

余薇薇,朱家悦,潘伟亮,等. 规模化畜禽养殖场沼液回用对紫色土土壤特性的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(4):213-217.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.04.054

# 规模化畜禽养殖场沼液回用对紫色土土壤特性的影响

余薇薇<sup>1</sup>, 朱家悦<sup>1</sup>, 潘伟亮<sup>1</sup>, 万巧玲<sup>2</sup>, 陈杰云<sup>3</sup>, 杜邦昊<sup>1</sup>

(1. 重庆交通大学/水利水运工程教育部重点实验室, 重庆 400074; 2. 国家城市供水水质监测网重庆监测站, 重庆 400013;  
3. 重庆市渝北区建设工程质量监督站, 重庆 401120)

**摘要:** 畜禽粪污多采用厌氧消化工艺进行稳定化处理, 如何有效处理和综合利用厌氧过程中产生的大量沼液, 并做到保护土壤环境是当前亟须关注的问题。对规模化养殖场沼液引起的土壤环境变化进行考察, 研究沼液对紫色土理化性质、有机质含量、重金属含量、酶活性变化的影响。结果表明, 沼液后土壤  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  所占比重都有所下降且非晶体物质所占比重增大, 其中土壤  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  所占比重降低了 3.55%。短期沼液对土壤重金属的富集效应影响较小, 铜(Cu)、锌(Zn)含量无明显提高, 铅(Pb)、镉(Cd)在表层富集。沼液对土壤过氧化氢酶、转化酶活性影响较大, 分别提高 21.4%、27%。研究结果为探讨土壤承载沼液能力、弄清沼液改良土壤机制提供了理论基础。

**关键词:** 规模化畜禽养殖场; 沼液还田; 紫色土; 沼液承载能力; 重金属; 土壤酶活性

**中图分类号:** S811.5; X713 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)04-0213-04

随着我国畜禽养殖业的规模化发展, 畜禽粪污的产量也日渐增大。据国家环境保护部 2010 年发布的《污染源普查公报》中的数据, 全国畜禽养殖业粪污未经处理利用而直接排放到环境中的化学需氧量(COD)、总氮(TN)、总磷(TP)分别为 1 268.3 万、102.5 万、16.0 万 t<sup>[1]</sup>。农业面源污染中 95.8% COD、37.9% TN、56.3% TP 来源于养殖业中大量流失的畜禽粪尿<sup>[2-5]</sup>。目前多数养殖场已提倡“养-沼-灌”的模式来缓解处理养殖污水的压力, 沼液(biogas slurry, 简称 BS)还田在一定程度上能改良土壤, 保证作物生长所需的良好微生物环境<sup>[6-9]</sup>。然而, 土壤的消纳能力有限, 一味追求降低污水处理成本盲目回用, 会导致有机物在土壤中富集, 破坏土壤正常的生物环境。有研究指出, 沼液的施加会提高土壤中重金属铜(Cu)、镍(Ni)含量<sup>[10]</sup>, 也会造成土壤退化、氮磷流失以致破坏水环境等问题<sup>[11]</sup>。土壤污染具有隐蔽性、滞后性及不可逆转性, 一旦遭到破坏其治理周期长且难度大<sup>[12-13]</sup>。联合国粮食及农业组织把规模化养殖场粪污处理列为世界三大环境污染源问题之一。大规模的沼液还田对土壤和周边环境具有极大的潜在危害。本研究通过沼液还对土壤多个环境特征进行综合考察, 提出不同沼液条件下的紫色土理化性质、重金属含量、酶活性的变化, 以期探讨土壤承载沼液能力, 弄清沼液改良土壤机制提供理论基础。

## 1 试验方案及条件

### 1.1 试验区域自然条件

收稿日期: 2016-08-16

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 51608079); 重庆市教委科学研究项目(编号: KJ1500504); 重庆交通大学实验室开放基金(编号: SYJ201608)。

作者简介: 余薇薇(1985—), 女, 四川资中人, 博士, 副教授, 主要从事污水回收利用、水环境污染治理方向的研究。E-mail: yu11237@cqjtu.edu.cn。

某大型养殖场位于重庆市江北区东部, 南抵长江, 东接御临河。该区域是重庆市规划建设中隔档式自然生态保护带, 地理位置 29°61'~29°57'N, 106°75'~107°75'E。该区域属于热带季风湿润气候, 气候温和, 无霜期 296 d, 年均降水量 1 085.3 mm, 日照时数 1 243.8 h, 年平均气温 17.5~18.7℃。

### 1.2 供试沼液来源及特性

养殖场废水站规模为 110 m<sup>3</sup>/d, 采用厌氧工艺, 容积负荷为 8 kg/(m<sup>3</sup>·d)(以单位时间、单位体积的 COD 的质量计)。为了达到较高的产气率, 在不同季节、不同来水量情况下, 废水在沼液池中停留的时间不同, 出水水质差别较大。供试沼液选取厌氧池停留时间(HRT)分别为 5、10、15、20 d 4 个水平, 分别对应 BS<sub>1</sub>、BS<sub>2</sub>、BS<sub>3</sub>、BS<sub>4</sub> 水质处理。供试沼液 BS<sub>1</sub>、BS<sub>2</sub>、BS<sub>3</sub>、BS<sub>4</sub> 中 COD<sub>cr</sub>、BOD<sub>5</sub> 含量随停留时间增加依次递减。铵态氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)含量以 BS<sub>3</sub> 处理相对最高, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>含量则是 BS<sub>2</sub> 处理较高, 硝态氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)含量则是 BS<sub>4</sub> 处理较高。沼液中重金属含量仅停留时间较长的 BS<sub>3</sub>、BS<sub>4</sub> 处理中锌(Zn)及 BS<sub>2</sub>、BS<sub>3</sub>、BS<sub>4</sub> 处理中的 Ni 有少量超标, 其余指标均在标准范围内。

### 1.3 供试紫色土特性

灌区土壤为西南地区特有的紫色土<sup>[14]</sup>, 川渝地区紫色土面积占土地面积的 28%, 占耕地面积的 68%, 土层浅薄不超过 50 cm。根据土壤 X 射线衍射(简称 X-RD)图谱(图 1)分析可知, 供试紫色土  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TFe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$  所占比重较高,  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  分别占全构成的 65.36%、4.65%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TFe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、非晶质含量分别占 1.41%、3.00%、2.31%、2.27%、2.10%。

土壤自然含水率在 30%~35% 左右, 土壤有机质(soil organic matter, 简称 SOM)背景含量偏低, 氮素含量低于 0.1%, 钾素较丰富, 其全钾含量为 1%~2%, 饱和导水率为 10.9%。土壤容重为 1.2 g/cm<sup>3</sup>, 相对密度为 2.65, 孔隙度为 54.7%, pH 值约为 7.5。供试紫色土质地均匀, 属于黏壤土,

氮素、速效磷不足,阳离子交换量高,碳酸钙含量小于 30 g/kg,土壤有机质不足。自然情况下土壤重金属来源于母岩和残落的生物物质,一般含量较低。在畜禽养殖的饲料中,不可避免地加入重金属微量元素,通过沼液或沼渣进入土壤,而土壤中的重金属极难被微生物降解<sup>[15-18]</sup>。根据土壤环境质量的二级标准 GB15618—1995《土壤环境质量标准》,供试土壤在未进行沼灌试验前重金属的各项指标镉(Cd)、Zn、Ni、铅(Pb)、Cu、铬(Cr)背景值分别为 0.0308、0.252、0.321、0.175、0.323、0.046 8  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,均在限值范围内<sup>[19]</sup>,表明试验前土壤未受重金属污染。

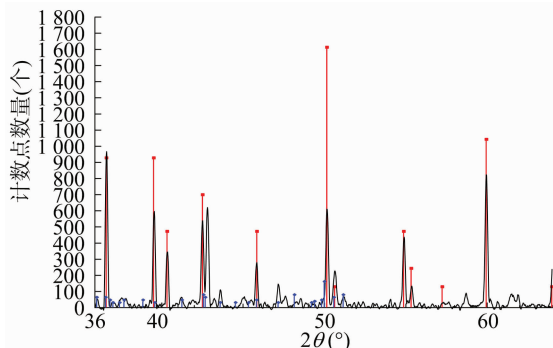


图1 土壤组成成分 X-RD 分析结果

#### 1.4 试验设置及方法

在等量条件下裸土每样地施入常规混合沼液 500 mL,沼灌周期为 2 d,均为表施且历时 8 个月。考察沼灌前后土壤化学成分、土壤重金属含量、土壤酶活性的变化。沼液  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量采用纳氏试剂分光光度法测定,  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量采用紫外分光光度法测定,  $\text{PO}_4^{3-}$  含量采用钼锑抗分光光度法测定,  $\text{BOD}_5$  采用稀释与接种法测定, Cr 含量采用二苯碳酰二肼分光光度法测定, Cu、Zn、Pb、Cd、Ni 含量采用原子吸收分光光度法测定, As 含量采用二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法测定。土壤  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量等用新鲜土壤进行分析。土壤酶活性测定:过氧化氢酶活性通过滴定酶促反应后剩余的过氧化氢量来表示,转化酶活性通过蔗糖水解时生成的还原己糖的量来分析,脲酶活性通过脲酶酶促尿素水解后产生的铵态氮( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ )含量来表示,磷酸酶活性通过测定磷酸-酯等基质水解时生成的酚量来表示<sup>[20-21]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 沼灌后土壤化学成分的变化

沼灌与 CK 组在不同沼灌期的 X-RD 成分对比结果见图 2。沼灌 60、120 d 时,  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  比重分别稳定在 33.92%、7.11%,  $\text{Si}_2\text{O}_2$  含量较高。在沼灌 180 d 时,  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  所占比重略有下降,分别降为 33.61%、3.56%。可以看出,沼液的加入使得非晶体物质逐渐增多,进而改变土壤的化学成分比重。沼灌 60、120、180、240 d 与 CK 组对比可知,沼灌土壤  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  含量降低 3.55%,土壤非晶体物质所占比重提高了。

### 2.2 沼灌后土壤有机质含量的变化

土壤有机质是营养元素,尤其是氮磷的重要来源,也是评价土壤肥力和蓄水保肥能力的重要指标<sup>[22]</sup>。土壤有机质与土壤肥力水平紧密相关,能影响微生物活性,促进土壤内部良

好结构的形成,改善土壤容重、渗透性、持水性、通气性和养分循环等理化性质。由图 3 可以看出,沼灌土壤 SOM 含量均高于清水灌溉,且在一定范围内与沼液施用量呈正相关。沼灌第 6 个月 SOM 含量最高,比清水灌溉的高 68%,6 个月内均值比 CK 对照组含量高 24%。总体看出,沼液的引入能够将土壤 SOM 肥力指标提高 20% 左右。

### 2.3 沼灌后土壤重金属含量的变化

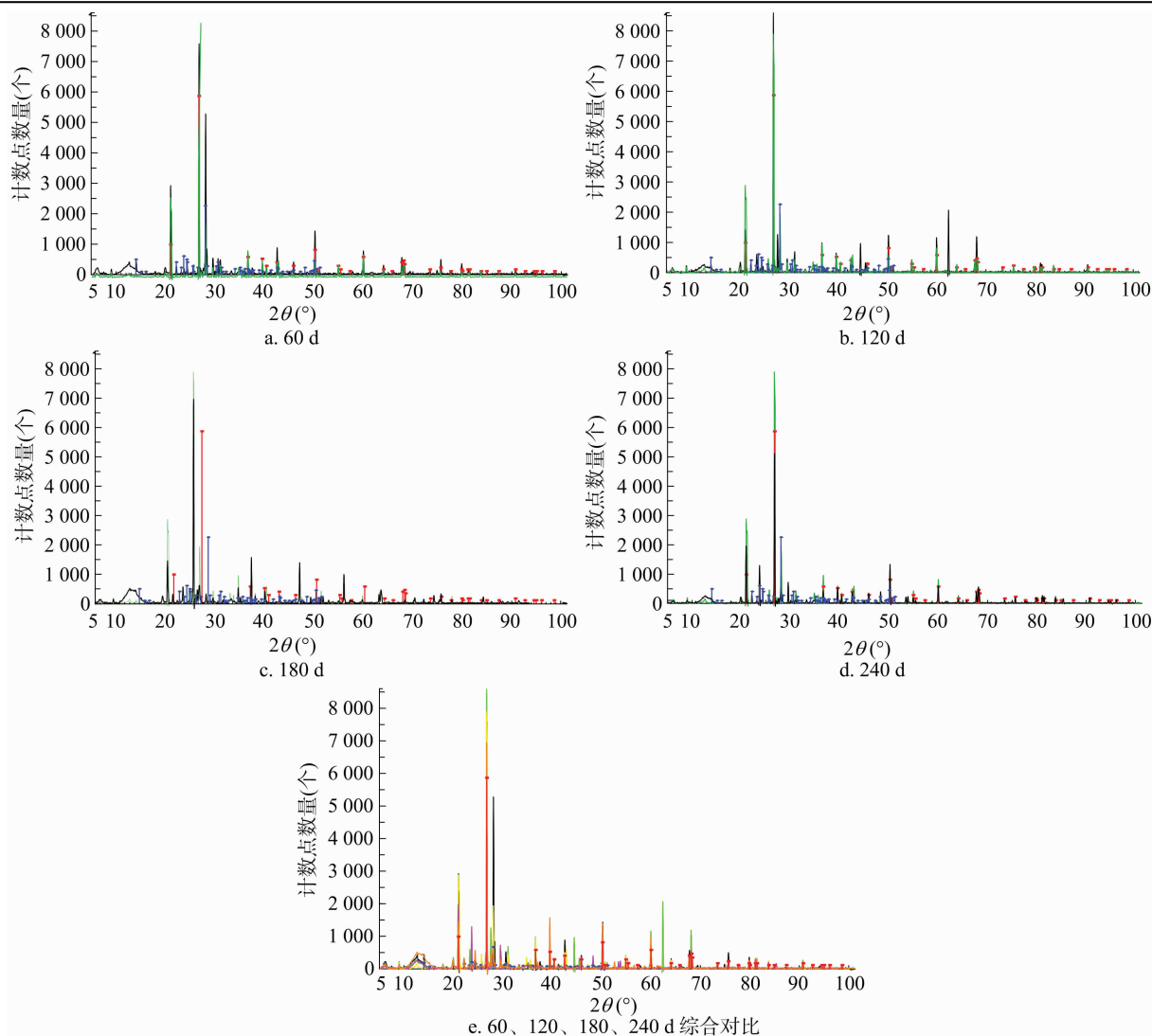
本试验通过等量沼灌、清水灌溉 8 个月后,对土壤重金属含量进行对比,考察重金属的短期富集效应。结果表明,沼液中 Zn、Ni 含量稍超出了规定限值,其余重金属都在较低的量值范围内。由表 1 可以看出,沼灌土壤中引入 Zn 的累计输入量较高,但与 CK 相比,土壤中的 Zn 含量并无明显提高,其增加的幅度仅为 5.2%。沼液引入的 Zn 总量较高,但检测的是沼灌土壤或者是 CK 组。进入土壤的 Zn 主要以  $\text{Zn}^{2+}$  存在,容易流失和被植物吸收,所以表现为全态的 Zn 量较少。紫色土中碳酸盐结合态 Cu 是主要存在方式, Cu 的沼灌输入量仅次于 Zn,沼灌后虽然含量较 CK 土壤提高了 13.6%,但这与沼液引入的 Cu 量并不成正比,推测引入的 Cu 多数属于无效 Cu,这部分 Cu 并没有累积于土壤中。由表 1 还可以看出,沼液输入的 Cd 量较少,而沼灌后土壤的 Cd 含量却比 CK 土壤的 Cd 含量提高了 38.5%,说明这部分 Cd 在土层中发生了较强的吸附。进入土壤的 Pb 大部分被土壤颗粒和胶体吸附,或与有机-无机化合物形成复合物。土壤中 Pb 化合物的溶解度和降解自由度低,在土壤中迁移能力弱<sup>[23-24]</sup>。沼灌引入 Pb 的量并不大,但是被土壤截留或者吸附的量较大,转化累积为土壤中有效 Pb 的量较大,提高幅度达 51.4%。可以看出,短期沼灌对土壤重金属的富集效应影响较小, Cu、Zn 含量无明显提高, Pb、Cd 仅在表层富集。

### 2.4 沼灌土壤酶活性的变化

作为土壤中最活跃的有机组分,土壤酶参与土壤中各种化学反应和生物化学过程,是土壤新陈代谢的催化剂。由图 4 可以看出,沼灌过氧化氢酶活性平均比清水灌溉的高 21.4%,最高时达到 22.6%。沼灌试验期内过氧化氢酶随时间的变化表现为第 3 个月活性比第 1 个月提高 16%。在转化酶活性均值方面,沼灌处理比清水灌溉处理高 27%,差异值比过氧化氢酶稍高。脲酶经沼灌在试验期内,其活性均值比清水灌溉高 13%,相对于过氧化氢酶及转化酶差异稍小,而从时间变化来看,脲酶在第 2 个月即出现较活跃的变化。沼灌磷酸酶活性均值与清水对比高 19.4%,沼灌效果略优于脲酶,但是低于过氧化氢酶、转化酶。沼液提高土壤酶活性的原因在于它能加快微生物繁殖,有利于提高土壤酶活性。试验土壤 SOM 与过氧化氢酶、转化酶、脲酶、磷酸酶活性均呈显著正相关,沼液本身也含有一定数量的酶及丰富酶培养基质 SOM,从而引起土壤酶活性变化<sup>[25-26]</sup>。试验中沼灌土壤过氧化氢酶、转化酶活性提高幅度较大,磷酸酶其次,脲酶最低。

## 3 结论

沼液灌溉能在一定程度上节约水资源,提高土壤肥力,改善土壤物化性质。此外,土壤中微生物以及土壤本身对沼液也有一定程度的净化作用,能从量上消纳沼液,从质上降低污染物浓度。本研究通过沼灌与清水浇灌对比,发现沼灌  $\text{SiO}_2$ 、



图a~图d: 绿色线—CK 对照组土壤的背景值; 黑色线—沼灌60、120、180、240 d 的土壤背景值; 红色线— $S_2O_2$  所占比重; 蓝色线— $NaAlSi_3O_8$  比重。图e: 黄色线—CK 土壤背景值; 黑色线—沼灌 30 d 土壤背景值; 绿色线—沼灌 120 d 土壤背景值; 橙色线—沼灌 180 d 土壤背景值; 粉色线—沼灌 240 d 土壤背景值

图2 沼灌 60、120、180、240 d 与清水灌溉对比

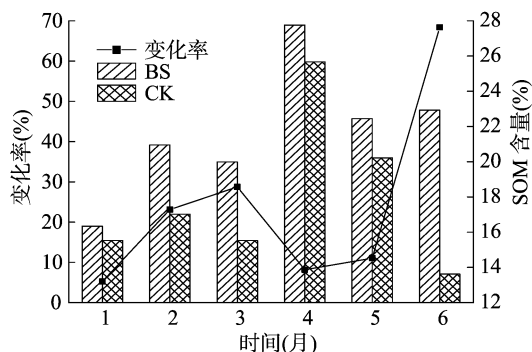


图3 沼灌与清水灌溉土壤有机质含量变化情况

$NaAlSi_3O_8$  所占比重都有所下降, 且非晶体物质所占比重增大, 沼灌土壤  $NaAlSi_3O_8$  所占比重降低了 3.55%, 表明沼灌提高了有机质含量。短期沼灌对土壤重金属的富集效应影响较小, 土壤重金属没有出现超标的情况, 沼灌使得 Pb、Cd 少量在土壤表面吸附, 但对环境影响甚小。短期沼灌可以增加土壤肥力、提高土壤酶活性, 尤其对土壤过氧化氢酶、转化酶有

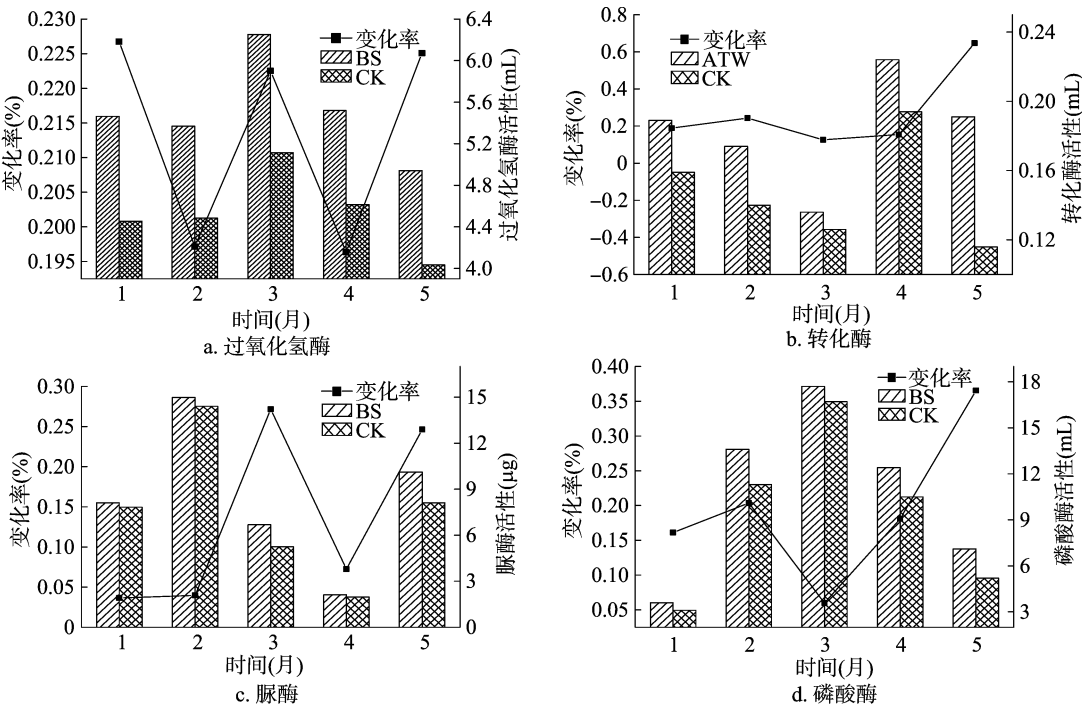
较大影响。

#### 参考文献:

- [1] 中国环境保护部, 农业部, 国家统计局. 第一次全国污染源普查公报[M]. 北京: 中国环境出版社, 2010: 1-98.
- [2] 黄红英, 常志州, 叶小梅, 等. 区域畜禽粪便产生量估算及其农田承载预警分析——以江苏为例[J]. 江苏农业学报, 2013, 29(4): 777-783.
- [3] 常志州, 黄红英, 靳红梅, 等. 农村面源污染治理的“4R”理论与工程实践——氮磷养分循环利用技术[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(10): 1901-1907.
- [4] Starke L. State of the world 2004[R]. Washington DC: World Watch Institute, 2004.
- [5] Agoramoorthy G, Hsu M J. Biogas plants ease ecological stress in India's remote villages[J]. Human Ecology, 2008, 36(3): 435-441.
- [6] 陈永杏. 猪场沼液农用生态环境效应研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012: 11-19.

表 1 供试土壤沼灌后的重金属含量

| 重金属 | BS<br>(mg/kg) | CK<br>(mg/kg) | 增加量<br>(mg/kg) | 增加比重<br>(%) | BS 输入量<br>(mg/mL) | BS 累计输入<br>(mg/样地) |
|-----|---------------|---------------|----------------|-------------|-------------------|--------------------|
| Cd  | 0.285         | 0.208         | 0.080          | 38.5        | 0.003 2           | 9.76               |
| Zn  | 0.265         | 0.252         | 0.013          | 5.2         | 2.001             | 6 103.05           |
| Ni  | 1.413         | 1.321         | 0.092          | 7.0         | 0.107             | 326.35             |
| Pb  | 1.548         | 0.752         | 0.796          | 51.4        | 0.151             | 460.55             |
| Cu  | 0.367         | 0.323         | 0.044          | 13.6        | 0.379             | 1 155.95           |
| Cr  | 0.492         | 0.468         | 0.024          | 5.1         | 0.010             | 30.50              |



过氧化氢酶活性通过滴定酶促反应后剩余的过氧化氢量来测定，以单位质量土消耗 0.1 mol/L  $\text{KMnO}_4$  的体积(mL)表示；转化酶活性通过测定蔗糖水解时生成的还原己糖的量来分析，以单位质量土消耗 0.1 mol/L  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  的体积(mL)表示；脲酶活性通过测定脲酶酶促尿素水解后产生的氨量来表示，以单位质量土产生的  $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$  的质量( $\mu\text{g}$ )表示；磷酸酶活性通过测定磷酸-酯等基质水解时生成酚的质量( $\mu\text{g}$ )表示

图 4 沼灌与清水灌溉土壤酶活性的对比

[7]Ilea R C. Intensive livestock farming: global trends, increased environmental concerns, and ethical solutions [J]. Journal of Agricultural & Environmental Ethics,2009,22(2):153-167.

[8]王远远,刘荣厚. 沼液综合利用研究进展[J]. 安徽农业科学, 2007,35(4):1089-1091.

[9]李平,高立洪,蒋滔,等. 规模化养殖场沼液-农田系统消纳配套技术研究[J]. 西南农业学报,2014,27(1):220-224.

[10]汪晨霖,耿钊,李俊华,等. 沼液与尿素施肥对棉花产量及土壤重金属含量的影响[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2013,5(5):561-567.

[11]Gömann H,Kreins P,Kunkel R,et al. Model based impact analysis of policy options aiming at reducing diffuse pollution by agriculture - a case study for the river Ems and a sub-catchment of the Rhine [J]. Vironmental Modelling & Software,2005,20(2):261-271.

[12]杨林章,施卫明,薛利红,等. 农村面源污染治理的“4R”理论与工程实践——总体思路与“4R”治理技术[J]. 农业环境科学学报,2013,32(1):1-8.

[13]李丽华,王钊. 国外废水灌溉概述[J]. 节水灌溉,2003(5):30-31.

[14]黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2000:50-62.

[15]韩晋仙,马建华,魏林衡. 污灌对潮土重金属含量及分布的影响——以开封市化肥河污灌区为例[J]. 土壤,2006,38(3):292-297.

[16]倪亮. 沼液灌溉对土壤质量的影响[D]. 杭州:浙江大学, 2008:9-20.

[17]王卫平,朱凤香,陈晓,等. 沼液农灌对土壤质量和青菜产量品质的影响[J]. 浙江农业学报,2010,22(1):73-76.

[18]孙广辉. 沼液灌溉对蔬菜产量和品质以及土壤质量影响的研究[D]. 杭州:浙江大学,2006:15-23.

[19]夏家洪,蔡道基,夏增禄,等. 土壤环境质量标准:GB15618—1995[S]. 国家环保局,1995.

[20]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000:172-197.

[21]鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000:37-44.

[22]陈永杏,董红敏,陶秀萍,等. 猪场沼液灌溉冬小麦对土壤质量的影响[J]. 中国农学通报,2011,27(3):154-158.

[23]陆建忠,徐益章,邱琴,等. 浦东新区原污灌区土壤环境质量

骆 辉,黄 新. pH 值对雨洪沉积物中重金属锌、铅释放行为的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(4):217-219.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.04.055

# pH 值对雨洪沉积物中重金属锌、铅释放行为的影响

骆 辉,黄 新

(南京林业大学土木工程学院,江苏南京 210037)

**摘要:**为探索在不同 pH 值条件下雨洪沉积物中重金属锌(Zn)、铅(Pb)的释放效果,通过人工调节溶液中的 pH 值来进行梯度模拟,以江苏省南京市城区的雨洪沉积物为研究对象,采用室内人工模拟周期浸泡法对重金属释放能力进行研究,并对沉积物粒径以及粒径中重金属的分布进行测定。结果表明,采样点沉积物粒径在 0.10~0.25 mm 范围内的颗粒含量最高,颗粒含量的排序为细沙>中沙>粗沙>极细沙>粉粒>极粗沙。沉积物粒径与其所含重金属 Pb、Zn 总量呈负相关关系,重金属 Pb、Zn 总量随粒径减小而增大。Pb、Zn 的浸出率在酸性环境中明显高于碱性环境,雨洪沉积物中重金属 Pb、Zn 污染多以颗粒态的形式存在,赋存于沉积物表面的溶解态含量较少。研究结果对区域内环境重金属污染的控制和环境评价具有指导意义。

**关键词:**雨洪沉积物;pH 值;重金属;释放;粒径

**中图分类号:**S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)04-0217-03

重金属具有难降解、毒性高、易积累等特点,已成为干扰地下水、河流、湖泊水体功能正常发挥的重要因素。当水体介质发生改变时,吸附于沉积颗粒表面的重金属元素可通过各种物理、化学、生物过程释放出来,造成雨水径流的二次污染。

雨洪沉积物是洪水径流在生态环境中重金属污染的一个临时储存库。重金属元素积聚在雨洪沉积物表面,以固体颗粒为载体进行迁移转化的过程不仅与人类的活动有关,而且受外部环境的影响,如粒径组成、雨水 pH 值、溶液离子强度、解吸作用、离子交换容量等性质的差异<sup>[1]</sup>。多项研究表明,各种重金属元素同时存在于不同的环境中时竞争作用明显,会影响沉积物中重金属元素的释放,尤其是溶液的 pH 值,是主要的影响因素<sup>[2]</sup>。金相灿研究表明,在细粒径沉积物中,重金属含量较高,且在不同的酸碱性环境中重金属的释放速度差异较大,可能是由细粒径沉积物的比表面积较大以及矿物含量、有机质含量高造成的<sup>[3]</sup>。因此对不同粒径范围和不同 pH 值环境下雨洪沉积物中重金属的释放进行研究尤为重要。

南京市位于长江下游中部地区,江苏省西南部,为亚热带湿润气候,四季分明,雨水充沛,每年 6 月下旬到 7 月上旬为梅雨季节,持续降水,降水集中且强度大,形成的雨洪沉积物

数量多。笔者采用室内人工模拟周期浸泡法研究不同 pH 值条件下雨洪沉积物中重金属元素锌(Zn)、铅(Pb)的释放规律,这对于预测城市洪涝下沉积物中重金属潜在环境污染风险以及城市雨洪水地下人工回灌过程中重金属污染治理具有重要的意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

2016 年 7 月在梅雨季节 3 次集中降水后,选择晴朗无风的天气进行雨洪沉积物样品采集,采样地点选择重交通区机动车道的沥青混凝土路面,采样时间分别为 2016 年 7 月 8 日、12 日、21 日。

在每个采样点用细毛刷清扫、塑料铲收集约 200 g 样品,装入聚乙烯塑料袋密封备用,记录采集时间、位置、环境。用塑料镊子去除沉积物中树叶、头发、较大的石子、烟头等杂物,待自然风干后过 0.149 mm 的尼龙筛。

### 1.2 主要仪器及药剂

主要仪器为 CEM MARS 型消解仪,FA1004 分析用电子天平,TAS-990 Super F 原子吸收分光光度计。各类器皿在使用前都用稀硝酸浸泡并用去离子水洗净、烘干。所用药剂均为分析纯。

### 1.3 试验方法

1.3.1 粒径分布 用洁净的标准土壤筛(筛孔尺寸为 0.041、0.074、0.101、0.025、0.050、1.000 mm)进行筛分,称质量,计算得到各粒径范围内雨洪沉积物的质量分数。

1.3.2 pH 值模拟 配制 1 mol/L 的 HCl 和 NaOH 溶液,把 bacterial communities [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2011, 43 (7):1464-1473.

[26] Gil - Sotres F, Trasar - Cepeda C, Leiros M C, et al. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2005, 37(5):877-887.

收稿日期:2016-09-07

基金项目:江苏高校优势学科建设工程(PAPD)。

作者简介:骆 辉(1990—),男,江苏连云港人,硕士,主要从事林区道路工程学的研究。E-mail:287356192@qq.com。

通信作者:黄 新,硕士,教授,博士生导师,主要从事道路桥梁方面的研究。E-mail:761358845@qq.com。

现状调查与对策[J]. 上海农业学报,2004,20(2):56-59.

[24]王昌全,李 冰. 成都平原土壤质量研究[M]. 北京:科学出版社,2012:11-23.

[25] Wallenius K, Rita H, Mikkonen A, et al. Effects of land use on the level, variation and spatial structure of soil enzyme activities and