zhao Z Y, Wong J W C. Composting of swine manure spiked with sulfadiazine, chlortetracycline and ciprofloxacin[J]. *Bioresource Technology*, 2012, **126**: 412-417.
- [6] Kong W D, Zhu Y G, Fu B J, *et al.* The veterinary antibiotic oxytetracycline and Cu influence functional diversity of the soil microbial community [J]. *Environmental Pollution*, 2006, **143**(1): 129-137.
- [7] Thiel-Bruhn S, Beck I C. Effects of sulfonamide and tetracycline antibiotics on soil microbial activity and microbial biomass[J]. *Chemosphere*, 2005, **59**(4): 457-465.
- [8] Westergaard K, Müller A K, Christensen S, *et al.* Effects of tylosin as a disturbance on the soil microbial community[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, **33**(15): 2061-2071.
- [9] Arikian O A, Rice C, Codling E. Occurrence of antibiotics and hormones in a major agricultural watershed [J]. *Desalination*, 2008, **226**(1-3): 121-133.
- [10] Wang H, Dong Y H, Yang Y Y, *et al.* Changes in heavy metal contents in animal feeds and manures in an intensive animal production region of China [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2013, **25**(12): 2435-2442.
- [11] Wu C X, Witter J D, Sponberg A L, *et al.* Occurrence of selected pharmaceuticals in an agricultural landscape, western Lake Erie basin [J]. *Water Research*, 2009, **43**(14): 3407-3416.
- [12] 邵义萍, 罗晓栋, 莫测辉, 等. 广东省畜牧粪便中喹诺酮类和磺胺类抗生素的含量与分布特征研究[J]. *环境科学*, 2011, **32**(4): 1188-1193.
- [13] Matsui Y, Ozu T, Inoue T, *et al.* Occurrence of a veterinary antibiotic in streams in a small catchment area with livestock farms[J]. *Desalination*, 2008, **226**(1-3): 215-221.
- [14] 杜森, 高祥照. 土壤分析技术规范[M]. (第二版). 北京: 中国农业出版社, 2006. 145, 171-194.
- [15] 史吉平, 张夫道, 林葆. 长期定位施肥对土壤腐殖质理化性质的影响[J]. *中国农业科学*, 2002, **35**(2): 174-180.
- [16] 张晋京, 王帅, 窦森, 等. 土壤粗胡敏素对铜离子的吸附作用及其影响因素[J]. *环境科学学报*, 2008, **28**(12): 2527-2533.
- [17] Rasool R, Kukal S S, Hira G S. Soil organic carbon and physical properties as affected by long-term application of FYM and inorganic fertilizers in maize-wheat system [J]. *Soil and Tillage Research*, 2008, **101**(1-2): 31-36.
- [18] Abawi G S, Widmer T L. Impact of soil health management practices on soilborne pathogens, nematodes and root diseases of vegetable crops [J]. *Applied Soil Ecology*, 2000, **15**(1): 37-47.
- [19] Hati K M, Mandal K G, Misra A K, *et al.* Effect of inorganic fertilizer and farmyard manure on soil physical properties, root distribution, and water-use efficiency of soybean in Vertisols of central India [J]. *Bioresource Technology*, 2006, **97**(16): 2182-2188.
- [20] Scaglia B, D'Imporzano G, Garuti G, *et al.* Sanitation ability of anaerobic digestion performed at different temperature on sewage sludge [J]. *Science of the Total Environment*, 2014, **466-467**: 888-897.
- [21] 徐晓燕, 马毅杰, 张瑞平. 土壤中钾的转化及其与外源钾的相互关系的研究进展[J]. *土壤通报*, 2003, **34**(5): 489-492.
- [22] 张春兰, 朱建春, 葛祖慈. 有机物料对减轻蔬菜保护地土壤障碍因子的作用[J]. *中国农学通报*, 1996, **12**(4): 49-50.
- [23] Wong M H. Effects of animal manure composts on tree (*Acacia confusa*) seedling growth [J]. *Agricultural Wastes*, 1985, **13**(4): 261-272.
- [24] Han F X, Kingery W L, Selim H M, *et al.* Arsenic solubility and distribution in poultry waste and long-term amended soil [J]. *Science of the Total Environment*, 2004, **320**(1): 51-61.
- [25] Korsath A, Bakken L R, Riley H. Nitrogen dynamics of grass as affected by N input regimes, soil texture and climate: lysimeter measurements and simulations [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2003, **66**(2): 181-199.
- [26] 王朝辉, 宗志强, 李生秀, 等. 蔬菜的硝态氮累积及菜地土壤的硝态氮残留[J]. *环境科学*, 2002, **23**(3): 79-83.
- [27] 章明奎, 周翠, 方利平. 蔬菜地土壤磷饱和度及其对磷释放和水质的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, **12**(4): 544-548.
- [28] Van Haute S, Tryland I, Veys A, *et al.* Wash water disinfection of a full-scale leafy vegetables washing process with hydrogen peroxide and the use of a commercial metal ion mixture to improve disinfection efficiency [J]. *Food Control*, 2015, **50**: 173-183.
- [29] Zhou D M, Hao X Z, Wang Y J, *et al.* Copper and Zn uptake by radish and pakchoi as affected by application of livestock and poultry manures [J]. *Chemosphere*, 2005, **59**(2): 167-175.
- [30] Brochier V, Gouland P, Kallassy M, *et al.* Occurrence of pathogens in soils and plants in a long-term field study regularly amended with different composts and manure [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2012, **160**: 91-98.

CONTENTS

Estimation of PM _{2.5} Concentration over the Yangtze Delta Using Remote Sensing: Analysis of Spatial and Temporal Variations	XU Jian-hui, JIANG Hong (3119)
Seasonal and Spatial Variations of Carbon Fractions in PM _{2.5} in Ningbo and the Estimation of Secondary Organic Carbon	DU Bo-han, HUANG Xiao-feng, HE Ling-yan, <i>et al.</i> (3128)
Concentrations of Acidic Gases, Ammonia and Related Water-Soluble Ions in PM _{2.5} and Gas-Particle Partitioning in Qingdao	ZHOU Jia-jia, SHI Jin-hui, LI Li-ping, <i>et al.</i> (3135)
Concentration and Particle Size Distribution of Microbiological Aerosol During Haze Days in Beijing	HU Ling-fei, ZHANG Ke, WANG Hong-bao, <i>et al.</i> (3144)
Air Quality Characteristics in Beijing During Spring Festival in 2015	CHENG Nian-liang, CHEN Tian, ZHANG Da-wei, <i>et al.</i> (3150)
Chemical Loss of Volatile Organic Compounds and Its Impact on the Formation of Ozone in Shanghai	WANG Hong-li (3159)
Removal of Waste Gas Containing Mixed Chlorinated Hydrocarbons by the Biotrickling Filter	CHEN Dong-zhi, MIAO Xiao-ping, OUYANG Du-juan, <i>et al.</i> (3168)
A Three Band Chlorophyll-a Concentration Estimation Model Based on GOCI Imagery	GUO Yu-long, LI Yun-mei, LI Yuan, <i>et al.</i> (3175)
Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Dissolved Organic Matter and Influencing Factors in Lake Chaohu	YE Lin-lin, WU Xiao-dong, LIU Bo, <i>et al.</i> (3186)
Spectral Characteristic of Dissolved Organic Matter in Xiaohe River, Hebei	YU Min-da, ZHANG Hui, HE Xiao-song, <i>et al.</i> (3194)
Spatial Variation of Ammonia-N, Nitrate-N and Nitrite-N in Groundwater of Dongshan Island	WU Hai-yan, FU Shi-feng, CAI Xiao-qiong, <i>et al.</i> (3203)
Sources, Migration and Conversion of Dissolved Alkanes, Dissolved Fatty Acids in a Karst Underground River Water, in Chongqing Area	LIANG Zuo-bing, SUN Yu-chuan, WANG Zun-bo, <i>et al.</i> (3212)
Influence of Sulfuric Acid to Karst Hydrochemical and $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ in the Upper and Middle Reaches of the Wujiang River	HUANG Qi-bo, QIN Xiao-qun, LIU Peng-yu, <i>et al.</i> (3220)
Hydrochemical Characteristic and Reasoning Analysis in Siyi Town, Langzhong City	ZHANG Yan, WU Yong, YANG Jun, <i>et al.</i> (3230)
Seasonal Variation on Nutrient Limitation for Phytoplankton Growth in a Coastal River-Reservoir System, Southeast China	CHEN Cong-cong, RAO La, HUANG Jin-liang, <i>et al.</i> (3238)
Physiological Effect of <i>Vallisneria natans</i> Under Different Concentrations of Nitrogen, Phosphorus and Chloramphenicol	HU Zhen-zhen, CUI Yi-bin, LI Mei, <i>et al.</i> (3248)
Effects of Algicidal Substance on <i>Phaeocystis globosa</i> and Its Fatty Acids by the Simulation Experiment	YANG Qiu-chan, ZHAO Ling, YIN Ping-he, <i>et al.</i> (3255)
Agricultural Non-Point Source Pollutants Removal by Enhanced Riverbank Interception Facilities Under Different Operating Conditions	LI Huai-zheng, CHEN Ke-li, WEI Zhong, <i>et al.</i> (3262)
Speciation Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Typical Material Roof Dusts	LI Dun-zhu, GUAN Yun-tao, LIU An, <i>et al.</i> (3269)
Formation of Disinfection By-Products During Chlor(am)ination of Danjiangkou Reservoir Water and Comparison of Disinfection Processes	ZHANG Min-sheng, XU Bin, ZHANG Tian-yang, <i>et al.</i> (3278)
Effects of Interaction of Ozonation and Coagulation on Coagulation Results	LIU Hai-long, GUO Xue-feng, WANG Min-hui, <i>et al.</i> (3285)
Effects of Anions on Bromate Formation During Ozonation of Bromide-Containing Water	WU Yue, WU Chun-de, LIU Li-gang, <i>et al.</i> (3292)
XAS Analysis upon Dissolved Species of Orpiment in Anoxic Environment	WANG Ying, XU Li-ying, WANG Shao-feng, <i>et al.</i> (3298)
AOX Pollution in Wastewater Treatment Process of Dyeing and Dyestuff Chemical Industries	SHEN Yang-yang, LIU Rui, XU Can-can, <i>et al.</i> (3304)
Fate of ARB and ARGs During Wastewater Treatment Process of Spiramycin Production	QIN Cai-xia, TONG Juan, SHEN Pei-hong, <i>et al.</i> (3311)
A Comparative Study on Two Membrane Bioreactors for the Treatment of Digested Piggery Wastewater	SHUI Yong, Kawagishi Tomoki, SONG Xiao-yan, <i>et al.</i> (3319)
Analysis of Microbial Community in the Membrane Bio-Reactor (MBR) Rural Sewage Treatment System	KONG Xiao, CUI Bing-jian, JIN De-cai, <i>et al.</i> (3329)
Start-up Characteristics of Four-zone Integrated Reactor for Nitrogen Removal in Winter and Analysis of Nitrobacteria Community	ZHANG Yan, SUN Feng-xia, XIE Hang-ji, <i>et al.</i> (3339)
Achievement of Sulfate-Reducing Anaerobic Ammonium Oxidation Reactor Started with Nitrate-Reducing Anaerobic Ammonium Oxidation	LIU Zheng-chuan, YUAN Lin-jiang, ZHOU Guo-biao, <i>et al.</i> (3345)
Effect of Increasing Organic Loading Rate on the Formation and Stabilization Process of Aerobic Granular Sludge	LIU Xiao-peng, WANG Jian-fang, QIAN Fei-yue, <i>et al.</i> (3352)
Nitrogen Loss Through Different Ways in Cropland Under Conventional Fertilization: An <i>In-situ</i> Study of Summer Maize Season in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River	SANG Meng-meng, FAN Hui, JIANG Shan-shan, <i>et al.</i> (3358)
Effects of Water and Nitrogenous Fertilizer Coupling on CH ₄ and N ₂ O Emission from Double-Season Rice Paddy Field	FU Zhi-qiang, LONG Pan, LIU Yi-yi, <i>et al.</i> (3365)
Characteristics of N ₂ , N ₂ O, NO, CO ₂ and CH ₄ Emissions in Anaerobic Condition from Sandy Loam Paddy Soil	CAO Na, WANG Rui, LIAO Ting-ting, <i>et al.</i> (3373)
Characteristics of Soil Respiration along Eroded Sloping Land with Different SOC Background on the Hilly Loess Plateau	CHEN Gai, XU Ming-xiang, ZHANG Ya-feng, <i>et al.</i> (3383)
Effect of Biochar on Soil Greenhouse Gas Emissions in Semi-arid Region	GUO Yan-liang, WANG Dan-dan, ZHENG Ji-yong, <i>et al.</i> (3393)
Characteristics and Coupling Relationship of Soil Carbon and Nitrogen Transformation During <i>In-situ</i> Mineralization Cultivation in Forestlands in the Mountain Area of Southern Ningxia	NI Yin-xia, HUANG Yi-mei, NIU Dan, <i>et al.</i> (3401)
Nitrogen Fraction Distributions and Impacts on Soil Nitrogen Mineralization in Different Vegetation Restorations of Karst Rocky Desertification	HU Ning, MA Zhi-min, LAN Jia-cheng, <i>et al.</i> (3411)
Distribution and Dynamics of Cropland Soil Organic Carbon in Jiangnan Plain: A Case Study of Qianjiang City	WANG Yu-zhu, XIAO He-ai, ZHOU Ping, <i>et al.</i> (3422)
Impact of Land Utilization Pattern on Distributing Characters of Labile Organic Carbon in Soil Aggregates in Jinyun Mountain	LI Rui, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju (3429)
Magnetic Responses of Heavy Metals in Street Dust of Typical Mine-Based City, Northwest China	NIE Yan, WANG Xin, WANG Bo, <i>et al.</i> (3438)
Distribution Characteristics of Heavy Metals in Environmental Samples Around Electroplating Factories and the Health Risk Assessment	GUO Peng-ran, LEI Yong-qian, ZHOU Qiao-li, <i>et al.</i> (3447)
Homologues Levels and Distribution Pattern of Polychlorinated Biphenyls in Typical Capacitor Contaminated Soil	LIU Jie, LI Xiao-dong, ZHAO Zhong-hua, <i>et al.</i> (3457)
Adsorption and Desorption Characteristics of Endosulfan in Purple Soil	ZHAO Yan, ZHENG Guo-can, ZHU Heng, <i>et al.</i> (3464)
Influence of <i>Mirabilis jalapa</i> Linn. Growth on the Microbial Community and Petroleum Hydrocarbon Degradation in Petroleum Contaminated Saline-alkali Soil	JIAO Hai-hua, CUI Bing-jian, WU Shang-hua, <i>et al.</i> (3471)
Al ³⁺ Absorption and Assimilation by Four Ectomycorrhizal Fungi	WANG Ming-xia, YUAN Ling, HUANG Jian-guo, <i>et al.</i> (3479)
Contamination of Organophosphorus Pesticides Residue in Fresh Vegetables and Related Health Risk Assessment in Changchun, China	YU Rui, LIU Jing-shuang, WANG Qi-cun, <i>et al.</i> (3486)
Community Structure and Succession of Methanogens in Beishenshu Landfill, Beijing	SONG Li-na, WANG Lei, XIA Meng-jing, <i>et al.</i> (3493)
Fertility and Environmental Impacts of Urban Scattered Human Feces Used as Organic Granular Fertilizer for Leaf Vegetables	LÜ Wen-zhou, QIAO Yu-xiang, YU Ning, <i>et al.</i> (3501)
Degradation of PCDD/Fs by the Mixture of V ₂ O ₅ -WO ₃ /TiO ₂ Catalyst and Activated Carbon	REN Yong, JI Sha-sha, YU Ming-feng, <i>et al.</i> (3508)
Energy Conservation and Emissions Reduction Benefits Analysis for Battery Electric Buses Based on Travel Services	LIN Xiao-dan, TIAN Liang, LÜ Bin, <i>et al.</i> (3515)
Definition and Control Indicators of Volatile Organic Compounds in China	JIANG Mei, ZOU Lan, LI Xiao-qian, <i>et al.</i> (3522)
Influence of Dissimilatory Iron Reduction on the Speciation and Bioavailability of Heavy Metals in Soil	SI You-bin, WANG Juan (3533)

《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 刘 毅 汤鸿霄 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)

2015年9月15日 第36卷 第9期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 9 Sep. 15, 2015

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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行