

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第3期

Vol.38 No.3

2017

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

我国人为源挥发性有机物反应性排放清单	梁小明, 张嘉妮, 陈小方, 石田立, 孙西勃, 范丽雅, 叶代启 (845)
上海城郊地区冬季霾污染事件反应性 VOCs 物种特征	高爽, 张坤, 高松, 修光利, 程娜, 潘研 (855)
京津冀地区主要排放源减排对 PM _{2.5} 污染改善贡献评估	吴文景, 常兴, 邢佳, 王书肖, 郝吉明 (867)
北京冬季 PM _{2.5} 中金属元素浓度特征和来源分析	乔宝文, 刘子锐, 胡波, 刘景云, 逢妮妮, 吴方堃, 徐仲均, 王跃思 (876)
2015 年石家庄市采暖期一次重污染过程细颗粒物在线来源解析	路娜, 李治国, 周静博, 赵鑫, 杨丽丽, 冯媛, 靳伟 (884)
利用 SPAMS 研究南宁市四季细颗粒物的化学成分及污染来源	刘慧琳, 陈志明, 毛敬英, 梁桂云, 黄炯丽, 李宏姣, 杨俊超, 莫招育 (894)
南半球海洋大气气溶胶单颗粒的理化特性分析	迟建伟, 李传金, 孙俊英, 张剑, 王辉, 王瀚韬, 李卫军 (903)
喷泉产生的细菌气溶胶空间分布特性	张崇森, 袁琳, 许鹏程, 刘可欣 (911)
生物滴滤塔净化含硫混合废气	叶杰旭, 缪孝平, 诸葛蕾, 赵翔宇, 江宁馨, 章晶晓, 陈东之, 陈建孟 (918)
西安城市不同功能区街道灰尘磁学特征及环境污染分析	房妮, 张俊辉, 王瑾, 姜珊, 夏敦胜 (924)
城乡交错带典型溪流沟渠沉积物氮污染特征及硝化-反硝化潜力	秦如彬, 李如忠, 高苏蒂, 张瑞钢 (936)
三峡库区小江支流沉积物硝化反硝化速率在蓄水期和泄水期的特征	王静, 刘洪杰, 雷禹, 徐晶, 宋立岩, 李勇 (946)
隔河岩水库二氧化碳通量时空变化及影响因素	赵登忠, 谭德宝, 李翀, 申邵洪 (954)
白洋淀多环芳烃与有机氯农药季节性污染特征及来源分析	王乙震, 张俊, 周绪申, 孔凡青, 徐铭霞 (964)
唐山陡河水库沉积物汞的分布、来源及污染评价	吴婷婷, 王明猛, 陈旭锋, 刘文利, 李太山, 闫海鱼, 何天容, 李仲根 (979)
三峡库区消落带优势草本植物淹水后汞的释放特征	邓晗, 张翔, 张成, 王永敏, 王定勇 (987)
电镀厂周边地表水中重金属分布特征及健康风险评估	余葱葱, 赵委托, 高小峰, 程胜高, 黄庭, 尹伊梦, 赵珍丽 (993)
九龙江表层沉积物重金属赋存形态及生态风险	林承奇, 胡恭任, 于瑞莲, 韩璐 (1002)
厦门筼筮湖表层沉积物金属元素赋存形态及污染评价	杨秋丽, 于瑞莲, 胡恭任, 林承奇, 韩璐 (1010)
龙口市污水灌溉区农田重金属来源、空间分布及污染评价	李春芳, 王菲, 曹文涛, 潘健, 吕建树, 吴泉源 (1018)
碳化稻壳-铁锰氧化菌耦合净化严寒村高铁锰地下水效能与机制	孙楠, 湛燕丽, 张颖, 鲁岩, 宋秋霞, 李春艳, 姜昭 (1028)
高藻水臭氧预氧化过程有机物转化及消毒副产物生成势	张赛, 胡学斌, 古励, 李莉, 郭显强 (1038)
预处理对短流程超滤工艺不可逆膜污染影响的中试试验	杨海燕, 邢加建, 王灿, 孙国胜, 赵焱, 梁恒, 徐叶琴, 李圭白 (1046)
Cu-Al ₂ O ₃ 中骨架铜类芬顿催化去除水中有机污染物	徐丹, 张丽丽, 柳丽芬 (1054)
过硫酸钾氧化去除 Cu(CN) ₂ 中的氰污染物	王云飞, 李一兵, 王彦斌, 齐璠静, 赵凯, 田世超, 郭涛, 关伟, 赵旭 (1061)
微生物燃料电池强化去除农药 2,4-二氯苯氧乙酸及同步产电性能	全向春, 全燕苹, 肖竹天 (1067)
桉树遗态结构 HAP/C 复合材料对水中 Cu(II) 的吸附特征	李超, 朱宗强, 曹爽, 朱义年, 谭笑, 丁慧 (1074)
基于 A ² /O 处理工艺的生活污水的成组生物毒性评价	张秋亚, 马晓妍, 王晓昌, 游猛 (1084)
污水氮浓度对粉绿狐尾藻去氮能力的影响	马永飞, 杨小珍, 赵小虎, 胡承孝, 谭碧玲, 孙学成, 吴金水 (1093)
全海水盐度抑制下厌氧氨氧化工艺的恢复特性	齐泮晴, 于德爽, 李津, 管勇杰, 魏思佳 (1102)
饥饿对硫自养反硝化反应器生物群落结构的影响	李芳芳, 施春红, 李海波, 袁蓉芳, 马方曙 (1109)
快速启动厌氧氨氧化工艺	闫刚, 徐乐中, 沈耀良, 吴鹏, 张婷, 程朝阳 (1116)
一种 CANON 工艺处理低氨氮废水的新模式	完颜德卿, 袁怡, 李祥, 毕贞 (1122)
侧流磷回收对低溶解氧 EBPR 系统性能的影响	马娟, 宋璐, 俞小军, 孙雷军, 孙洪伟 (1130)
厌氧氨氧化污泥群体感应信号分子检测及影响研究	陈舒涵, 李安婕, 王越兴, 吴玲娟 (1137)
有机负荷对醋糟厌氧消化系统启动的影响	戴晓虎, 于春晓, 李宁, 董滨, 戴翎翎 (1144)
过氧化钙预处理对活性污泥脱水性能的影响机制	白润英, 陈湛, 张伟军, 王东升 (1151)
不同工况蚯蚓人工湿地表层污泥处理效果	董梦珂, 李怀正, 徐一啸 (1159)
全氟辛酸对大肠杆菌的氧化胁迫和膜损伤	杨蒙, 李伟, 叶锦韶, 龙焰, 秦华明 (1167)
纳米银在环境水样和实验介质中的理化性质和毒性效应	衣俊, 程金平 (1173)
血吸虫病疫区鱼体器官中氯苯化合物的污染特征	李昆, 赵高峰, 周怀东, 张盼伟, 刘巧娜, 赵晓辉, 李东佼, 任敏, 赵丹丹 (1182)
纳米沸石对大白菜生长、抗氧化酶活性及镉形态、含量的影响	秦余丽, 熊仕娟, 徐卫红, 赵婉伊, 王卫中, 陈永勤, 迟苏琳, 陈序根, 张进忠, 熊治庭, 王正银, 谢德体 (1189)
利用 <i>in vitro</i> 方法研究不同铁矿对土壤砷生物可给性的影响	钟松雄, 尹光彩, 黄润林, 何宏飞, 陈志良, 林亲铁, 王文科 (1201)
不锈钢电极对重金属污染土壤的强化电动修复及电极腐蚀结晶现象与机制	温东东, 付融冰, 张卫, 顾莹莹 (1209)
施用无害化污泥影响土壤碳库组分和碳库管理指数的演变	刘晓, 黄林, 郭康莉, 张雪凌, 杨俊诚, 姜慧敏, 张建峰 (1218)
施氮和水管理对光合碳在土壤-水稻系统间分配的量化研究	王婷婷, 祝贞科, 朱捍华, 汤珍珠, 庞静, 李宝珍, 苏以荣, 葛体达, 吴金水 (1227)
模拟酸雨对次生林土壤呼吸及异养呼吸的影响	陈书涛, 孙鹭, 桑琳, 胡正华 (1235)
土壤硝化和反硝化微生物群落及活性对大气 CO ₂ 浓度和温度升高的响应	刘远, 王光利, 李恋卿, 潘根兴 (1245)
岩性对喀斯特灌丛土壤固氮菌与丛枝菌根真菌群落结构及丰度的影响	梁月明, 苏以荣, 何寻阳, 陈香碧 (1253)
板栗产区有机堆肥产物磷形态特征及其对叶片磷含量的影响	宋影, 郭素娟, 张丽, 孙慧娟, 谢明明, 武燕奇, 王静 (1262)
酸性物质对猪粪秸秆堆肥过程中氮素转化的影响	姜继超, 尧倩 (1272)
《环境科学》征稿简则 (1092)	
《环境科学》征订启事 (1158)	
信息 (1166, 1261, 1271)	

酸性物质对猪粪秸秆堆肥过程中氮素转化的影响

姜继韶, 尧倩

(河南师范大学环境学院, 黄淮水环境与污染防治教育部重点实验室, 河南省环境污染控制重点实验室, 新乡 453007)

摘要: 了解不同酸性物质对堆肥过程中氮素转化和 NH_3 排放的影响, 是筛选保氮添加剂的重要环节, 对于堆肥中氮素控制具有重要意义. 以新鲜猪粪和小麦秸秆为堆肥原料, 磷肥、腐烂苹果和食用醋为添加剂, 在实验室进行 40 d 的静态高温堆肥试验, 研究堆肥过程中温度、pH、EC、GI、氮素化合物和 TOC 含量的变化特征. 结果表明, CK、P、A 和 V 这 4 个处理高温期 ($>50^\circ\text{C}$) 均持续了 10 d 以上, 达到高温堆肥化卫生标准. 添加磷肥延缓了堆体进入高温期的时间, 降低了堆体的 pH 值, 使整个过程的 EC 值保持较高水平. 各处理氮素损失分别为 53.1%、36.2%、46.5% 和 41.5%, 主要集中在 0~16 d 之间, 而 P 和 V 处理在 16~24 d 之间仍有 20% 左右的氮素损失. 其中 NH_3 -N 损失占氮素损失的 26.0%、11.8%、21.5% 和 20.2%. 添加酸性物质有效降低了堆肥的氮素和 NH_3 -N 损失, 其中以添加磷肥效果最好. 堆肥结束时, 各处理 GI 均达到 80% 以上, 达到了腐熟的要求.

关键词: 磷肥; 腐烂苹果; 食用醋; 堆肥; 氮素转化

中图分类号: X713 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2017)03-1272-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.201609161

Effects of Acidic Materials on the N Transformations During the Composting of Pig Manure and Wheat Straw

JIANG Ji-shao, YAO Qian

(Key Laboratory for Yellow River and Huaihe River Water Environment and Pollution Control, Ministry of Education, Henan Key Laboratory for Environmental Pollution Control, School of Environment, Henan Normal University, Xinxing 453007, China)

Abstract: Understanding the effects of acidic materials on the N transformations becomes of critical importance to choose the additives with preserving nitrogen during the manure composting. A 40 d static composting experiment was conducted in the laboratory to explore the effects of acidic materials on changes of temperature, pH, EC (electrical conductivity), GI (germination index), N compounds and TOC (total organic carbon) during the composting of pig manure and wheat straw. Three acidic materials were selected as the additives, including phosphate fertilizer (P), rotten apples (A) and vinegar (V). The results showed that the duration with temperature higher than 50°C in four treatments all exceeded ten days and reached the health standard of high temperature composting. The addition of phosphate fertilizer delayed the time of the pile entering into the high temperature stage, decreased the pH, and increased the EC during the whole composting. On a mass basis, 53.1%, 36.2%, 46.5% and 41.5% of original amount of N in CK, P, A and V were lost during the first 16 d, but there was still 20% N loss during 16-24 d in P and V treatments. The NH_3 -N loss accounted for 26.0%, 11.8%, 21.5% and 20.2% of the N loss. The addition of acidic materials effectively reduced the N loss and the emissions of NH_3 , and the phosphate fertilizer showed the best effect. In the end of composting, the GI all exceeded 80%, and met maturity requirements.

Key words: phosphate fertilizer; rotten apples; vinegar; composting; N transformations

有研究表明畜禽粪便高温堆肥氮素损失范围为 16%~74%, 平均为 40% 左右^[1], 其中氨挥发是氮素损失的主要途径, 可高达 44%~99%^[2]. 氨气 (NH_3) 排放不仅造成氮素损失降低堆肥品质, 而且对大气中气溶胶的形成及参与二次反应形成细颗粒物 ($\text{PM}_{2.5}$) 有重要贡献^[3], 还可部分转化为 N_2O , 造成间接温室效应^[4]. 堆肥过程中有机氮通过氨化作用产生 NH_3 , 一部分溶于物料形成铵态氮 (NH_4^+ -N), 另一份逸散到空气中. 然而在高温阶段, 随着 pH 值升高, 严重影响了 NH_4^+ -N 与 NH_3 之间的平衡, 使非挥发性 NH_4^+ -N 向挥发性 NH_3 的转化过程加剧, NH_3 挥发严重, 氮素损失加剧^[5]. 因此, 适

当降低堆肥过程中 pH 值是减少氨挥发, 降低氮素损失的有效手段. 其中最直接的方法就是添加酸性物质, 如过磷酸钙、磷酸、木醋酸、硫酸等^[6~10], 这些物质的添加都对堆肥过程中 NH_3 和氮素的控制起到了较好的效果. 但如果添加酸性物质使堆体 pH 过低, 则可能使堆肥升温较慢, 高温期温度偏低, 从而延长堆肥的腐熟过程^[11]; 或加入的硫磺或硫酸亚铁等物质使得整个堆肥过程中电导率偏高, 而

收稿日期: 2016-09-20; 修订日期: 2016-10-18

基金项目: 河南省高等学校重点科研项目 (17A610006); 河南师范大学博士科研启动课题项目 (5101219170112)

作者简介: 姜继韶 (1985~), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为固体废物资源化利用, E-mail: jiangjishao@163.com

影响了堆肥的品质^[12]。研究不同酸性物质对堆肥过程的影响对于筛选出有效的酸性添加剂具有重要的指导意义。因此,本试验以猪粪与小麦秸秆为堆肥原料,研究不同酸性物质(磷肥,腐烂苹果和食用醋)对堆肥过程中氮素化合物和腐熟度的影响,以期控制畜禽粪便堆肥过程中的氮素损失提供理论基础和数据参考。

1 材料与方法

1.1 堆肥原料

本试验所用堆肥材料为新鲜猪粪和小麦秸秆,按鲜重比 10:1 混合。新鲜猪粪含水率为 70.9%,有机碳(TOC)含量为 $389.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,总氮(TN)含量为 $27.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。小麦秸秆取自附近农村,经自然风干后粉碎至 2~5 cm 左右,含水率为 14.5%,TOC 含量为 $421.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,TN 为 $8.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。添加剂一为颗粒磷肥,主要成分为过磷酸钙,购于当地市场,有效 P_2O_5 含量 $\geq 12\%$,pH 为 3.1;二为腐烂苹果,收集于当地水果店,含水率为 72%,pH 为 4.0;三为食用醋,购于当地超市,pH 为 3.3。

1.2 试验方案及采样方法

堆肥试验共 4 个处理:①对照(CK):新鲜猪粪与小麦秸秆按鲜重比 10:1,总重控制在 22 kg 左右,混匀后堆放在堆肥反应器中进行堆置,反应器设计详见文献^[13];②磷肥处理(P):物料与 CK 相同,另在起始阶段加入物料干重 6% 的过磷酸钙^[14,15],约为 0.5 kg;③腐烂苹果处理(A):物料与 CK 相同,把收集到的腐烂苹果捣碎,在起始阶段加入物料干重 15% 的腐烂苹果,约为 1.2 kg;④食用醋处理(V):物料与 CK 相同,在起始阶段加入物料鲜重 0.5% 的食用醋^[16],约为 100 mL。CK 和 P 处理加入适量蒸馏水,使之与 A 和 V 处理水分相当,各处理水分控制在 65% 左右。

堆肥期间每天上午和下午测定堆肥中部温度,平均值记为当天温度,并以约 $60 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ 的流量每天上、下午各通风 30 min,在 30 d 停止通风。整个过程共 40 d,在堆肥过程中,分别在第 0、8、16、24、32 和 40 d 采用 5 点取样法取样,取样前手动翻堆,所取样品一部分于 4℃ 冰箱内保存,一部分风干研磨,过 1 mm 筛备用。

1.3 测定项目与方法

pH 值用梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司生产的 Delta 320 pH 计测定;EC 使用该公司生产的 S30 电导率仪测定;种子发芽指数(GI)选用小白菜

种子进行测定^[17]。 NH_3 采用硼酸溶液吸收后用一定浓度的 HCl 滴定分析,铵态氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)和硝态氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)采用 NaCl 溶液浸提蒸馏定氮的方法测定^[13],全氮(TN)采用 $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$ 消煮-开氏定氮法。有机碳(TOC)采用硫酸重铬酸钾外加热法。

1.4 计算方法

堆肥过程中氮素损失计算方法如下:

$$\text{N 损失}(\text{g}) = N_i \times M_i - N_{i+1} \times M_{i+1} \quad (1)$$

$$\text{N 损失}(\%) = \frac{N_{\text{first}} \times M_{\text{first}} - N_{\text{last}} \times M_{\text{last}}}{N_{\text{first}} \times M_{\text{first}}} \quad (2)$$

其中,式(1)为计算 2 次采样间氮素的损失量, N_i 和 N_{i+1} 分别表示相邻 2 次采样时 TN 含量($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$), M_i 和 M_{i+1} 分别表示相邻 2 次采样时堆体的干物质量(kg);式(2)为计算整个堆肥过程中氮素的损失率, N_{first} 和 N_{last} 分别表示堆肥起始和结束时样品的 TN 含量($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$), M_{first} 和 M_{last} 分别表示堆肥起始和结束时堆体的干物质量(kg)。

2 结果与讨论

2.1 堆体温度、pH 和 EC 的变化

图 1(a)所示为 4 个处理堆肥过程中堆体温度变化情况。CK 和 A 处理在第 3 d 进入高温期($>50^\circ\text{C}$),分别持续了 14 d 和 15 d。而 P 和 V 处理堆肥温度上升较慢,其中 P 处理于第 7 d 进入高温期,持续了 17 d,V 处理于第 5 d 进入高温期,并持续了 15 d。4 处理高温期均持续了 10 d 以上,达到了畜禽粪便无害化处理标准^[18]。CK、P、A 和 V 高温期平均温度分别为 56.7、53.6、56.7 和 55.1℃。各处理在 35 d 左右时堆体温度基本达到室温。添加磷肥和食用醋减缓了堆体进入高温期的时间,降低了高温期的平均温度。

3 种物质的添加都显著降低了起始堆体的 pH 值,与 CK(pH 为 6.8)相比,P、A 和 V 这 3 个处理的 pH 分别降低了 0.8、0.6 和 0.7[图 1(b)]。随着堆肥的进行,氨化作用增强,pH 快速升高,CK 和 A 处理于 8 d 时达到最大值,而 P 和 V 处理于 16 d 时达到最大值。之后氨化作用减弱,硝化作用逐渐增强,pH 开始降低,在堆肥降温阶段 pH 值又有所上升。堆肥结束,4 个处理 pH 分别为 8.5、8.2、8.4 和 8.3,均小于 9,满足腐熟要求^[19]。通常认为,堆肥起始阶段适宜 pH 值为 6.7~9.0 之间^[20],而酸性物质的添加使 pH 值降为 6 左右,严重抑制了微生物的活性,延迟了堆肥进入高温期的时间。腐烂苹果可能是因为酸性较为缓和,同时提供多种营养物

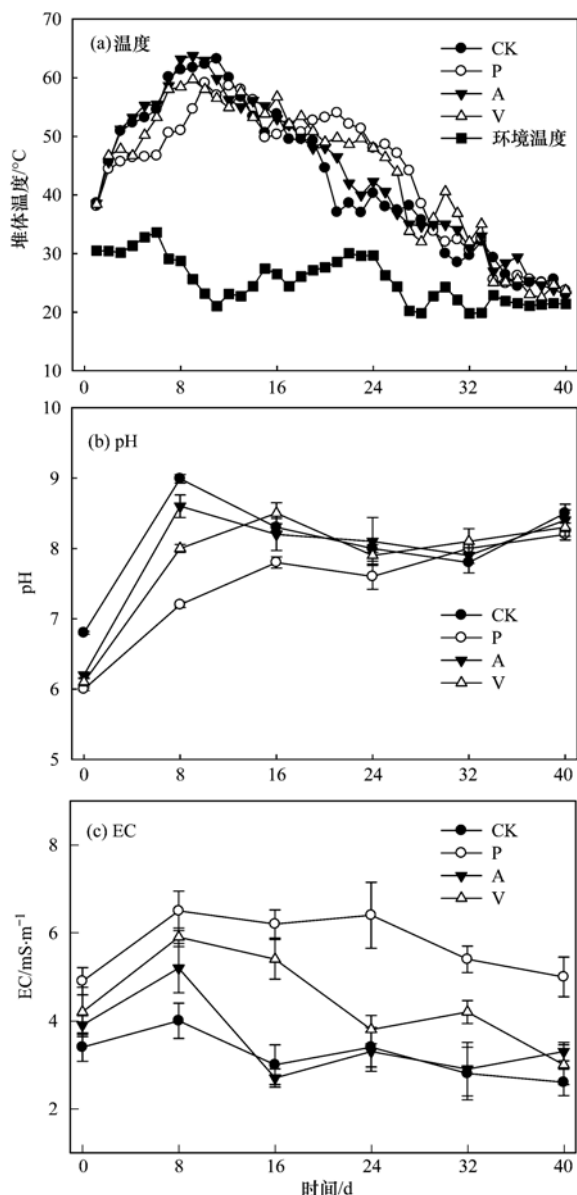


图1 堆肥过程中温度、pH和EC的变化

Fig. 1 Changes of temperature, pH and EC during composting

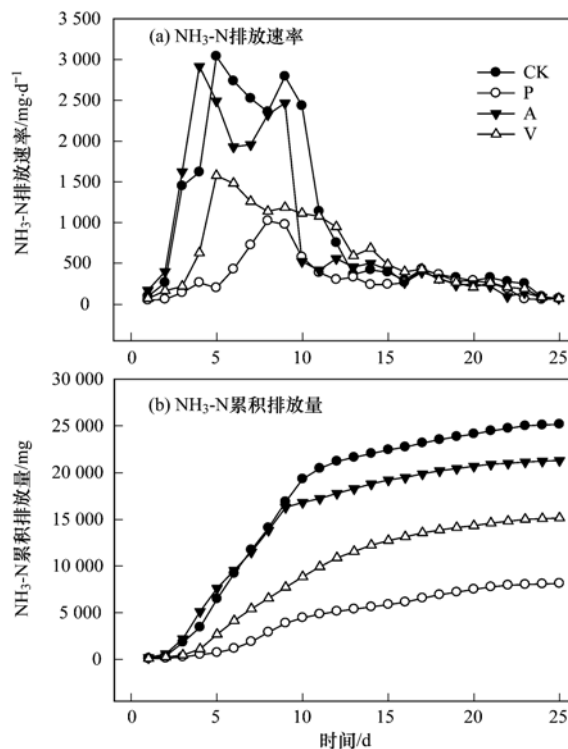
质^[21],因此进入高温期的时间与CK相同,并未出现推迟现象.

高温阶段有机物质的快速分解,使水溶性盐浓度剧增^[22],EC值均于8 d时达到最大值,之后逐渐下降[图1(c)].至堆肥结束,CK、P、A和V处理EC值分别为2.6、5.0、3.3和3.0 mS·cm⁻¹,仅P处理EC大于4 mS·cm⁻¹,未满足腐熟的要求^[23],但却低于中国固体废弃物处理的标准(EC < 9 mS·cm⁻¹)^[24],基本满足了农田施用的要求.整个堆肥过程中,各处理EC均值分别为3.2、5.7、3.6和4.4 mS·cm⁻¹,添加磷肥和食用醋由于增加了磷酸根、醋酸根和Ca²⁺的含量,显著增加了EC值^[25],改变了细胞的渗透压^[26],同时降低了堆肥起

始的pH,抑制了微生物的活性,使得P和V处理进入高温期的时间有所推后,其中磷肥处理推迟更为严重.

2.2 NH₃ 排放特征

堆肥过程中,高温与高pH显著促进NH₃的挥发^[20].本研究中,NH₃的排放主要集中在高温期的3~11 d,11 d以后处于较低水平,25 d以后NH₃的排放可忽略不计[图2(a)].CK和A处理NH₃-N排放于3 d时迅速上升到1 500 mg·d⁻¹左右,并分别于第5 d和第4 d时达到最大值3 000 mg·d⁻¹左右,而P和V处理由于进入高温期较晚,前期氨化作用较弱,NH₃-N排放的增加较为缓慢,P处理于8 d时达到最大值1 023 mg·d⁻¹,V处理于6 d时达到最大值1 483 mg·d⁻¹.整个堆肥过程中,各处理平均排放速率分别为1 005、329、850和602 mg·d⁻¹.除A处理外,与CK相比,P和V处理都显著降低了堆肥过程中NH₃-N的排放速率.

图2 堆肥过程中NH₃-N排放速率和累积排放量的变化Fig. 2 Changes of NH₃-N emission rate and cumulative NH₃-N emission during composting

CK、P、A和V处理NH₃-N的累积排放分别为25.2、8.1、21.3和15.1 g,占各处理初始含氮量的13.8%、4.3%、10.0%和8.4%[图2(b)],高于Jiang等^[13]研究中的2.1%~4.4%,但是低于罗一鸣等^[14]研究中的12.9%~35.7%.添加酸性物质

都有效降低了 NH_3 的排放,其中磷肥和食用醋效果较好,可能是因为二者不但有效地降低了高温期的 pH,而且醋酸根和磷酸根离子能与 NH_4^+ -N 有效结合,使其不易向 NH_3 -N 转化^[15].

2.3 堆肥 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N和 TN 的变化

从图 3(a)可以看出,CK、A 和 V 处理 NH_4^+ -N 整体呈现先上升后下降的趋势,其 NH_4^+ -N分别从初期的 1.9、2.4 和 2.0 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 升高到 8 d 时的 2.8、3.1 和 2.6 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,之后开始下降. 而 P 处理 NH_4^+ -N 含量一直上升. 至堆肥结束,各处理 NH_4^+ -N 分别为 0.4、3.1、0.5 和 1.1 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,仅 CK 和 A 处理小于腐熟要求的 0.5 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[27]. 添加磷肥后,由于抑制

了 NH_4^+ -N 向 NH_3 -N 的转化,而且磷酸根能促进 NH_4^+ -N 与堆体中 Ca^{2+} 结合,形成结晶或是结合体,因此整个堆肥过程中 NH_4^+ -N 一直很高^[15].

由于受到高温的限制作用,硝化作用较为微弱,堆体 NO_3^- -N 含量在 16 d 之前相对较小,仅为 0.01 ~ 0.07 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间[图 3(b)],与前人研究结果相似^[22]. 高温期结束,硝化作用开始增强, NO_3^- -N 含量快速增加. 至堆肥结束各处理 NO_3^- -N 含量分别为 0.58、0.47、0.71 和 0.65 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. 添加磷肥可能是形成大量的 NH_4CaPO_4 稳定复合体,使得硝化作用底物 NH_4^+ -N 不易被微生物分解利用,因而 NO_3^- -N 含量相对较少.

TN 含量变化如图 3(c) 所示,高温期由于 NH_3 -N 的大量损失,使得各处理 TN 含量在 8 d 时都有所降低,随后由于 TOC 的快速分解,TN 由于“富集作用”而升高. 至堆肥结束,CK、P、A 和 V 处理 TN 含量分别为 27.6、31.0、30.2 和 31.1 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,分别比初期增加了 17.8%、34.2%、24.0%、32.3%. 与对照相比,酸性物质的添加都增加了 TN 的含量.

2.4 氮素损失

堆肥中氮素的损失主要有 NH_3 的排放、水溶性含氮物质的淋失以及氮氧化物的挥发^[28]. 本研究中,CK、P、A 和 V 处理氮素损失分别为 97.0、65.8、99.0 和 74.8 g(表 1),占初始氮素的 53.1%、36.2%、46.5% 和 41.5%,在前人报道的 16% ~ 76% 之间^[29]. 其中各处理 NH_3 -N 损失占氮素损失的 26.0%、11.8%、21.5% 和 20.2%,远低于其他研究中的比例^[30],但与 Jiang 等^[13] 的研究(10.7% ~ 22.7%) 基本相当.

图 4(a) 所示为各处理不同堆肥阶段氮素损失

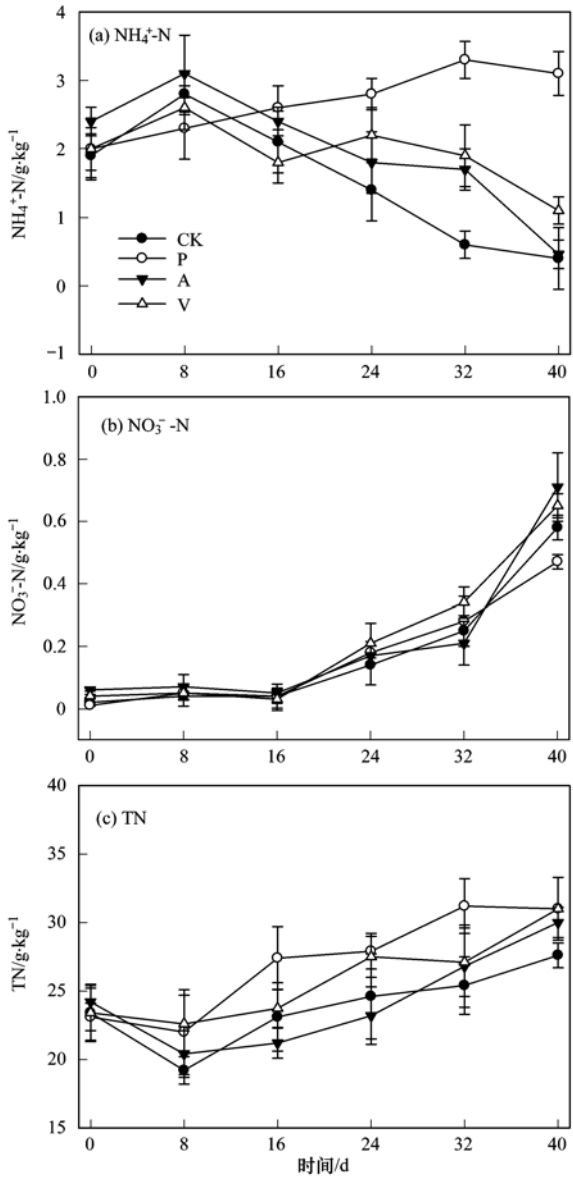


图 3 堆肥过程中 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N和 TN 含量的变化

Fig. 3 Changes of NH_4^+ -N, NO_3^- -N and TN contents during composting

表 1 堆肥过程中氮素的变化					
Table 1 Mass changes of nitrogen (N) and N loss after 40 days of composting					
堆肥阶段	指标	CK	P	A	V
起始	M_1/kg	7.8	8.2	8.8	7.7
	$N_1/\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	23.4	23.1	24.2	23.4
	N/g	182.5	189.4	213.0	180.2
结束	M_2/kg	3.1	3.9	3.8	3.4
	$N_2/\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	27.6	31.0	30.0	31.0
	N/g	85.6	120.9	114.0	105.4
变化率	N 损失/g	97.0	68.5	99.0	74.8
	N 损失率/%	53.1	36.2	46.5	41.5
	NH_3 -N 损失/N 损失/%	26.0	11.8	21.5	20.2

情况,各处理氮素损失主要在 0~16 d 之间,占氮素损失的 57.2%~69.4%,与已有研究的氮素损失主要发生在高温阶段结果一致^[16]. P 和 V 处理由于进入高温期较晚,16~24 d 之间有机物质仍降解较多[图 5(a)],有高的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 损失(图 2),期间氮素损失仍有 20% 左右. 本研究中发现,各个阶段的碳素的损失与氮素损失存在显著的相关关系($R^2 = 0.59$, $P < 0.0001$)[图 4(b)],与前人研究的有机碳降解过程中二氧化碳释放速率与 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排放存有显著的相关性相一致^[29, 31].

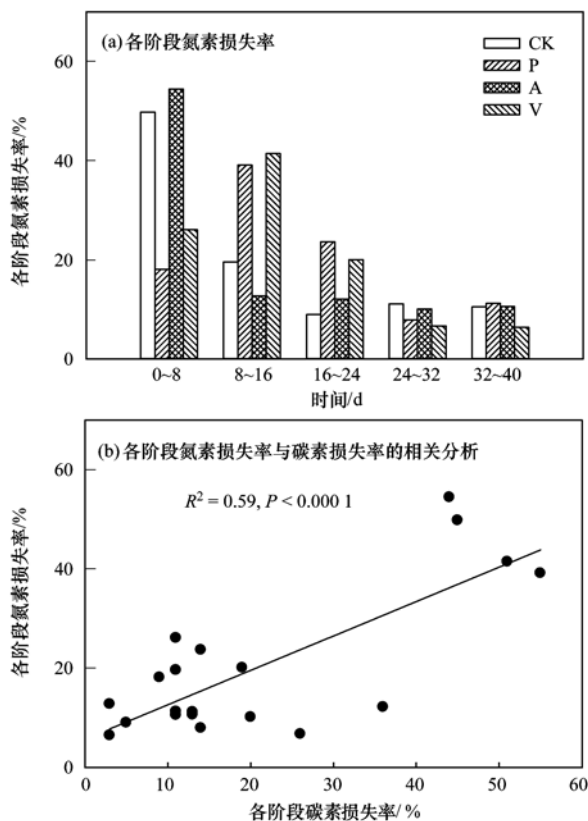


图 4 堆肥过程中各阶段氮素损失率及其与各阶段碳素损失率的相关性

Fig. 4 N loss and the correlation with the C loss during each stage of composting

所有处理中,磷肥处理氮素损失最小,仅为 36.2%,比 CK 降低了 32%, $\text{NH}_3\text{-N}$ 损失占氮素损失的 8.1%,仅为 CK 处理 $\text{NH}_3\text{-N}$ 损失的 1/3,且以往的研究中也已发现过磷酸钙对于氮素损失和气态氮排放控制都有较好的效果^[14, 32]. 但是基本所有的研究中,过磷酸钙都是作为原位添加材料,这样可能会使堆体 pH 和 EC 过高,延迟堆肥腐熟进程,影响堆肥品质,因而不宜添加过多. 然而添加量的限制使其只能吸收部分 NH_3 ,不能完全控制所有的氨挥发. 吕丹丹等^[33]以氨水作为 NH_3 释放源,以磷肥作为

异位吸附材料,发现对 NH_3 有较好的吸附性能,且添加量不受限制. 然而未在堆肥中开展过磷酸钙作为异位吸附材料的研究,今后应开展此方面的工作,为堆肥中氮素的损失和 NH_3 的排放控制提供理论和技术支撑.

2.5 堆肥 TOC 和 GI 的变化

各处理 TOC 含量随堆肥的进行逐渐下降[图 5(a)]. CK 和 A 处理 TOC 含量在 0~8 d 下降较多,而 P 和 V 处理在 8~24 d 下降较多,与 NH_3 排放和氮素的损失情况一致. 至堆肥结束,各处理 TOC 分别比初期下降了 22.0%、27.4%、32.1% 和 29.1%.

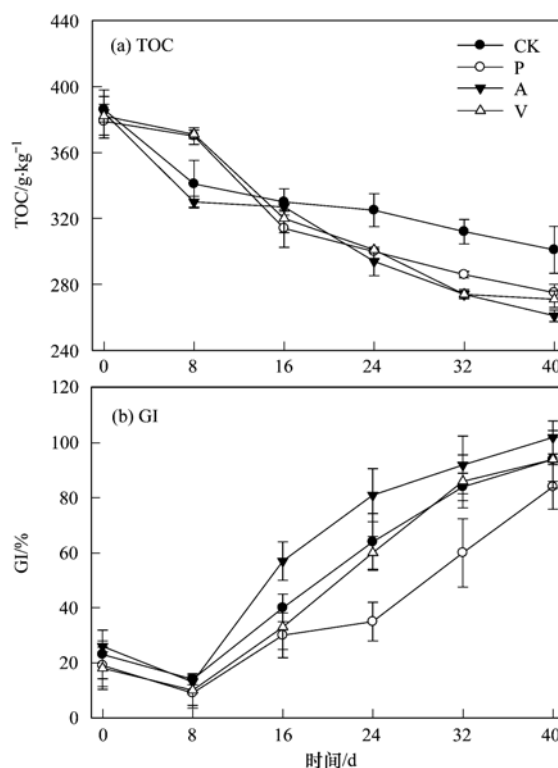


图 5 堆肥过程中 TOC 和 GI 的变化

Fig. 5 Changes of TOC and GI during composting

各处理 GI 变化如图 5(b) 所示,堆肥初期由于大量小分子脂肪酸和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的大量产生^[34],GI 下降到 15% 以下. 随着堆肥的进行,各处理 GI 快速上升,其中 CK、A 和 V 处理到第 32 d 时 GI 已达到 80% 以上,而 P 处理由于高的 EC 值[图 1(c)],抑制了 GI,在堆肥结束时 GI 才超过了 80%.

3 结论

(1) CK、P、A 和 V 这 4 个处理中堆肥高温期分别持续了 14、17、15 和 15 d,达到畜禽粪便无害化要求. 添加磷肥延缓了堆体进入高温期的时间,

降低了堆体过程中的 pH 值,增加了 EC 值。

(2) 至堆肥结束,各处理 TN 增幅分别为 18.0%、34.2%、24.0% 和 32.5%。氮素损失分别为 53.1%、36.2%、46.5% 和 41.5%,其中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 损失占氮素损失的 26.0%、11.8%、21.5% 和 20.2%。添加酸性物质有效降低了堆肥的氮素和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 损失,其中以添加磷肥效果最好。

(3) 堆肥结束时,各处理 GI 均达到 80% 以上,达到了腐熟的要求。

参考文献:

- [1] Raviv M, Medina S, Krasnovsky A, *et al.* Organic matter and nitrogen conservation in manure compost for organic agriculture [J]. *Compost Science & Utilization*, 2004, **12**(1): 6-10.
- [2] 黄向东, 韩志英, 石德智, 等. 畜禽粪便堆肥过程中氮素的损失与控制[J]. *应用生态学报*, 2010, **21**(1): 247-254.
Huang X D, Han Z Y, Shi D Z, *et al.* Nitrogen loss and its control during livestock manure composting[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, **21**(1): 247-254.
- [3] Li X R, Wang Y S, Guo X Q, *et al.* Seasonal variation and source apportionment of organic and inorganic compounds in $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} particulates in Beijing, China[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2013, **25**(4): 741-750.
- [4] IPCC. Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [5] Eklind Y, Kirchmann H. Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. II: nitrogen turnover and losses[J]. *Bioresource Technology*, 2000, **74**(2): 125-133.
- [6] Yu H, Huang G H. Effects of sodium acetate as a pH control amendment on the composting of food waste[J]. *Bioresource Technology*, 2009, **100**(6): 2005-2011.
- [7] Wang K Y, Wei B, Huang D D, *et al.* A case study of effects of sulfuric acid spray on ammonia and odor emissions from swine manure composting[J]. *Applied Engineering in Agriculture*, 2014, **30**(2): 267-276.
- [8] 张强, 孙向阳, 任忠秀, 等. 调节 C/N 及添加菌剂与木醋液对园林绿化废弃物堆肥效果的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2012, **18**(4): 990-998.
Zhang Q, Sun X Y, Ren Z X, *et al.* Effects of regulating of C/N ratio and adding different concentrations of microbe fungus and wood vinegar on composting of landscaping waste [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2012, **18**(4): 990-998.
- [9] 胡雨彤, 时连辉, 刘登民, 等. 添加硫酸对牛粪堆肥过程及其养分变化的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, **20**(3): 718-725.
Hu Y T, Shi L H, Liu D M, *et al.* Effects of adding sulphuric acid on composting process of cattle manure and changes of main nutrients[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2014, **20**(3): 718-725.
- [10] 秦翠兰, 王磊元, 刘飞, 等. 木醋液添加对牛粪堆肥传热性能的影响[J]. *中国农机化学报*, 2016, **37**(6): 259-263.
Qin C L, Wang L Y, Liu F, *et al.* Impact of adding wood vinegar on heat transfer performance of cow dung compost[J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2016, **37**(6): 259-263.
- [11] Jiang J S, Huang Y M, Liu X L, *et al.* The effects of apple pomace, bentonite and calcium superphosphate on swine manure aerobic composting [J]. *Waste Management*, 2014, **34**(9): 1595-1602.
- [12] 张发宝, 顾文杰, 徐培智, 等. 硫磺和硫酸亚铁对鸡粪好氧堆肥的保氮效果[J]. *环境工程学报*, 2011, **5**(10): 2347-2352.
Zhang F B, Gu W J, Xu P Z, *et al.* Effects of S and FeSO_4 agents on nitrogen conservation in aerobic composting of chicken manure [J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2011, **5**(10): 2347-2352.
- [13] Jiang J S, Liu X L, Huang Y M, *et al.* Inoculation with nitrogen turnover bacterial agent appropriately increasing nitrogen and promoting maturity in pig manure composting [J]. *Waste Management*, 2015, **39**: 78-85.
- [14] 罗一鸣, 李国学, Schuchardt F, 等. 过磷酸钙添加剂对猪粪堆肥温室气体和氨气减排的作用[J]. *农业工程学报*, 2012, **28**(22): 235-242.
Luo Y M, Li G X, Schuchardt F, *et al.* Effects of additive superphosphate on NH_3 , N_2O and CH_4 emissions during pig manure composting[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, **28**(22): 235-242.
- [15] 杨岩, 孙钦平, 李妮, 等. 添加过磷酸钙对蔬菜废弃物堆肥中氨气及温室气体排放的影响[J]. *应用生态学报*, 2015, **26**(1): 161-167.
Yang Y, Sun Q P, Li N, *et al.* Effects of superphosphate addition on NH_3 and greenhouse gas emissions during vegetable waste composting [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, **26**(1): 161-167.
- [16] Chen Y X, Huang X D, Han Z Y, *et al.* Effects of bamboo charcoal and bamboo vinegar on nitrogen conservation and heavy metals immobility during pig manure composting [J]. *Chemosphere*, 2010, **78**(9): 1177-1181.
- [17] Zucconi F, Pera A, Forte M, *et al.* Evaluating toxicity of immature compost[J]. *Biocycle*, 1981, **22**: 54-57.
- [18] GB 7959-2012 粪便无害化卫生要求[S].
- [19] De Bertoldi M, Vallini G, Pera A. The biology of composting: a review[J]. *Waste Management & Research*, 1983, **1**(1): 157-176.
- [20] Bernal M P, Albuquerque J A, Moral R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. a review[J]. *Bioresource technology*, 2009, **100**(22): 5444-5453.
- [21] Lavelli V, Kerr W. Apple pomace is a good matrix for phytochemical retention [J]. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2012, **60**(22): 5660-5666.
- [22] Li R H, Wang J J, Zhang Z Q, *et al.* Nutrient transformations during composting of pig manure with bentonite[J]. *Bioresource Technology*, 2012, **121**: 362-368.
- [23] García C, Hernández T, Costa F. Study on water extract of sewage sludge composts [J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1991, **37**(3): 399-408.
- [24] 聂永丰. 三废处理工程技术手册: 固体废物卷[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.

- [25] Luo Y M, Xu D G, Li G X. Effect of superphosphate as additive on nitrogen and carbon losses during pig manure composting[J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, **295-298**: 1675-1679.
- [26] Wolkers-Rooijackers J C M, Thomas S M, Nout M J R. Effects of sodium reduction scenarios on fermentation and quality of sauerkraut[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2013, **54**(2): 383-388.
- [27] Tiquia S M, Tam N F Y. Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge[J]. *Bioresource Technology*, 1998, **65**(1-2): 43-49.
- [28] Martins O, Dewes T. Loss of nitrogenous compounds during composting of animal wastes[J]. *Bioresource Technology*, 1992, **42**(2): 103-111.
- [29] Barrington S, Choinière D, Trigui M, *et al.* Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses[J]. *Bioresource Technology*, 2002, **83**(3): 189-194.
- [30] Ren L, Schuchardt F, Shen Y J, *et al.* Impact of struvite crystallization on nitrogen losses during composting of pig manure and cornstalk[J]. *Waste Management*, 2010, **30**(5): 885-892.
- [31] 李云蓓, 李伟光. 不同类型的外加碳源对污泥堆肥过程氮素损失的影响[J]. *土木建筑与环境工程*, 2014, **36**(2): 104-109.
- Li Y B, Li W G. Influence of carbon-rich amendments on nitrogen losses during sewage sludge composting[J]. *Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering*, 2014, **36**(2): 104-109.
- [32] Zhang L, Sun X Y, Tian Y, *et al.* Effects of brown sugar and calcium superphosphate on the secondary fermentation of green waste[J]. *Bioresource Technology*, 2013, **131**: 68-75.
- [33] 吕丹丹, 种云霄, 吴启堂, 等. 过磷酸钙对氨气的吸附解吸特性研究[J]. *环境科学学报*, 2011, **31**(11): 2506-2510.
- Lv D D, Zhong Y X, Wu Q T, *et al.* Adsorption and desorption of calcium superphosphate to ammonia gas[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2011, **31**(11): 2506-2510.
- [34] Sundberg C, Smårs S, Jönsson H. Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting[J]. *Bioresource Technology*, 2004, **95**(2): 145-150.

CONTENTS

Reactivity-based Anthropogenic VOCs Emission Inventory in China	LIANG Xiao-ming, ZHANG Jia-ni, CHEN Xiao-fang, <i>et al.</i> (845)
Characteristics of Reactive VOCs Species During High Haze-Pollution Events in Suburban Area of Shanghai in Winter	GAO Shuang, ZHANG Kun, GAO Song, <i>et al.</i> (855)
Assessment of PM _{2.5} Pollution Mitigation due to Emission Reduction from Main Emission Sources in the Beijing-Tianjin-Hebei Region	WU Wen-jing, CHANG Xing, XING Jia, <i>et al.</i> (867)
Concentration Characteristics and Sources of Trace Metals in PM _{2.5} During Wintertime in Beijing	QIAO Bao-wen, LIU Zi-rui, HU Bo, <i>et al.</i> (876)
Online Source Analysis of Particulate Matter (PM _{2.5}) in a Heavy Pollution Process of Shijiazhuang City During Heating Period in 2015	LU Na, LI Zhi-guo, ZHOU Jing-bo, <i>et al.</i> (884)
Analysis of Chemical Composition and Pollution Source of the Fine Particulate Matter by the SPAMS in the Four Seasons in Nanning	LIU Hui-lin, CHEN Zhi-ming, MAO Jing-ying, <i>et al.</i> (894)
Physico-chemical Characteristics of Individual Aerosol Particles in Marine Atmosphere on South Hemisphere	CHI Jian-wei, LI Chuan-jin, SUN Jun-ying, <i>et al.</i> (903)
Characteristics of Spatial Distribution of Bacterial Aerosols Produced by Fountain	ZHANG Chong-miao, YUAN Lin, XU Peng-cheng, <i>et al.</i> (911)
Removal of Volatile Sulfur Odor by the Biotrickling Filter	YE Jie-xu, MIAO Xiao-ping, ZHUGE Lei, <i>et al.</i> (918)
Magnetic Characteristics and Environmental Pollution Analysis of Street Dust in Different Functional Zones of Xi'an City	FANG Ni, ZHANG Jun-hui, WANG Jin, <i>et al.</i> (924)
Pollution Characteristics and Nitrification and Denitrification Potential of Superficial Sediments from Streams in an Urban-Rural Fringe	QIN Ru-bin, LI Ru-zhong, GAO Su-di, <i>et al.</i> (936)
Nitrification and Denitrification Rates in a Small Tributary, Nanhe River, of Three Gorge Dam Reservoir During Water Collection and Release Events	WANG Jing, LIU Hong-jie, LEI Yu, <i>et al.</i> (946)
Tempo-spatial Variations and Influential Factors of Carbon Dioxide Emissions from the Geheyan Reservoir over the Qingjiang River Basin, China	ZHAO Deng-zhong, TAN De-bao, LI Chong, <i>et al.</i> (954)
Seasonal Pollution Characteristics and Source Identification of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Organochlorine Pesticides in Surface Water of Baiyangdian Lake	WANG Yi-zhen, ZHANG Jun, ZHOU Xu-shen, <i>et al.</i> (964)
Distributions, Sources and Pollution Assessment of Hg in Sediment of Douhe Reservoir in Tangshan City	WU Ting-ting, WANG Ming-meng, CHEN Xu-feng, <i>et al.</i> (979)
Release Characteristics of Mercury from Submersed Typical Herbaceous Plants in the Water-Level Fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir Area	DENG Han, ZHANG Xiang, ZHANG Cheng, <i>et al.</i> (987)
Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Water Around Electroplating Factories	YU Cong-cong, ZHAO Wei-tuo, GAO Xiao-feng, <i>et al.</i> (993)
Speciation and Ecological Risk of Heavy Metals in Surface Sediments from Jiulong River	LIN Cheng-qi, HU Gong-ren, YU Rui-lian, <i>et al.</i> (1002)
Fractionation and Contamination Assessment of Metal Elements in the Surface Sediments of Yundang Lagoon in Xiamen	YANG Qiu-li, YU Rui-lian, HU Gong-ren, <i>et al.</i> (1010)
Source Analysis, Spatial Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Sewage Irrigation Area Farmland Soils of Longkou City	LI Chun-fang, WANG Fei, CAO Wen-tao, <i>et al.</i> (1018)
Efficiency and Mechanism of Purifying High Iron-Manganese from Ground Water in the Cold Villages and Towns Based on The Coupling of Rice Husk and Iron-Manganese Oxidizing Bacteria	SUN Nan, CHEN Yan-li, ZHANG Ying, <i>et al.</i> (1028)
Peroxidation of High Algae-laden Water by Ozone; Algae Organic Matter Transformation and Disinfection By-products Formation	ZHANG Sai, HU Xue-bin, GU Li, <i>et al.</i> (1038)
Effects of Pretreatment on Hydraulic Irreversible Membrane Fouling During Ultrafiltration Short Process: A Pilot Study	YANG Hai-yan, XING Jia-jian, WANG Can, <i>et al.</i> (1046)
Fenton-like Catalytic Removal of Organic Pollutants in Water by Framework Cu in Cu-Al ₂ O ₃	XU Dan, ZHANG Li-li, LIU Li-fen (1054)
Oxidation Destruction of Cu(CN) ₂ ²⁻ by Persulfate	WANG Yun-fei, LI Yi-bing, WANG Yan-bin, <i>et al.</i> (1061)
Enhanced Removal of Herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic Acid and Simultaneous Power Generation in Microbial Fuel Cells	QUAN Xiang-chun, QUAN Yan-ping, XIAO Zhu-tian (1067)
Adsorption Characteristics of Copper in Water by the Porous Biomorph-Genetic Composite of HAP/C with Eucalyptus Wood Template	LI Chao, ZHU Zong-qiang, CAO Shuang, <i>et al.</i> (1074)
Biological Toxicity Evaluation of Domestic Wastewater Based on A ² /O Treatment Processes Using a Battery of Bioassays	ZHANG Qiu-ya, MA Xiao-yan, WANG Xiao-chang, <i>et al.</i> (1084)
Effect of Wastewater Nitrogen Concentrations on Nitrogen Removal Ability of <i>Myriophyllum aquaticum</i>	MA Yong-fei, YANG Xiao-zhen, ZHAO Xiao-hu, <i>et al.</i> (1093)
Recovery Performance of ANAMMOX Process after Inhibition Resulting from Seawater	QI Pan-qing, YU De-shuang, LI Jin, <i>et al.</i> (1102)
Impact of Starvation Conditions on Biological Community Structure in Sulfur Autotrophic Denitrification Reactor	LI Fang-fang, SHI Chun-hong, LI Hai-bo, <i>et al.</i> (1109)
Quick Start-up of Anaerobic Ammonium Oxidation Process	LÜ Gang, XU Le-zhong, SHEN Yao-liang, <i>et al.</i> (1116)
A New Model for the Treatment of Low Ammonia Nitrogen Wastewater by CANON Process	WANYAN De-qing, YUAN Yi, LI Xiang, <i>et al.</i> (1122)
Effects of Side-stream Phosphorus Recovery on the Performance of EBPR System Under Low Dissolved Oxygen Condition	MA Juan, SONG Lu, YU Xiao-jun, <i>et al.</i> (1130)
Identification and Influence of Quorum Sensing on Anaerobic Ammonium Oxidation Process	CHEN Shu-han, LI An-jie, WANG Yue-xing, <i>et al.</i> (1137)
Effects of Organic Loading Rate on Startup Performance of Anaerobic Digestion with Vinegar Residues	DAI Xiao-hu, YU Chun-xiao, LI Ning, <i>et al.</i> (1144)
Influencing Mechanism of Calcium Peroxide Pre-treatment on Dewatering Performance of Waste Activated Sludge	BAI Run-ying, CHEN Zhan, ZHANG Wei-jun, <i>et al.</i> (1151)
Treatment Effects of Earthworm Constructed Wetlands in Different Working Conditions	DONG Meng-ke, LI Huai-zheng, XU Yi-xiao (1159)
Effect of PFOA on Oxidative Stress and Membrane Damage of <i>Escherichia coli</i>	YANG Meng, LI Yi, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (1167)
Physicochemical Properties and Antibacterial Effect of Silver Nanoparticles; A Comparison of Environmental and Laboratorial Conditions	YI Jun, CHENG Jin-ping (1173)
Pollution Characteristics of Chlorobenzenes in Organs of Fish from Typical Epidemic Areas of Schistosomiasis Prevalence	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (1182)
Effect of Nano Zeolite on Growth, Activity of Antioxidant Enzyme, and Chemical Fractions and Concentration of Cd in Chinese Cabbage	QIN Yu-li, XIONG Shi-juan, XU Wei-hong, <i>et al.</i> (1189)
Effect of Different Iron Minerals on Bioaccessibility of Soil Arsenic Using <i>in vitro</i> Methods	ZHONG Song-xiong, YIN Guang-cai, HUANG Run-lin, <i>et al.</i> (1201)
Enhanced Electrokinetic Remediation of Heavy Metals Contaminated Soils by Stainless Steel Electrodes as well as the Phenomenon and Mechanism of Electrode Corrosion and Crystallization	WEN Dong-dong, FU Rong-bing, ZHANG Wei, <i>et al.</i> (1209)
Influence of the Application of Non-Hazardous Sewage Sludge on the Evolution of Soil Carbon Pool and Carbon Pool Management Index	LIU Xiao, HUANG Lin, GUO Kang-li, <i>et al.</i> (1218)
Input and Distribution of Photosynthesized Carbon in Soil-Rice System Affected by Water Management and Nitrogen Fertilization	WANG Ting-ting, ZHU Zhen-ke, ZHU Han-hua, <i>et al.</i> (1227)
Effects of Simulated Acid Rain on Soil Respiration and Heterotrophic Respiration in a Secondary Forest	CHEN Shu-tao, SUN Lu, SANG Lin, <i>et al.</i> (1235)
Response of Soil Nitrifier and Denitrifier Community and Activity to Elevated Atmospheric CO ₂ Concentration and Temperature	LIU Yuan, WANG Guang-li, LI Lian-qing, <i>et al.</i> (1245)
Effects of Lithology on the Abundance and Composition of Soil Nitrogen-fixing Bacteria and Arbuscular Mycorrhizal Fungal Communities in Karst Shrub Ecosystem	LIANG Yue-ming, SU Yi-rong, HE Xun-yang, <i>et al.</i> (1253)
Characterization of Phosphorus Forms in Organic Composts and Their Effects on Leaf Phosphorus Content of <i>Castanea mollissima</i> in Chinese Chestnut Producing Area	SONG Ying, GUO Su-juan, ZHANG Li, <i>et al.</i> (1262)
Effects of Acidic Materials on the N Transformations During the Composting of Pig Manure and Wheat Straw	JIANG Ji-shao, YAO Qian (1272)