

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第6期

Vol.37 No.6

**2016**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

|                                                                                         |                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 双级虚拟撞击采样器应用于固定污染源 PM <sub>10</sub> 和 PM <sub>2.5</sub> 排放测量 .....                       | 蒋靖坤, 邓建国, 李振, 马子轲, 周伟, 张强, 段雷, 郝吉明 (2003)              |
| 黄山夏季气溶胶吸湿性及与化学组分闭合 .....                                                                | 陈卉, 杨素英, 李艳伟, 银燕, 张泽锋, 于兴娜, 康娜, 严殊祺, 夏航 (2008)         |
| 沈阳大气气溶胶中水溶性无机离子的观测研究 .....                                                              | 苗红妍, 温天雪, 王璐, 徐慧 (2017)                                |
| 南京夏秋季节大气干沉降水溶性离子特征及来源分析 .....                                                           | 秦阳, 朱彬, 邹嘉南, 庞博 (2025)                                 |
| 太原市大气颗粒物粒径和水溶性离子分布特征 .....                                                              | 曹润芳, 闫雨龙, 郭利利, 郭文帝, 何秋生, 王新明 (2034)                    |
| 2014 年北京市城区臭氧超标日浓度特征及与气象条件的关系 .....                                                     | 程念亮, 李云婷, 张大伟, 陈添, 王欣, 邹宁, 陈晨, 孟凡 (2041)               |
| 机动车尾气烟尘中烷烃和有机酸的组成 .....                                                                 | 袁佳雯, 刘刚, 李久海, 徐慧 (2052)                                |
| DOC/CCRT 老化对柴油公交车气态物排放特性的影响 .....                                                       | 楼狄明, 贺南, 谭丕强, 胡志远 (2059)                               |
| 紫外辐照改性生物炭对 VOCs 的动态吸附 .....                                                             | 李桥, 雍毅, 丁文川, 侯江, 高屿涛, 曾晓岚 (2065)                       |
| 三峡库区内陆腹地典型水库型湖泊中 DOM 吸收光谱特征 .....                                                       | 江韬, 卢松, 王齐磊, 白薇扬, 张成, 王定勇, 梁俭 (2073)                   |
| 三峡库区典型农业小流域水体中溶解性有机质的光谱特征 .....                                                         | 王齐磊, 江韬, 赵铮, 梁俭, 木志坚, 魏世强, 陈雪霜 (2082)                  |
| 高分辨率降水氧氮同位素变化及洞穴水响应: 以河南鸡冠洞为例 .....                                                     | 孙喆, 杨琰, 张萍, 刘肖, 梁沙, 张娜, 聂旭东, 梁胜利, 李建仓, 凌新有, 张志钦 (2093) |
| 不同雨强条件下河流水质对流域土地利用类型与格局空间响应 .....                                                       | 季香, 刘红玉, 李玉凤, 皋鹏飞, 孙一鸣, 李玉玲 (2101)                     |
| 丹江口水库沉积物重金属背景值的确定及潜在生态风险评估 .....                                                        | 赵丽, 王雯雯, 姜霞, 王书航, 李佳璐, 陈俊伊 (2113)                      |
| 滴水湖及其环湖水系沉积物、土壤中多氯联苯的空间分布特征及风险评价 .....                                                  | 王薛平, 黄星, 毕春娟, 贾晋璞, 郭雪, 陈振楼 (2121)                      |
| 粤桂水源地有机氯农药的污染特征及生态风险 .....                                                              | 阳宇翔, 刘昕宇, 詹志薇, 解启来, 汤嘉骏, 欧阳培毓, 陈镇新, 徐晨 (2131)          |
| 鄱阳湖浮游植物叶绿素 a 及营养盐浓度对水位波动的响应 .....                                                       | 刘霞, 刘宝贵, 陈宇炜, 高俊峰 (2141)                               |
| 周期性的温度扰动对藻类群落结构演替的影响 .....                                                              | 贡丹丹, 刘德富, 张佳磊, 杨正健, 朱晓明, 谭纤茹 (2149)                    |
| 溴酸盐对普通小球藻的生长以及生理特性的影响 .....                                                             | 王执伟, 刘冬梅, 张文娟, 崔福义 (2158)                              |
| 微囊藻水华对水体中氮转化及微生物的影响 .....                                                               | 李洁, 张思凡, 肖琳 (2164)                                     |
| 城市污染河道沉积物碳氮赋存对有机质分解的影响 .....                                                            | 唐千, 刘波, 王文林, 邢鹏, 袁婧雯, 嵇玮, 沈晓宇, 季家乐 (2171)              |
| 两亲性共聚物共混 PVDF 超滤膜的界面性质与抗蛋白质污染的研究 .....                                                  | 孟晓荣, 鲁冰雪, 付东会, 辛晓强, 唐卫婷 (2179)                         |
| 巯基改性海泡石吸附水中的 Hg(II) .....                                                               | 谢婧如, 陈本寿, 张进忠, 刘江 (2187)                               |
| 改性芦苇生物炭对水中低浓度磷的吸附特征 .....                                                               | 唐登勇, 黄越, 胥瑞晨, 胡洁丽, 张聪 (2195)                           |
| UiO-66 对废水中二氯苯氧乙酸的吸附特性 .....                                                            | 任天昊, 杨智临, 郭琳, 陈海, 杨琦 (2202)                            |
| 对硝基苯酚在高炉水淬渣上的吸附机制及表面形研究 .....                                                           | 王哲, 黄国和, 安春江, 陈莉荣, 张思思 (2211)                          |
| 高岭石、针铁矿及其二元体对胡敏酸的吸附特性 .....                                                             | 牛鹏举, 魏世勇, 方敦, 但悠梦 (2220)                               |
| 硫铁比对再生水深度脱氮除磷的影响 .....                                                                  | 周彦卿, 郝瑞霞, 王珍, 朱晓霞, 万京京 (2229)                          |
| 单质硫颗粒尺寸及反应器类型对硫自养反硝化反应器启动的影响 .....                                                      | 马航, 朱强, 朱亮, 李祥, 黄勇, 魏凡凯, 杨朋兵 (2235)                    |
| 钛盐混凝剂调对活性污泥絮体理化性质的影响作用机制 .....                                                          | 王彩霞, 张伟军, 王东升, 王庆飞, 喻德忠 (2243)                         |
| 城市污水管网中产甲烷菌的分布特性规律 .....                                                                | 孙光溪, 金鹏康, 宋吉娜, 王先宝, 杨柯瑶 (2252)                         |
| 低 DO 下 AGS-SBR 处理低 COD/N 生活污水长期运行特征及种群分析 .....                                          | 信欣, 管蕾, 姚艺朵, 羊依金, 郭俊元, 程庆峰 (2259)                      |
| 微丝菌 ( <i>Microthrix parvicella</i> ) 原位荧光杂交 (FISH) 定量过程的条件优化 .....                      | 王润芳, 张红, 王琴, 王娟, 顾剑, 齐嵘, 杨敏 (2266)                     |
| 基于高通量测序解析碳化温度对麻杆电极微生物群落影响 .....                                                         | 吴义诚, 贺光华, 郑越, 陈水亮, 王泽杰, 赵峰 (2271)                      |
| 1 株高效去除氨氮的红假单胞菌的分离鉴定及特性 .....                                                           | 黄雪娇, 杨冲, 倪九派, 李振刚 (2276)                               |
| 长期保护性耕作制度下紫色土剖面无机磷变化特征 .....                                                            | 韩晓飞, 高明, 谢德体, 王子芳 (2284)                               |
| 有机物料对两种紫色土氮素矿化的影响 .....                                                                 | 张名豪, 卢吉文, 赵秀兰 (2291)                                   |
| 生物质炭和秸秆配合施用对土壤有机碳转化的影响 .....                                                            | 张婷, 王旭东, 逢萌雯, 刘恩新, 白如霞, 黎妮, 王钰莹 (2298)                 |
| 多元统计与铅同位素示踪解析旱地垂直剖面土壤中重金属来源 .....                                                       | 孙境蔚, 胡恭任, 于瑞莲, 苏光明, 王晓明 (2304)                         |
| 苏南某镇土壤重金属污染的景观格局特征 .....                                                                | 陈昕, 潘剑君, 王文勇, 李炳亚 (2313)                               |
| 河南洛阳市不同功能区土壤重金属污染特征及评价 .....                                                            | 刘亚纳, 朱书法, 魏学锋, 苗娟, 周鸣, 关凤杰 (2322)                      |
| 杭州蔬菜基地重金属污染及风险评价 .....                                                                  | 龚梦丹, 朱维琴, 顾燕青, 李淑英, 加那提·吐尼克 (2329)                     |
| 土壤溶解性有机质荧光特征及其与铜的络合能力 .....                                                             | 田雨, 王学东, 陈潇霖, 华珞 (2338)                                |
| 添加稳定剂对尾矿土中砷形态及转换机制的影响 .....                                                             | 陈志良, 赵述华, 钟松雄, 桑燕鸿, 蒋晓璐, 戴玉, 王欣 (2345)                 |
| 应用 SHIME 模型研究肠道微生物对土壤中镉、铬、镍生物可给性的影响 .....                                               | 尹乃毅, 都慧丽, 张震南, 蔡晓琳, 李泽蛟, 孙国新, 崔岩山 (2353)               |
| 不同基因型杨树的光合特征与臭氧剂量的响应关系 .....                                                            | 辛月, 高峰, 冯兆忠 (2359)                                     |
| 苾芻对 5 种羊茅属植物根系分泌的几类低分子量有机物的影响 .....                                                     | 潘声旺, 袁馨, 刘灿, 李亚阗, 杨婷, 唐海云, 黄方玉 (2368)                  |
| 维管束植物樟树和马尾松叶组织氮、硫含量指示贵阳地区大气氮、硫沉降的空间变化 .....                                             | 徐宇, 肖化云, 郑能建, 张忠义, 瞿玲露, 赵晶晶 (2376)                     |
| 苏北潮滩温室气体排放的时空变化及影响因素 .....                                                              | 许鑫王豪, 邹欣庆, 刘晶茹 (2383)                                  |
| g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> /Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub> 复合物的制备及可见光催化降解 MO ..... | 张志贝, 李小明, 陈飞, 杨麒, 钟宇, 徐秋翔, 杨伟强, 李志军, 陈寻峰, 谢伟强 (2393)   |
| 海南省淘汰落后产能政策的污染物协同减排效应评价 .....                                                           | 耿静, 任丙南, 吕永龙, 王铁宇 (2401)                               |
| 《环境科学》征订启事 (2130) 《环境科学》征稿简则 (2251) 信息 (2178, 2344)                                     |                                                        |

# 有机物料对两种紫色土氮素矿化的影响

张名豪<sup>1,2</sup>, 卢吉文<sup>3</sup>, 赵秀兰<sup>1,2\*</sup>

(1. 西南大学资源环境学院, 教育部三峡库区生态环境重点实验室, 重庆 400715; 2. 重庆市农业资源与环境研究重点实验室, 重庆 400716; 3. 重庆市垫江环境监测站, 重庆 408300)

**摘要:** 以猪粪沼渣(PM)、牛粪沼渣(CM)、污泥堆肥(SC)、农村生活垃圾堆肥(RWC1)、农村生活垃圾与污泥的堆肥产物(堆肥过程中添加 20% 的污泥, RWC2)为材料, 采用室内恒温好气培养试验研究了不同有机物料施入酸性紫色土和石灰性紫色土后土壤氮矿化的差异。结果表明, 不同有机物料有机氮组分含量及其占全氮比例的基本顺序为: 氨基酸态氮 > 酸解未知氮 > 酸解铵态氮 > 非酸解氮 > 氨基糖态氮。添加有机物料显著提高了酸性紫色土的 $\text{NH}_4^+$ -N 和 $\text{NO}_3^-$ -N 含量, 而石灰性紫色土中猪粪沼渣和污泥堆肥显著提高了 $\text{NH}_4^+$ -N 的含量, 牛粪沼渣却使其 $\text{NO}_3^-$ -N 含量降低。牛粪沼渣对酸性紫色土氮矿化量的影响不显著, 使石灰性紫色土的氮矿化量降低, 其余 4 种有机物料均明显提高两种土壤的氮矿化量。相关分析表明土壤氮矿化量与有机物料中的氨基酸态氮和酸解铵态氮呈显著正相关, 与有机物料的有机质含量和 C/N 呈显著负相关。上述结果说明有机物料对土壤氮素矿化的效应因土壤和有机物料的性质不同而异, 特别是有机物料中的有机质含量、C/N 以及有机氮组分。

**关键词:** 有机物料; 有机氮组分; 紫色土; 氮素; 矿化

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)06-2291-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.2016.06.037

## Effect of Different Organic Materials on Nitrogen Mineralization in Two Purple Soils

ZHANG Ming-hao<sup>1,2</sup>, LU Ji-wen<sup>3</sup>, ZHAO Xiu-lan<sup>1,2\*</sup>

(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 Agricultural Resources and Environment of Chongqing, Chongqing 400716, China; 3. Chongqing Dianjiang Environmental Protection Monitoring Station, Chongqing 408300, China)

**Abstract:** An aerobic incubation experiment was conducted at a constant temperature to investigate the differences in nitrogen mineralization between an acid purple soil and a calcareous purple soil amended with five organic materials including biogas residues of pig manure(PM), cow manure(CW), sewage sludge compost(SC), rural waste compost(RWC1) and the compost of rural waste plus 20% of sewage sludge(RWC2). The results showed that the organic nitrogen forms in these materials followed the order of amino acid N > hydrolysable unidentified N > ammonium N > non-hydrolysable N > amino sugar N. Application of organic materials could significantly improve the contents of  $\text{NH}_4^+$ -N and  $\text{NO}_3^-$ -N in acid purple soil, PM and SC could significantly improve the content of  $\text{NH}_4^+$ -N, but CM reduced the content of  $\text{NO}_3^-$ -N in calcareous purple soil. Except for CM, which had no significant effect on the quantity of nitrogen mineralization in acid purple soil, but decreased the quantity of nitrogen mineralization in calcareous purple soil, applying the organic materials could significantly increase the quantity of nitrogen mineralization in both soils. Correlation analysis showed that the quantity of nitrogen mineralization was significantly and positively correlated with the contents of amino acid N and ammonium N, but were significantly and negatively correlated with the content of organic matter and the C/N of organic materials. Overall, the results illustrated that the effect of organic materials on the mineralization of nitrogen varied with soil types and the characteristics of organic materials, especially the content of organic matter, C/N and the fractions of organic nitrogen in organic materials.

**Key words:** organic materials; fractions of organic nitrogen; purple soils; nitrogen; mineralization

随着农业经济的快速发展和农村生活水平的迅速提高, 有机废弃物如作物秸秆、禽畜养殖粪便、生活垃圾及污水处理站污泥产生量日益增加, 给农村生活和生存环境造成巨大压力。将这些有机废弃物农地利用不仅可以解决对有机废弃物处理不当引起的环境污染问题<sup>[1,2]</sup>, 还可以促进微生物繁殖、改善土壤理化性质, 从而提高土壤的肥力及促进作物的生长<sup>[3,4]</sup>, 是化肥减施、培肥地力、减少面源污染

的主要途径之一<sup>[5]</sup>。

目前, 有机物料农地施用量大多情况是根据其含氮量确定的。有机物料中的氮素有 50% 以上为有机态氮<sup>[6]</sup>, 需经土壤中微生物的矿化作用转化为无

收稿日期: 2015-10-07; 修订日期: 2016-01-17

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2013BAJ11B03)

作者简介: 张名豪(1992~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为废物处理与资源化, E-mail: nicle524@163.com

\* 通讯联系人, E-mail: zxl@swu.edu.cn

机态氮后才能被植物所吸收利用<sup>[7]</sup>,研究土壤氮素矿化有助于明确土壤的供氮能力,确定作物的氮肥施用量. 土壤氮的矿化是一个复杂的过程,受多种因素的影响,关于温度、水分、土壤理化性质等因素对土壤氮矿化的影响已有大量研究<sup>[8~10]</sup>,对有机物料施用对土壤氮矿化影响的研究主要集中在有机物料的用量、C/N、氮含量等方面<sup>[11,12]</sup>,关于有机物料中有机氮组分的影响研究较少,关于不同有机物料种类对不同性质土壤氮矿化影响的差异的研究更少. 紫色土是我国西南地区广为分布的一种主要农业土壤,该土壤普遍存在着氮素缺乏、有机质含量低的现象<sup>[13]</sup>,施用有机物料是提高该土壤的肥力的有效方法之一;根据紫色土的 pH 和碳酸钙含量可将其分为酸性、中性和石灰性紫色土<sup>[14]</sup>. 本研究采用室内恒温好气培养试验,以西南地区有代表性的 5 种有机物料为材料,通过测定有机物料性质及酸性紫色土和石灰性紫色土中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量的变化,探讨不同有机物料对土壤氮矿化的影响

及其在不同土壤中的差异,以期为该地区有机物料的合理施用提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤:供试的 2 种土壤——酸性紫色土 (APS)和石灰性紫色土 (CPS)均采自重庆市北碚区西南大学试验农场 0~20 cm 的土壤. 土壤采回后置于室内风干,挑去细根,磨细过筛 2 mm 后用于培养试验和基本理化性质分析,其基本理化性质见表 1.

供试有机物料:猪粪沼渣 (PM)、牛粪沼渣 (CM)、污泥堆肥 (SC)、农村生活垃圾堆肥 (堆肥过程中不添加污泥,RWC1)、农村生活垃圾与污泥的堆肥产物 (堆肥过程中添加 20% 的污泥,RWC2). 其中,PM 和 CM 分别采自重庆某养猪场和某奶牛场,SC 和两种 RWC 由本实验室提供,供试堆肥样品均达到腐熟程度. 有机物料磨细过 0.9 mm 筛后备用,其基本理化性质见表 1.

表 1 供试材料的基本理化性质

Table 1 Basic physiochemical properties of tested materials

| 样品     |      | pH 值 | 全氮<br>/g·kg <sup>-1</sup> | 全磷<br>/g·kg <sup>-1</sup> | 全钾<br>/g·kg <sup>-1</sup> | 有机质<br>/g·kg <sup>-1</sup> | C/N   | $\text{NH}_4^+\text{-N}$<br>/mg·kg <sup>-1</sup> | $\text{NO}_3^-\text{-N}$<br>/mg·kg <sup>-1</sup> |
|--------|------|------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|-------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 供试土壤   | APS  | 5.62 | 1.05                      | 0.53                      | 12.23                     | 23.37                      | 12.85 | 10.24                                            | 5.09                                             |
|        | CPS  | 8.18 | 0.94                      | 0.66                      | 11.49                     | 20.94                      | 12.91 | 14.07                                            | 3.42                                             |
| 供试有机物料 | PM   | 7.40 | 22.73                     | 27.74                     | 5.38                      | 599.41                     | 15.30 | 146.29                                           | 121.52                                           |
|        | CM   | 7.97 | 14.82                     | 3.27                      | 3.97                      | 654.10                     | 25.60 | 130.33                                           | 30.38                                            |
|        | SC   | 8.55 | 17.53                     | 6.42                      | 17.95                     | 565.59                     | 18.72 | 736.78                                           | 42.53                                            |
|        | RWC1 | 8.48 | 17.56                     | 4.90                      | 27.94                     | 529.97                     | 17.50 | 63.84                                            | 610.65                                           |
|        | RWC2 | 8.52 | 17.99                     | 7.40                      | 26.74                     | 559.12                     | 18.03 | 66.50                                            | 118.48                                           |

1.2 试验设计

采用室内好气培养试验研究不同有机物料施入土壤后土壤氮素的矿化动态特征及其与土壤和有机物料的关系<sup>[15]</sup>. 试验共 2 种土壤,每种土壤设对照 (不施有机物料,CK) 和施用不同有机物料处理,共 12 个处理,每处理 3 次重复. 有机物料的施用量以 1 kg 干土添加 80 mg 氮计,等氮量施入.

称取风干过 2 mm 筛的土壤 1.5 kg,分别与有机物料混匀后,用去离子水将含水量调到田间持水量的 60%,装入 1 000 mL 的广口塑料桶中,用塑料薄膜封口,并在塑料薄膜上用针扎适量小孔,再将广口塑料桶放置于培养箱中进行避光培养,培养温度为 25℃±2℃. 每隔 5 d 用重量差减法补充水分使水分含量稳定. 分别于 0 (培养当天)、1、2、3、4、6、8、12、16 周采取土样,分成两部分,一部分土用于测定土壤含水率,另一部分土用于测定土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和

$\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的含量.

1.3 测定项目与方法

供试土壤和有机物料的 pH、全氮、全磷、全钾、有机质的测定按照土壤农化分析常规方法进行<sup>[16]</sup>;有机物料的有机氮分级采用 Bremner<sup>[17]</sup>的土壤有机氮分级方法;土壤和有机物料的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 用 2 mol·L<sup>-1</sup>的 KCl 浸提,采用靛酚蓝比色法<sup>[16]</sup>测定, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 用 1 mol·L<sup>-1</sup>的 KCl 浸提,采用 220 nm/275 nm 双波长紫外分光光度法<sup>[18]</sup>.

1.4 数据计算及处理方法

1.4.1 矿质氮量的计算<sup>[19]</sup>

各时段矿质氮量 = 各时段 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量 + 各时段 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量.

1.4.2 矿化量的计算<sup>[19]</sup>

各时段氮素的矿化量 = 培养后该时段矿质氮量 - 培养前初始矿质氮量.

1.4.3 数据处理方法

利用 Excel 2003 软件进行数据统计,用 Origin 8.6 软件作图,采用 SPSS 17.0 软件对各指标进行方差分析和相关性分析,用 LSD 多重比较法进行差异显著性检验,显著水平设为 0.05.

2 结果与分析

2.1 不同有机物料的有机氮组分

根据 Bremner<sup>[17]</sup> 的土壤有机氮素形态分级方法,将有机物料中的有机氮分为酸解氮和非酸解氮,其中酸解氮又包括氨基酸态氮、氨基糖态氮、酸解铵态氮和酸解未知氮. 如表 2 所示,5 种有机物料中酸解氮占全氮的质量分数在 80.67% ~ 86.79% 之间,以 SC

最高,CM 最低,说明酸解氮是有机物料氮素的主要形态. 而酸解氮中,氨基酸态氮、酸解未知氮、酸解铵态氮、氨基糖态氮占全氮质量分数分别为 37.67% ~ 43.79%、8.63% ~ 25.79%、18.10% ~ 25.08%、0.66% ~ 9.29%,4 种酸解氮的高低顺序分别为 SC > RWC1 > RWC2 > PM > CM, PM > RWC2 > RWC1 > CM > SC, SC > RWC1 > PM > RWC2 > CM, SC > CM > RWC2 > PM > RWC1. 表明同种有机氮组分占全氮比例在不同有机物料中有较大的差异,这可能与有机物料本身性质有关. 除 SC 外,各种有机物料的有机氮组分占全氮比例的高低顺序为:氨基酸态氮 > 酸解未知氮 > 酸解铵态氮 > 非酸解氮 > 氨基糖态氮,这与土壤有机氮组分的研究结果基本一致<sup>[20,21]</sup>.

表 2 不同有机物料有机氮组分含量以及分布

Table 2 Contents and fractions of organic nitrogen in five organic materials

| 有机物料种类 | 酸解氮                       |           |                           |           |                           |           |                           |           | 非酸解氮                      |           |                           |           |
|--------|---------------------------|-----------|---------------------------|-----------|---------------------------|-----------|---------------------------|-----------|---------------------------|-----------|---------------------------|-----------|
|        | 氨基酸态氮                     |           | 氨基糖态氮                     |           | 酸解铵态氮                     |           | 酸解未知氮                     |           | 总和                        |           | 非酸解氮                      |           |
|        | 含量<br>/g·kg <sup>-1</sup> | 占全氮<br>/% | 含量<br>/g·kg <sup>-1</sup> | 占全氮<br>/% | 含量<br>/g·kg <sup>-1</sup> | 占全氮<br>/% | 含量<br>/g·kg <sup>-1</sup> | 占全氮<br>/% | 含量<br>/g·kg <sup>-1</sup> | 占全氮<br>/% | 含量<br>/g·kg <sup>-1</sup> | 占全氮<br>/% |
| PM     | 8.84                      | 38.89     | 0.35                      | 1.54      | 4.35                      | 19.14     | 5.86                      | 25.79     | 19.40                     | 85.35     | 3.33                      | 14.65     |
| CM     | 5.58                      | 37.67     | 0.60                      | 4.08      | 2.70                      | 18.21     | 3.07                      | 20.72     | 11.96                     | 80.67     | 2.86                      | 19.33     |
| SC     | 7.68                      | 43.79     | 1.63                      | 9.29      | 4.40                      | 25.08     | 1.51                      | 8.63      | 15.21                     | 86.79     | 2.32                      | 13.21     |
| RWC1   | 6.98                      | 39.73     | 0.12                      | 0.66      | 3.37                      | 19.20     | 3.81                      | 21.72     | 14.28                     | 81.32     | 3.28                      | 18.68     |
| RWC2   | 7.07                      | 39.30     | 0.51                      | 2.84      | 3.26                      | 18.10     | 4.23                      | 23.53     | 15.07                     | 83.78     | 2.92                      | 16.22     |

2.2 有机物料对土壤NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N含量的影响

土壤有机氮矿化的第一步是通过氨化作用形成NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N. 从图 1 看出,APS 中,各处理NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N含量变化趋势基本一致,即在培养的第 1 周内快速升高并达最大值,1 ~ 3 周迅速降低,随后降低速度趋缓,第 8 周后基本趋于稳定; CPS 中,不同处理NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N含量的变化趋势存在差异,PM 和 CK 的NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N含量在培养的第 1 周先迅速升高,并达最大值,而后迅速降低,2 周后降低速度趋缓,其余处理均呈现先迅速

降低后缓慢降低,8 周后趋于稳定的变化趋势. APS 中培养初期NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N含量快速升高可能与有机氮的氨化作用有关,而后期NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N下降可能与土壤的硝化作用<sup>[22]</sup>和微生物的消耗<sup>[23]</sup>有关.

土壤类型、有机物料种类及其交互作用对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N含量存在显著或极显著影响(表 3). 整个培养过程中,除培养起始时外,两种土壤NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N含量均存在极显著差异,表现为 APS > CPS,有机物料对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N含量的影响因土壤的不同而异. APS 中,与

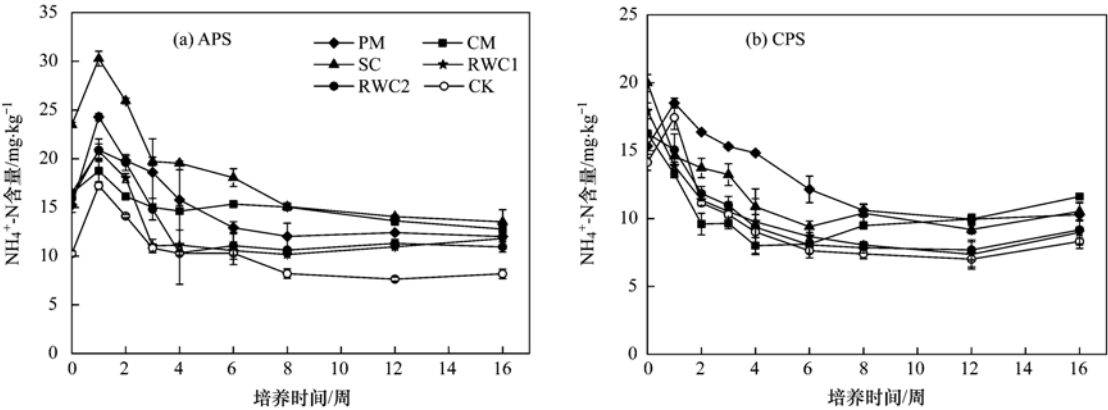


图 1 不同有机物料对土壤NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N含量的影响

Fig. 1 Effect of different organic materials on the NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N content in two purple soils

CK 相比,各施肥处理均显著提高了其 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量( $P < 0.05$ ), 提高幅度为  $\text{SC} > \text{PM} > \text{CM} > \text{RWC2} > \text{RWC1}$ ,其中,SC 与 PM、CM 与 RWC2 间的差异显著,而 PM 与 CM、RWC2 与 RWC1 间差异不显著( $P > 0.05$ ); CPS 中,PM 和 SC 的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量在整个培养

过程中显著高于 CK, CM 在培养的前 6 周甚至低于 CK,从第 8 周才显著高于 CK,而 RWC1、RWC2 与 CK 差异不显著,各施肥处理中,PM 显著高于其余 4 种施肥处理,SC 显著高于 CM、RWC1 和 RWC2,而 CM、RWC1、RWC2 三者之间差异均不显著.

表 3 土壤类型和有机物料种类及其交互作用对土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、氮矿化量影响的方差分析<sup>1)</sup>

| Table 3 Analysis of variance for the effects of soil types, organic materials and their interactions on $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , $\text{NO}_3^-\text{-N}$ and nitrogen mineralization |           | 培养时间(周) |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 指标                                                                                                                                                                                      | 因素效应      | 0       | 1   | 2   | 3   | 4   | 6   | 8   | 12  | 16  |
| $\text{NH}_4^+\text{-N}$                                                                                                                                                                | 土壤        | ns      | * * | * * | * * | * * | * * | * * | * * | * * |
|                                                                                                                                                                                         | 有机物料      | * *     | * * | * * | * * | * * | * * | * * | * * | * * |
|                                                                                                                                                                                         | 土壤 × 有机物料 | * *     | * * | * * | * * | *   | * * | * * | * * | ns  |
| $\text{NO}_3^-\text{-N}$                                                                                                                                                                | 土壤        | * *     | ns  | * * | * * | * * | * * | * * | * * | * * |
|                                                                                                                                                                                         | 有机物料      | * *     | * * | * * | * * | * * | * * | * * | * * | * * |
|                                                                                                                                                                                         | 土壤 × 有机物料 | * *     | ns  | *   | * * | * * | * * | * * | * * | * * |
| 氮矿化量                                                                                                                                                                                    | 土壤        | —       | * * | * * | * * | * * | * * | * * | * * | * * |
|                                                                                                                                                                                         | 有机物料      | —       | * * | * * | * * | * * | * * | * * | * * | * * |
|                                                                                                                                                                                         | 土壤 × 有机物料 | —       | * * | ns  | ns  | ns  | *   | * * | * * | * * |

1) “—”表示没有相关数据,ns 表示  $P > 0.05$ , \* 表示  $P < 0.05$ , \* \* 表示  $P < 0.01$

土壤中的有机氮转化为 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 后,在好氧条件下通过硝化作用转化为 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ,因而伴随土壤中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量的降低,土壤中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量升高<sup>[19]</sup>. 从图 2 看出,两种土壤的 CK 在前 6 周一直处于升高趋势,在第 6 周后基本趋于稳定;各施肥处理 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量的变化趋势基本一致,大致分为 3 个阶段,先降低,再缓慢回升,后快速升高,但快速升高阶段发生的时间和变化幅度在两种土壤中有一定差异.

方差分析表明(表 3),培养过程中土壤类型、有机物料种类及其交互作用对土壤 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量也存在显著或极显著的影响. 培养起始时,两种土壤 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量差异不明显,但随着培养试验的进行,APS 与 CPS 中的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量差异增大,且表现为

APS > CPS. 不同有机物料对土壤 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量的影响因土壤的不同而异. APS 中,各施肥处理的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量在第 1 周呈降低趋势,且均低于 CK,1 周后缓慢回升,但不同处理上升的速度不同. CM 在 16 周时才显著高于 CK,其余施肥处理从第 3 周显著高于 CK,培养结束时,各施肥处理较 CK 提高幅度为  $\text{SC} > \text{RWC1} > \text{RWC2} > \text{PM} > \text{CM}$ ,各施肥处理间 SC 与 RWC1 差异不显著,其余施肥处理间均达显著水平; CPS 中,各施肥处理的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量在第 1 周均呈降低趋势,1 周后回升,从第 8 周开始快速升高,在第 12 周时 PM 和 SC 的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量显著高于 CK,但 CM 直至培养结束时,其 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量仍低于 CK,而 RWC1 和 RWC2 从第 8 周开始迅速升高,并在第 12 周时显著高于 CK,至培养结束时,除 CM 外

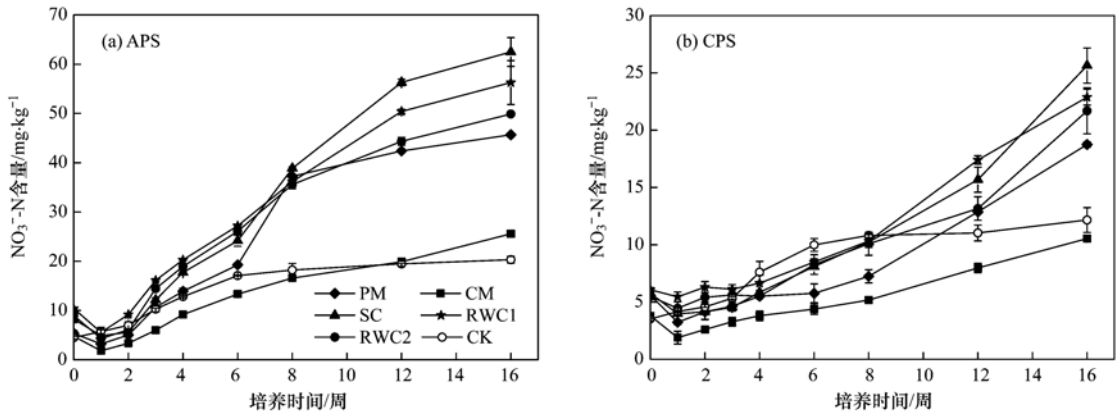


图 2 不同有机物料对土壤 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量的影响

Fig. 2 Effect of different organic materials on  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  content in two purple soils

的其余施肥处理较 CK 的提高幅度为  $SC > RWC1 > RWC2 > PM$ , 各施肥处理间的差异均达显著水平。

### 2.3 有机物料对土壤氮矿化量的影响

土壤氮矿化量是指某一培养时间土壤矿质氮含量减去培养初始土壤矿质氮含量的差值, 表示有机肥中有机氮和土壤本身有机氮的净矿化量<sup>[19]</sup>。如图 3 所示, 土壤氮矿化量随培养时间的变化因土壤的不同而异。在 APS 中, 各处理的氮矿化量在前 6 周逐渐升高, 第 6 周后, CK 和 CM 处理趋于稳定, 其余有机物料处理的氮矿化量快速升高, 第 16 周时升高趋势趋缓; CPS 中, CK 和 PM 处理的氮矿化量在培养的前 12 周变化不明显, 12 周后, CK 氮矿化量趋于稳定, 而 PM 处理持续上升, 其余处理的氮矿化量在培养的前 4 周下降, 4 周后迅速上升直至培养结束。

培养过程中, 土壤、有机物料对土壤氮矿化量存在极显著影响, 土壤及有机物料的交互作用除在培养的第 2、3、4 周外也存在显著或极显著的影响 (表 3)。培养过程中 APS 的氮矿化量均高于 CPS, 表明酸性紫色土中的氮素更易矿化。有机物料对土壤氮素矿化的影响也因土壤的不同而异。APS 中, 培养前 6 周各施肥处理的土壤氮矿化量低于 CK, 培养第 8 周起, CM 与 CK 间差异不显著, 其余处理氮

矿化量显著高于 CK 和 CM 处理, 培养结束时, 施肥处理的土壤氮矿化量较 CK 提高了 0.25 ~ 2.22 倍, 除 CM 未达到显著水平以外, 提高幅度均达显著水平, 不同有机物料间土壤氮矿化量表现为  $SC > RWC1 > PM > RWC2 > CM$ , 其中 SC 与 RWC1 差异不显著, 但显著高于 PM, PM 与 RWC1 及 RWC2 差异均不显著。CPS 中, PM 处理在培养的前 4 周与 CK 差异不显著, 培养第 6 周和第 8 周显著低于 CK, 12 周后又高于 CK; 其余 4 个有机物料处理在培养的前 12 周氮矿化量低于 CK, 培养第 12 周后逐渐升高, 培养结束时, 除 CM 处理低于 CK 以外, 其余处理较 CK 提高 1.80 ~ 2.71 倍, 不同有机物料的氮矿化量的顺序为  $SC > RWC2 > PM > RWC1 > CM$ , 其中, SC、RWC2、PM、RWC1 间氮矿化量差异不显著, 但均显著高于 CM。酸性紫色土中前期氮矿化量很低, 石灰性紫色土中甚至还有固持现象, 可能是因为培养前期微生物增殖过程消耗一定量的矿质氮, 导致氮矿化速率相对较慢<sup>[24]</sup>, 或由于有机物料添加量少, 微生物固定了大多数氮导致土壤不易释放矿质氮有关<sup>[1]</sup>。因此在施用有机物料时, 作物生长的前期应补充速效氮肥, 根据两种土壤氮矿化量的进程, APS 和 CPS 分别在前 6 周和 12 周应配合速效氮肥。

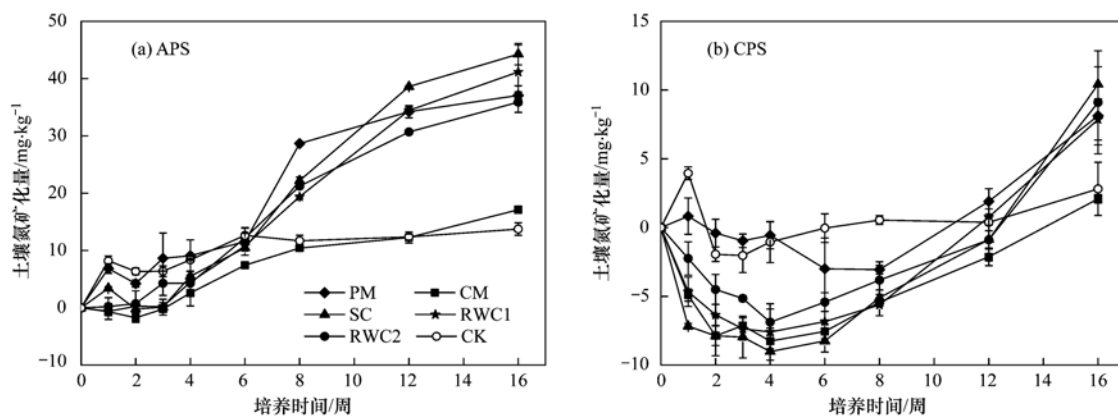


图 3 不同有机物料对土壤氮矿化量的影响

Fig. 3 Effect of different organic materials on nitrogen mineralization in soils

### 2.4 有机物料和土壤性质对土壤氮矿化量的影响

#### 2.4.1 土壤性质对土壤氮矿化量的影响

研究表明, 土壤性质对土壤氮矿化有显著或极显著的影响, 土壤的氮矿化量因土壤类型不同而异<sup>[25]</sup>。赵长盛等<sup>[26]</sup>、Asadiyan 等<sup>[27]</sup>、Jia 等<sup>[28]</sup>报道了土壤氮矿化量与土壤有机质含量呈显著正相关关系, Urakawa 等<sup>[29]</sup>研究表明, 土壤 pH 越低, 氮矿化量越多。李平等<sup>[23]</sup>发现由于土壤中存在对氮矿化的反馈机制, 较高的无机氮初始值会限制土壤氮的

矿化, 在一定程度上减少氮的矿化量。本研究中, 两种土壤的有机质含量、C/N 和总氮及无机氮总量差异不大 (表 1), 同种有机物料处理土壤的氮矿化量表现为  $APS > CPS$ , 可能与 APS 有较低的土壤 pH 有关。此外, 在碱性环境中  $NH_4^+ - N$  会以  $NH_3$  的形式挥发也可能是 CPS 氮矿化量较低的原因之一<sup>[1]</sup>。

#### 2.4.2 有机物料性质及有机氮组分对土壤氮矿化量的影响

有机物料的性质也是影响土壤氮矿化的重要因

素. 有机物料的特性决定了其施入土壤后的矿化行为,因而不同有机物料施用后土壤的氮矿化行为也有差异. 为弄清有机物料性质对土壤氮矿化的影响,本研究对二者进行了相关性分析,结果见表 4,培养 16 周后,两种土壤的氮矿化量与有机物料的 pH、全氮、全磷、全钾、铵态氮和硝态氮的相关性均未达显著水平,但与有机物料的有机质含量和 C/N 分别呈显著( $P < 0.05$ )和极显著( $P < 0.01$ )负相关,这与 Li 等<sup>[30]</sup>的研究结果一致,表明同种土壤中不同有机物料处理间氮矿化量的差异可能与有机物料的 C/N 及有机质含量的差异有关<sup>[4,31]</sup>. 本研究中,CM 的 C/N 和有机质含量较其他有机物料高,而

该处理的氮矿化量较其他有机物料处理低证实了上述结果,这可能是由于其碳源丰富,矿质氮的生物固持作用大于有机氮的矿化作用所致<sup>[32]</sup>.

目前,关于有机物料中有机氮组分对土壤氮矿化影响的研究报道较少. 表 4 表明,培养 16 周后,两种土壤的氮矿化量与有机物料中酸解氮含量呈正相关,与非酸解性氮含量呈负相关,均未达显著水平,但两种土壤的氮矿化量与酸解氮中的氨基酸态氮和酸解铵态氮含量均呈显著正相关,表明添加有机物料后土壤氮矿化量主要来自物料中的氨基酸态氮和酸解铵态氮,这与杜晓玉等<sup>[33]</sup>、Li 等<sup>[34]</sup>的研究结果基本一致.

表 4 土壤氮矿化量与有机物料性质及其有机氮组分的相关分析<sup>1)</sup>

Table 4 Correlation coefficient between soil nitrogen mineralization and the properties and organic nitrogen forms of organic materials

| 项目       | 有机物料基本性质 |       |          |           |                                 |                                 | 酸解总氮    |       |         |        |       | 非酸解氮   |
|----------|----------|-------|----------|-----------|---------------------------------|---------------------------------|---------|-------|---------|--------|-------|--------|
|          | pH       | 全氮    | 有机质      | C/N       | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | 氨基酸态氮   | 氨基糖态氮 | 酸解铵态氮   | 酸解未知氮  | 总和    |        |
| APS 氮矿化量 | 0.363    | 0.490 | -0.762 * | -0.834 ** | 0.420                           | 0.375                           | 0.655 * | 0.252 | 0.706 * | -0.039 | 0.525 | -0.026 |
| CPS 氮矿化量 | 0.358    | 0.503 | -0.657 * | -0.801 ** | 0.450                           | 0.140                           | 0.697 * | 0.333 | 0.710 * | -0.069 | 0.546 | -0.169 |

1) \* 表示  $P < 0.05$ , \*\* 表示  $P < 0.01$

3 结论

(1) 5 种有机物料中酸解氮占全氮的比例在 80.67% ~ 86.79% 之间. 除污泥堆肥以外,其余有机物料有机氮组分含量及其占全氮比例为:氨基酸态氮 > 酸解未知氮 > 酸解铵态氮 > 非酸解氮 > 氨基糖态氮,且同种有机氮组分占全氮比例在不同有机物料间差异较大.

(2) 有机物料对土壤氮矿化的影响因土壤不同而异. 经过 16 周好气培养,5 种有机物料使酸性紫色土的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的含量均显著提高,而石灰性紫色土中,猪粪沼渣和污泥堆肥使 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 含量显著提高,牛粪沼渣却使 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量降低. 牛粪沼渣对酸性紫色土氮矿化量的影响不显著,却使石灰性紫色土的氮矿化量降低,其余 4 种有机物料均能明显提高两种土壤的氮矿化量. 因此,当牛粪沼渣施用于农地时,应加大作为基肥的比例.

(3) 有机物料施入土壤后,酸性紫色土在前 6 周矿化量较低,石灰性紫色土在前 12 周都表现为固持. 因此,酸性紫色土和石灰性紫色土分别在前 6 周和 12 周应配合速效氮肥. 同一有机物料处理,土壤的氮矿化量表现为酸性紫色土高于石灰性紫色土,这可能与土壤 pH 有关.

(4) 土壤氮矿化量与有机物料的有机质含量和 C/N 呈显著负相关,与有机物料中的氨基酸态氮和

酸解铵态氮呈显著正相关,表明土壤氮矿化量受有机物料的有机质含量、C/N 和氨基酸态氮和酸解铵态氮的影响.

参考文献:

[ 1 ] Moreno-Cornejo J, Zornoza R, Faz A. Carbon and nitrogen mineralization during decomposition of crop residues in a calcareous soil[J]. Geoderma, 2014, **230-231**: 58-63.

[ 2 ] 史烨弘, 陈左生, 沈杨. 活性污泥与施泥土壤中二噁英污染水平的研究[J]. 环境科学, 2010, **31**(5): 1287-1292.

[ 3 ] Zhang J, Lin X G, Liu W W, et al. Effect of organic wastes on the plant-microbe remediation for removal of aged PAHs in soils [J]. Journal of Environmental Sciences, 2012, **24**(8): 1476-1482.

[ 4 ] Azeez J O, Van Averbek W. Nitrogen mineralization potential of three animal manures applied on a sandy clay loam soil [J]. Bioresource Technology, 2010, **101**(14): 5645-5651.

[ 5 ] 李玲玲, 李书田. 有机肥氮素矿化及影响因素研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, **18**(3): 749-757.

[ 6 ] Sørensen P, Jensen E S, Nielsen N E. The fate of <sup>15</sup>N-labelled organic nitrogen in sheep manure applied to soils of different texture under field conditions[J]. Plant and Soil, 1994, **162**(1): 39-47.

[ 7 ] Chen Q H, Feng Y, Zhang Y P, et al. Short-term responses of nitrogen mineralization and microbial community to moisture regimes in greenhouse vegetable soils[J]. Pedosphere, 2012, **22**(2): 263-272.

[ 8 ] Guntiñas M E, Leirós M C, Trasar-Cepeda T, et al. Effects of moisture and temperature on net soil nitrogen mineralization: a laboratory study[J]. European Journal of Soil Biology, 2012, **48**: 73-80.

- [9] Xiao K C, Xu J M, Tang C X, *et al.* Differences in carbon and nitrogen mineralization in soils of differing initial pH induced by electrokinesis and receiving crop residue amendments[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2013, **67**: 70-84.
- [10] 鲍俊丹, 石美, 张妹婷, 等. 中国典型土壤硝化作用与土壤性质的关系[J]. *中国农业科学*, 2011, **44**(7): 1390-1398.
- [11] 周博, 高佳佳, 周建斌. 不同种类有机肥碳、氮矿化特性研究[J]. *植物营养与肥科学报*, 2012, **18**(2): 366-373.
- [12] 鲁彩艳, 陈欣. 有机碳源添加对不同 C/N 比有机物料氮矿化进程的影响[J]. *中国科学院研究生院学报*, 2004, **21**(1): 108-112.
- [13] 秦子娴. 长期施肥中性紫色水稻土氮素矿化及氨氧化菌的分子生态学研究[D]. 重庆: 西南大学, 2014. 1-67.
- [14] 丁武泉, 包兵, 李航, 等. 三峡库区消落区紫色土对重金属的吸附特征[J]. *生态与农村环境学报*, 2007, **23**(1): 40-42, 62.
- [15] 李玲玲. 有机肥氮素有效性和替代化肥氮比例研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011. 1-79.
- [16] 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, 1999. 12-195.
- [17] Bremner J M. Organic forms of nitrogen[A]. In: Black C A (Ed.). *Methods of Soil Analysis*[C]. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy Incorporation, 1965. 1148-1178.
- [18] 宋歌, 孙波, 教剑英. 测定土壤硝态氮的紫外分光光度法与其他方法的比较[J]. *土壤学报*, 2007, **44**(2): 288-293.
- [19] 张旭, 席北斗, 赵越, 等. 有机废弃物堆肥培肥土壤的氮矿化特性研究[J]. *环境科学*, 2013, **34**(6): 2448-2455.
- [20] Lü H J, He H B, Zhao J S, *et al.* Dynamics of fertilizer-derived organic nitrogen fractions in an arable soil during a growing season[J]. *Plant and Soil*, 2013, **373**(1-2): 595-607.
- [21] 王媛, 周建斌, 杨学云. 长期不同培肥处理对土壤有机氮组分及氮素矿化特性的影响[J]. *中国农业科学*, 2010, **43**(6): 1173-1180.
- [22] 唐滢海, 刘郡英, 谷春豪, 等. 作物秸秆与城市污泥高温好氧堆肥产物对土壤氮矿化的影响[J]. *农业工程学报*, 2011, **27**(1): 326-331.
- [23] 李平, 郎漫, 李煜姗, 等. 不同施肥处理对黑土硝化作用和矿化作用的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2015, **34**(7): 1326-1332.
- [24] 杨蕊, 李裕元, 魏红安, 等. 畜禽有机肥氮、磷在红壤中的矿化特征研究[J]. *植物营养与肥科学报*, 2011, **17**(3): 600-607.
- [25] 王树会, 刘青丽. 云南主要植烟土壤不同土层氮矿化研究[J]. *中国土壤与肥料*, 2013, (1): 14-19.
- [26] 赵长盛, 胡承孝, 黄魏. 华中地区两种典型菜地土壤中氮素的矿化特征研究[J]. *土壤*, 2013, **45**(1): 41-45.
- [27] Asadiyan M, Hojjati S M, Pourmajidian M R, *et al.* Impact of land-use management on nitrogen transformation in a mountain forest ecosystem in the north of Iran[J]. *Journal of Forestry Research*, 2013, **24**(1): 115-119.
- [28] Jia J X, Li Z P, Liu M, *et al.* Effects of glucose addition on N transformations in paddy soils with a gradient of organic C content in subtropical China[J]. *Agricultural Sciences in China*, 2010, **9**(9): 1309-1316.
- [29] Urakawa R, Ohte N, Shibata H, *et al.* Factors contributing to soil nitrogen mineralization and nitrification rates of forest soils in the Japanese archipelago[J]. *Forest Ecology and Management*, 2016, **361**: 382-396.
- [30] Li Y Q, Zhao H L, Zhang T H, *et al.* Carbon and nitrogen mineralization in soils along a desertification gradient in the semiarid Horqin sandy land, northern China[J]. *Sciences in Cold and Arid Regions*, 2010, **2**(1): 21-30.
- [31] Cordovil C M D S, Cabral F, Coutinho J. Potential mineralization of nitrogen from organic wastes to ryegrass and wheat crops[J]. *Bioresource Technology*, 2007, **98**(17): 3265-3268.
- [32] Alizadeh P, Fallah S, Raiesi F. Potential N mineralization and availability to irrigated maize in a calcareous soil amended with organic manures and urea under field conditions [J]. *International Journal of Plant Production*, 2012, **6**(4): 493-512.
- [33] 杜晓玉, 徐爱国, 冀宏杰, 等. 华北地区施用有机肥对土壤氮组分及农田氮流失的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2011, (6): 13-19.
- [34] Li L L, Li S T. Nitrogen mineralization from animal manures and its relation to organic N fractions[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2014, **13**(9): 2040-2048.

## CONTENTS

|                                                                                                                                                                                                    |                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Application of a Two-stage Virtual Impactor in Measuring of PM <sub>10</sub> and PM <sub>2.5</sub> Emissions from Stationary Sources .....                                                         | JIANG Jing-kun, DENG Jian-guo, LI Zhen, <i>et al.</i> (2003)            |
| Hygroscopic Properties and Closure of Aerosol Chemical Composition in Mt. Huang in Summer .....                                                                                                    | CHEN Hui, YANG Su-ying, LI Yan-wei, <i>et al.</i> (2008)                |
| Characteristics of Water-soluble Inorganic Ions in Atmospheric Aerosols in Shenyang .....                                                                                                          | MIAO Hong-yan, WEN Tian-xue, WANG Lu, <i>et al.</i> (2017)              |
| Characteristics and Source Apportionment of Water-soluble Ions in Dry Deposition in the Summer and Autumn of Nanjing .....                                                                         | QIN Yang, ZHU Bin, ZOU Jia-nan, <i>et al.</i> (2025)                    |
| Distribution Characteristics of Water-soluble Ions in Size-segregated Particulate Matters in Taiyuan .....                                                                                         | CAO Run-fang, YAN Yu-long, GUO Li-li, <i>et al.</i> (2034)              |
| Characteristics of Ozone over Standard and Its Relationships with Meteorological Conditions in Beijing City in 2014 .....                                                                          | CHENG Nian-liang, LI Yun-ting, ZHANG Da-wei, <i>et al.</i> (2041)       |
| Chemical Composition of Alkanes and Organic Acids in Vehicle Exhaust .....                                                                                                                         | YUAN Jia-wen, LIU Gang, LI Jiu-hai, <i>et al.</i> (2052)                |
| Effect of DOC/CCRT Aging on Gaseous Emission Characteristics of an In-used Diesel Engine Bus .....                                                                                                 | LOU Di-ming, HE Nan, TAN Pi-qiang, <i>et al.</i> (2059)                 |
| Studies of Dynamic Adsorption Behavior of VOCs on Biochar Modified by Ultraviolet Irradiation .....                                                                                                | LI Qiao, YONG Yi, DING Wen-chuan, <i>et al.</i> (2065)                  |
| Absorption Spectral Characteristic Dynamics of Dissolved Organic Matter (DOM) from a Typical Reservoir Lake in Inland of Three Gorges Reservoir Areas: Implications for Hg Species in Waters ..... | JIANG Tao, LU Song, WANG Qi-lei, <i>et al.</i> (2073)                   |
| Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter (DOM) in Waters of Typical Agricultural Watershed of Three Gorges Reservoir Areas .....                                                       | WANG Qi-lei, JIANG Tao, ZHAO Zheng, <i>et al.</i> (2082)                |
| High-resolution Variations of Oxygen and Hydrogen Isotopes of Precipitation and Feedback from Cave Water: An Example of Jiguan Cave, Henan .....                                                   | SUN Zhe, YANG Yan, ZHANG Ping, <i>et al.</i> (2093)                     |
| Spatial Response of River Water Quality to Watershed Land Use Type and Pattern Under Different Rainfall Intensities .....                                                                          | JI Xiang, LIU Hong-yu, LI Yu-feng, <i>et al.</i> (2101)                 |
| Determination of Background Value and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments of the Danjiangkou Reservoir .....                                                         | ZHAO Li, WANG Wen-wen, JIANG Xia, <i>et al.</i> (2113)                  |
| Spatial Distribution Characteristics and Risk Assessment of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in Sediments and Soils from the Dishui Lake and Its River System .....                                | WANG Xue-ping, HUANG Xing, BI Chun-juan, <i>et al.</i> (2121)           |
| Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Water Source Areas of Guangdong and Guangxi .....                                                         | YANG Yu-xiang, LIU Xin-yu, ZHAN Zhi-wei, <i>et al.</i> (2131)           |
| Responses of Nutrients and Chlorophyll a to Water Level Fluctuations in Poyang Lake .....                                                                                                          | LIU Xia, LIU Bao-gui, CHEN Yu-wei, <i>et al.</i> (2141)                 |
| Influence of Periodic Temperature Disturbance on the Succession of Algal Community Structure .....                                                                                                 | GONG Dan-dan, LIU De-fu, ZHANG Jia-lei, <i>et al.</i> (2149)            |
| Effects of Bromate on the Growth and Physiological Characteristics of <i>Chlorella vulgaris</i> .....                                                                                              | WANG Zhi-wei, LIU Dong-mei, ZHANG Wen-juan, <i>et al.</i> (2158)        |
| Effect of Water Bloom on the Nitrogen Transformation and the Relevant Bacteria .....                                                                                                               | LI Jie, ZHANG Si-fan, XIAO Lin (2164)                                   |
| Effect of Carbon and Nitrogen Forms on Decomposition of Organic Matter in Sediments from Urban Polluted River .....                                                                                | TANG Qian, LIU Bo, WANG Wen-lin, <i>et al.</i> (2171)                   |
| Interfacial Property of Amphiphilic Copolymer Blending PVDF UF Membrane and Protein Anti-fouling .....                                                                                             | MENG Xiao-rong, LU Bing-xue, FU Dong-hui, <i>et al.</i> (2179)          |
| Adsorption of Hg(II) in Water by Sulfhydryl-Modified Sepiolite .....                                                                                                                               | XIE Jing-ru, CHEN Ben-shou, ZHANG Jin-zhong, <i>et al.</i> (2187)       |
| Adsorption Behavior of Low Concentration Phosphorus from Water onto Modified Reed Biochar .....                                                                                                    | TANG Deng-yong, HUANG Yue, XU Rui-chen, HU Jie-li, <i>et al.</i> (2195) |
| Adsorption Characteristics of 2,4-D on UiO-66 from Wastewater .....                                                                                                                                | REN Tian-hao, YANG Zhi-lin, GUO Lin, <i>et al.</i> (2202)               |
| Mechanism and Surface Fractal Characteristics for the Adsorption of <i>p</i> -nitrophenol on Water-quenched Blast Furnace Slag .....                                                               | WANG Zhe, HUANG Guo-he, AN Chun-jiang, <i>et al.</i> (2211)             |
| Adsorption Characteristics for Humic Acid by Binary Systems Containing Kaolinite and Goethite .....                                                                                                | NIU Peng-ju, WEI Shi-yong, FANG Dun, <i>et al.</i> (2220)               |
| Effects of Sulfur/sponge Iron Ratio for Deep Denitrification and Phosphorus Removal of Reclaimed Water .....                                                                                       | ZHOU Yan-qing, HAO Rui-xia, WANG Zhen, <i>et al.</i> (2229)             |
| Effect of Element Sulfur Particle Size and Type of the Reactor on Start-up of Sulfur-based Autotrophic Denitrification Reactor .....                                                               | MA Hang, ZHU Qiang, ZHU Liang, <i>et al.</i> (2235)                     |
| Influencing Mechanism of Titanium Salt Coagulant Chemical Conditioning on the Physical and Chemical Properties of Activated Sludge Flocs .....                                                     | WANG Cai-xia, ZHANG Wei-jun, WANG Dong-sheng, <i>et al.</i> (2243)      |
| Distribution Characteristics of Methanogens in Urban Sewer System .....                                                                                                                            | SUN Guang-xi, JIN Peng-kang, SONG Ji-na, <i>et al.</i> (2252)           |
| Long-term Performance and Bacterial Community Composition Analysis of AGS-SBR Treating the Low COD/N Sewage at Low DO Concentration Condition .....                                                | XIN Xin, GUAN Lei, YAO Yi-duo, <i>et al.</i> (2259)                     |
| Optimization for <i>Microthrix parvicella</i> Quantitative Processing of Fluorescence <i>in situ</i> Hybridization (FISH) .....                                                                    | WANG Run-fang, ZHANG Hong, WANG Qin, <i>et al.</i> (2266)               |
| Influence of Carbonization Temperature on Bacterial Community of the Biological Carbon Electrode Based on High-throughput Sequencing Technology .....                                              | WU Yi-cheng, HE Guang-hua, ZHENG Yue, <i>et al.</i> (2271)              |
| Isolation, Identification and Characteristics of a <i>Rhodospseudomonas</i> with High Ammonia-nitrogen Removal Efficiency .....                                                                    | HUANG Xue-jiao, YANG Chong, NI Jiu-pai, <i>et al.</i> (2276)            |
| Variation Characteristics of Inorganic Phosphorus in Purple Soil Profile Under Different Conservation Tillage Treatments .....                                                                     | HAN Xiao-fei, GAO Ming, XIE De-ti, <i>et al.</i> (2284)                 |
| Effect of Different Organic Materials on Nitrogen Mineralization in Two Purple Soils .....                                                                                                         | ZHANG Ming-hao, LU Ji-wen, ZHAO Xiu-lan (2291)                          |
| Impacts of Biochar and Straw Application on Soil Organic Carbon Transformation .....                                                                                                               | ZHANG Ting, WANG Xu-dong, PANG Meng-wen, <i>et al.</i> (2298)           |
| Tracing Sources of Heavy Metals in the Soil Profiles of Drylands by Multivariate Statistical Analysis and Lead Isotope .....                                                                       | SUN Jing-wei, HU Gong-ren, YU Rui-lian, <i>et al.</i> (2304)            |
| Landscape Patterns Characteristics of Soil Heavy Metal Pollution in a Town of Southern Jiangsu .....                                                                                               | CHEN Xin, PAN Jian-jun, WANG Wen-yong, <i>et al.</i> (2313)             |
| Assessment and Pollution Characteristics of Heavy Metals in Soil of Different Functional Areas in Luoyang .....                                                                                    | LIU Ya-na, ZHU Shu-fa, WEI Xue-feng, <i>et al.</i> (2322)               |
| Evaluation on Heavy Metal Pollution and Its Risk in Soils from Vegetable Bases of Hangzhou .....                                                                                                   | GONG Meng-dan, ZHU Wei-qin, GU Yan-qing, <i>et al.</i> (2329)           |
| Fluorescence Spectroscopic Characteristics and Cu <sup>2+</sup> -complexing Ability of Soil Dissolved Organic Matter .....                                                                         | TIAN Yu, WANG Xue-dong, CHEN Xiao-lin, <i>et al.</i> (2338)             |
| Effect of Stabilizer Addition on Soil Arsenic Speciation and Investigation of Its Mechanism .....                                                                                                  | CHEN Zhi-liang, ZHAO Shu-hua, ZHONG Song-xiong, <i>et al.</i> (2345)    |
| Effects of Human Gut Microbiota on Bioaccessibility of Soil Cd, Cr and Ni Using SHIME Model .....                                                                                                  | YIN Nai-yi, DU Hui-li, ZHANG Zhen-nan, <i>et al.</i> (2353)             |
| Photosynthetic Characteristics and Ozone Dose-response Relationships for Different Genotypes of Poplar .....                                                                                       | XIN Yue, GAO Feng, FENG Zhao-zhong (2359)                               |
| Effects of Pyrene on Low Molecule Weight Organic Compounds in the Root Exudates of Five Species of <i>Festuca</i> .....                                                                            | PAN Sheng-wang, YUAN Xin, LIU Can, <i>et al.</i> (2368)                 |
| N% and S% in Leaves of Vascular Plants <i>Cinnamomum camphora</i> and <i>Pinus massoniana</i> Lamb. for Indicating the Spatial Variation of Atmospheric Nitrogen and Sulfur Deposition .....       | XU Yu, XIAO Hua-yun, ZHENG Neng-jian, <i>et al.</i> (2376)              |
| Temporal and Spatial Dynamics of Greenhouse Gas Emissions and Its Controlling Factors in a Coastal Saline Wetland in North Jiangsu .....                                                           | XU Xin-wanghao, ZOU Xin-qing, LIU Jing-ru (2383)                        |
| Preparation of Visible-light-induced g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> /Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub> Photocatalysts for the Efficient Degradation of Methyl Orange .....                           | ZHANG Zhi-bei, LI Xiao-ming, CHEN Fei, <i>et al.</i> (2393)             |
| Estimation of Co-benefits from Pollution Emission Reduction by Eliminating Backward Production Capacities in Hainan Province .....                                                                 | GENG Jing, REN Bing-nan, LÜ Yong-long, <i>et al.</i> (2401)             |

# 《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 赵进才

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  
赵进才 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)

2016年6月15日 第37卷 第6期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 6 Jun. 15, 2016

|         |                                                                                                                                                                     |                  |    |                                                                                                                                                                                                                         |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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)<br>北京市环境保护科学研究院<br>清华大学环境学院                                                                                                                               | Co-Sponsored     | by | Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection<br>School of Environment, Tsinghua University                                                                                                          |
| 主 编     | 赵进才                                                                                                                                                                 | Editor-in -Chief |    | ZHAO Jin-cai                                                                                                                                                                                                            |
| 编 辑     | 《环境科学》编辑委员会<br>北京市2871信箱(海淀区双清路<br>18号, 邮政编码:100085)<br>电话:010-62941102, 010-62849343<br>传真:010-62849343<br>E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn<br>http://www. hjkx. ac. cn | Edited           | by | The Editorial Board of Environmental Science ( HUANJING KEXUE )<br>P. O. Box 2871, Beijing 100085, China<br>Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343<br>E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn<br>http://www. hjkx. ac. cn |
| 出 版     | 科 学 出 版 社<br>北京东黄城根北街16号<br>邮政编码:100717                                                                                                                             | Published        | by | Science Press<br>16 Donghuangchenggen North Street,<br>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<br>电话:010-64017032<br>E-mail: journal@ mail. sciencep. com                                                                                                | Distributed      | by | Science Press<br>Tel:010-64017032<br>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<br>(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