



文章栏目：固体废物处理与资源化

DOI 10.12030/j.cjee.201812165

中图分类号 X713

文献标识码 A

张华生, 王电站, 邵一奇, 等. 微生物营养剂浓度对生物沥浸法处理猪场沼液的影响[J]. 环境工程学报, 2019, 13(9): 2262-2269.

ZHANG Huasheng, WANG Dianzhan, SHAO Yiqi, et al. Effect of microbial nutrient concentration on bioleaching treatment of anaerobically digested piggery slurry[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2019, 13(9): 2262-2269.

微生物营养剂浓度对生物沥浸法处理猪场沼液的影响

张华生¹, 王电站¹, 邵一奇¹, 颜成², 梁剑茹¹, 周立祥^{1,*}

1. 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095

2. 南京贝克特环保科技有限公司, 南京 211505

第一作者: 张华生(1992—), 男, 硕士研究生。研究方向: 畜禽粪污的处理处置。E-mail: 2015103054@njau.edu.cn

*通信作者: 周立祥(1965—), 男, 博士, 教授。研究方向: 固体废物处理及资源化利用。E-mail: lxzhou@njau.edu.cn

摘要 猪场沼液是规模化猪场沼气工程排出的具有高悬浮固体(SS)和高污染负荷的一类高浓度有机废水。采用生物沥浸法调理实现其深度固液分离, 对该废水生化处理达标排放意义重大。通过摇瓶实验, 研究了猪场沼液在不同浓度营养剂下的生物沥浸处理, 并将获得的沥浸泥作为接种物回流, 回流比为1:1, 共连续处理6批, 测定pH、过滤比阻(SRF)、泥饼重金属含量及滤水水质等指标。结果表明: 当营养剂浓度 $\geq 15 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, 其处理效果较好且稳定; pH降至3.5以下, SRF降至 $5.0 \times 10^{11} \text{ m}\cdot\text{kg}^{-1}$ 左右, 脱水速率提高86.1%, 泥饼重金属的浸出率高, 其中 $\text{Cu} \geq 49.5\%$ 、 $\text{Zn} \geq 72.7\%$ 。沼液经生物沥浸处理后体积减少40%~50%, 抽滤水的化学需氧量(COD)、氨氮(NH_3)含量、总磷(TP)含量和SS分别从原稀释沼液的27 669.8、1 014.8、582.1和27 857.1 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 降至423.8~499.3、671.4~704.0、0.7~1.1和 $0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 去除率最高可达98.5%、33.8%、99.9%和100%, 大大降低了后续生化处理的难度。采用生物沥浸法处理猪场沼液具有良好的应用前景。

关键词 猪场沼液; 微生物营养剂浓度; 生物沥浸; 脱水性能; 重金属

为满足对畜禽养殖产品日益增长的需求, 我国畜禽养殖业得到快速发展, 因此, 产生了大量畜禽粪污^[1]。畜禽粪污经沼气工程后会将其生物质能转化为沼气, 具有良好的经济效益^[2-3]。但与此同时也会产生大量沼液。沼液中含有大量的病原菌、重金属, 环境风险高, 若随意排放或处理不当会污染生态环境, 甚至危及人类健康^[4-5]。

目前, 规模化猪场粪污废水和沼液通常采用常规生化法处理, 但一般效果较差, 其中SS是最大的限制因素^[6-7]。因此, 沼液在进入生化处理前需要尽可能地去SS。生物沥浸法是一种利用微生物调理, 采用深度除渣机进行固液分离的技术。近年来, 该技术主要用于环境污染领域的治理, 如市政污泥的深度脱水^[8-9], 重金属污染土壤与河道底泥的生物修复^[10-11], 畜禽粪污中重金属的去除^[12-13]等。该技术不仅可以有效回收污泥/粪污中的SS, 脱除重金属, 消除恶臭, 绿色环保, 而且经固液分离获得的泥饼(含水率低于60%)可用于资源化处理^[14]。

收稿日期: 2018-12-24; 录用日期: 2019-03-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(21637003)

对于猪场沼液采用生物沥浸法是否可行，相关研究报道较少。为此，本研究考察了不同浓度的营养剂对生物沥浸处理猪场沼液的影响，并重点考察了 pH、比阻、泥饼重金属含量以及滤水水质等指标，以期为猪场沼液的处理提供借鉴和参考。

1 材料与方法

1.1 实验原料

猪场沼液：取自江苏南京浦口区某典型猪场，该猪场采用干清粪的清污方式，粪污和污水全部进入 CSTR 厌氧发酵罐内，厌氧发酵 60 d。取回猪场沼液立即测定其基本理化性质，结果见表 1，并将其放置于 4 °C 冰箱内保存，使用前用去离子水稀释至含固率为 3%。

表 1 猪场沼液的基本理化性质

Table 1 Basic physicochemical properties of anaerobically digested piggery slurry

pH	含固率/%	SS/%	COD/(mg·L ⁻¹)	NH ₃ /(mg·L ⁻¹)	TP/(mg·L ⁻¹)	SRF/(m·kg ⁻¹)	Cu/(mg·kg ⁻¹)	Zn/(mg·kg ⁻¹)
7.67	5.6	5.2	51 650.3	1 894.2	1 086.5	1×10 ¹³	967.2	1 809.4

1.2 生物沥浸所需微生物和接种物的制备

微生物的制备：参考相关文献^[11,15-16]，将从市政污泥中分离的嗜酸性化能自养菌 *A. ferrooxidans* LX5, *A. thiooxidans* TS6 和嗜酸性异养菌 *Galactomyces* sp. Z3, *Rhodotorula* sp. R30, *Pichia* sp. D13 纯菌株，分别接种到 100 mL 相应的无机盐或 PDA 液体培养基中，各培养基先用硫酸酸化至 pH 为 4，在 28 °C 往复摇床中，以 180 r·min⁻¹ 的转速振荡培养；待各培养基中微生物密度约 10⁸ 个·mL⁻¹ 时，再分别从 5 个培养基中各吸取 1 mL，加到 100 mL 相应的液体培养基，从而获得加富的菌种，按 1:1:1:1:1 的体积比，将 5 种菌种混合，获得生物沥浸复合微生物。接种物的制备：取 1.2 L 稀释沼液，缓缓加入 0.4 L 生物沥浸复合微生物，按总体积的 1.98% 添加微生物营养剂^[17]（主要含 Fe, S, N, P, K 等），待 pH 降至 3 以下，将该沥浸泥作为生物沥浸接种物。

1.3 猪场沼液生物沥浸实验

在一系列 500 mL 三角瓶中加入 150 mL 稀释样品，然后缓缓加入 150 mL 上述接种物，添入浓度为 10、15 和 20 g·L⁻¹（以总体积计）的微生物营养剂作为能源物质，共为 3 种处理，每种处理设 3 个平行。将三角瓶放置于 28 °C，180 r·min⁻¹ 的往复式摇床中振荡培养，每 12 h 利用称重法补足蒸发水，周期为 24 h。分别于 0、4、8、12 和 24 h 取样，测定 pH、比阻和泥饼含水率，待生物沥浸结束，测定抽滤水的 COD、NH₃ 和 TP，并将该酸化污泥回流作为下批实验的接种物，回流比为 1:1，共 6 批。待第 6 批结束时，测定泥饼中重金属 Cu、Zn 的含量。

1.4 分析方法

利用 pHS-3C 精密 pH 计测定 pH；采用快速消解分光光度法测定 COD；采用纳氏试剂比色法测定氨氮含量；采用钼锑抗分光光度法测定总磷含量；泥饼采用王水-高氯酸-氢氟酸法^[18]消解，消煮后上清液采用等离子发射光谱法 (ICP-OES) 测定其重金属含量；采用布氏漏斗-真空抽滤法^[19]测定比阻；采用 105 °C 烘干法测定泥饼含水率。

2 结果与讨论

2.1 营养剂浓度对生物沥浸处理猪场沼液过程中 pH 的影响

生物沥浸过程中，微生物可将营养剂中的能源物质 (Fe, S 等) 氧化并获得能量，同时直接或间接通过 Fe³⁺水解释放 H⁺，进而降低体系 pH，并使得重金属从固相迁移至液相。通常将 pH 作为评价生物沥浸效果的重要指标，pH 下降越快，表明微生物活性越强，处理效果越好。一般该微生物的最适 pH 在 2.0~3.5^[20-22]。

从图1可以看出,随着营养剂浓度的增加,体系的pH也随之降低。浓度为 $10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的处理,沼液经第1批生物沥浸处理4 h内,pH从8.0快速降至5.0左右。其主要原因是,初期接种物的酸性强,与沼液反应时消耗大量碱性物质。4~24 h后,pH缓慢降低,仅降低1个单位。第2~6批,生物沥浸处理4 h内pH从8.0降至5.5,4 h后,pH基本保持不变。随着回流批次的延长,体系的pH一直较高。侯庆杰等^[17]利用生物沥浸法回流处理洗毛废水时也发现类似的现象。这首先是由于环境中较高的pH使得复合菌群的活性降低,产酸作用受到影响;其次,在pH较高的条件下,营养剂中的 Fe^{2+} 有一部分自然氧化,微生物生长受抑制,生物沥浸效果差。

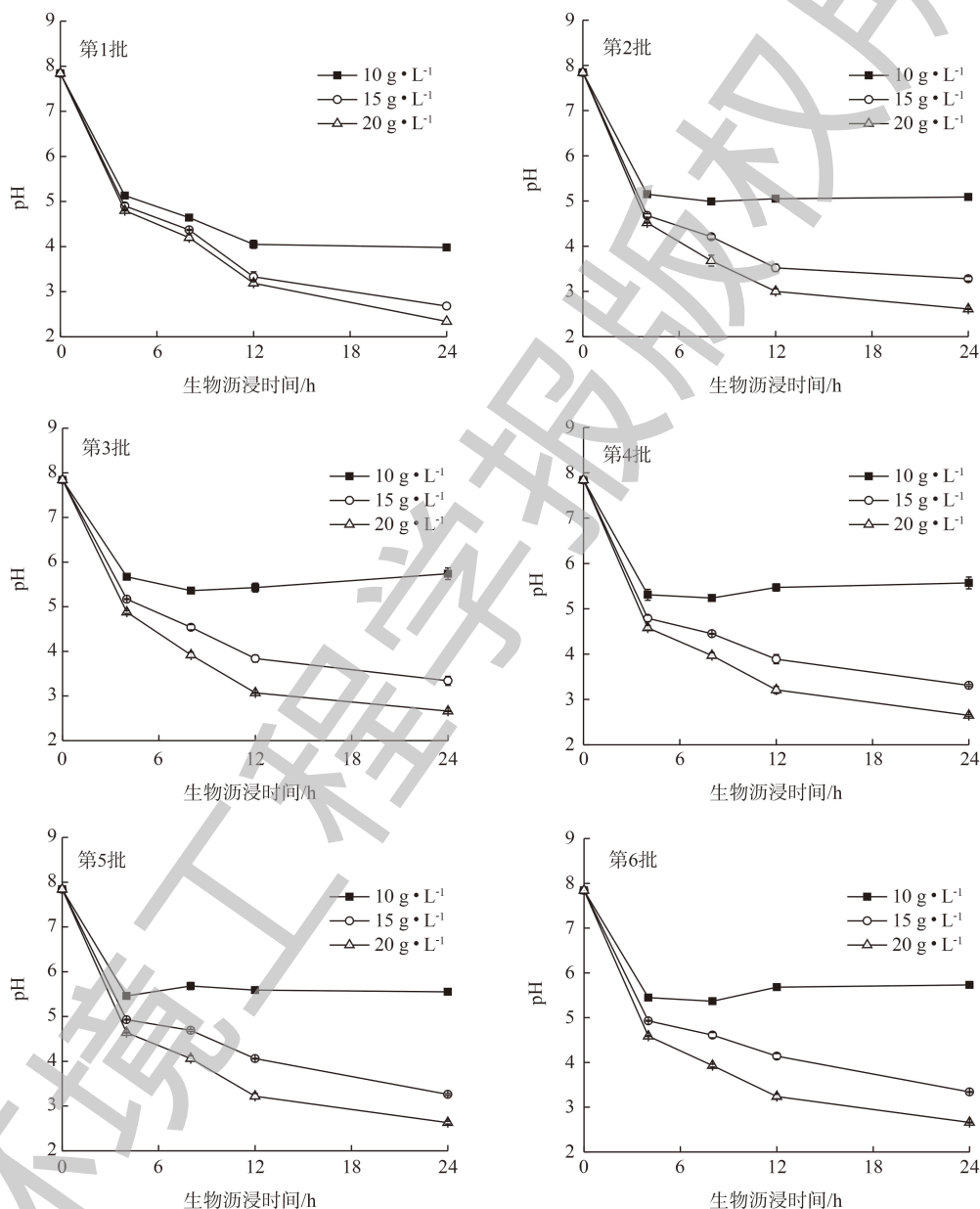


图1 营养剂浓度对生物沥浸处理猪场沼液过程中pH的影响

Fig. 1 Nutrient concentration effect on pH of bioleached ADPS in successive multi-batch trials

浓度为 $15\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的处理,连续6批生物沥浸处理4 h内,pH均从8.0降至5.0左右,之后快速降低,每批反应结束时,pH均可维持在3.2左右,满足微生物生长的环境。与 $15\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的处理相比,

浓度为 $20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理时的 pH 更低, pH 下降速度更快, 生物沥浸 4 h 内, pH 从 8.0 降至 4.5 左右, 24 h 时, pH 可以降至 2.5 左右。

2.2 营养剂浓度对生物沥浸处理猪场沼液过程中比阻的影响

过滤比阻作为评价污泥或粪污脱水速率的指标, 能较好地反映其固液分离性能^[23]。一般认为, 过滤比阻 $\text{SRF} > 4.0 \times 10^{12} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 脱水速率较差; SRF 在 $1.0 \times 10^{12} \sim 4.0 \times 10^{12} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 脱水速率中等; $\text{SRF} < 1.0 \times 10^{12} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 脱水速率较好^[24]。

图 2 反映了营养剂浓度对生物沥浸处理猪场沼液过程中比阻的影响。原稀释沼液的比阻为 $3.6 \times 10^{12} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$, 脱水速率中等。营养剂浓度为 $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的处理, 沼液经第 1 批处理后, 比阻降至 $3.0 \times 10^{11} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$; 第 2~6 批生物沥浸过程中, 比阻均保持在 $10^{12} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上, 甚至高于处理前。随着反应时间的延长, 比阻逐渐增加的原因可能是, 在能源物质不足的情况下, 沼液中的异养菌重新

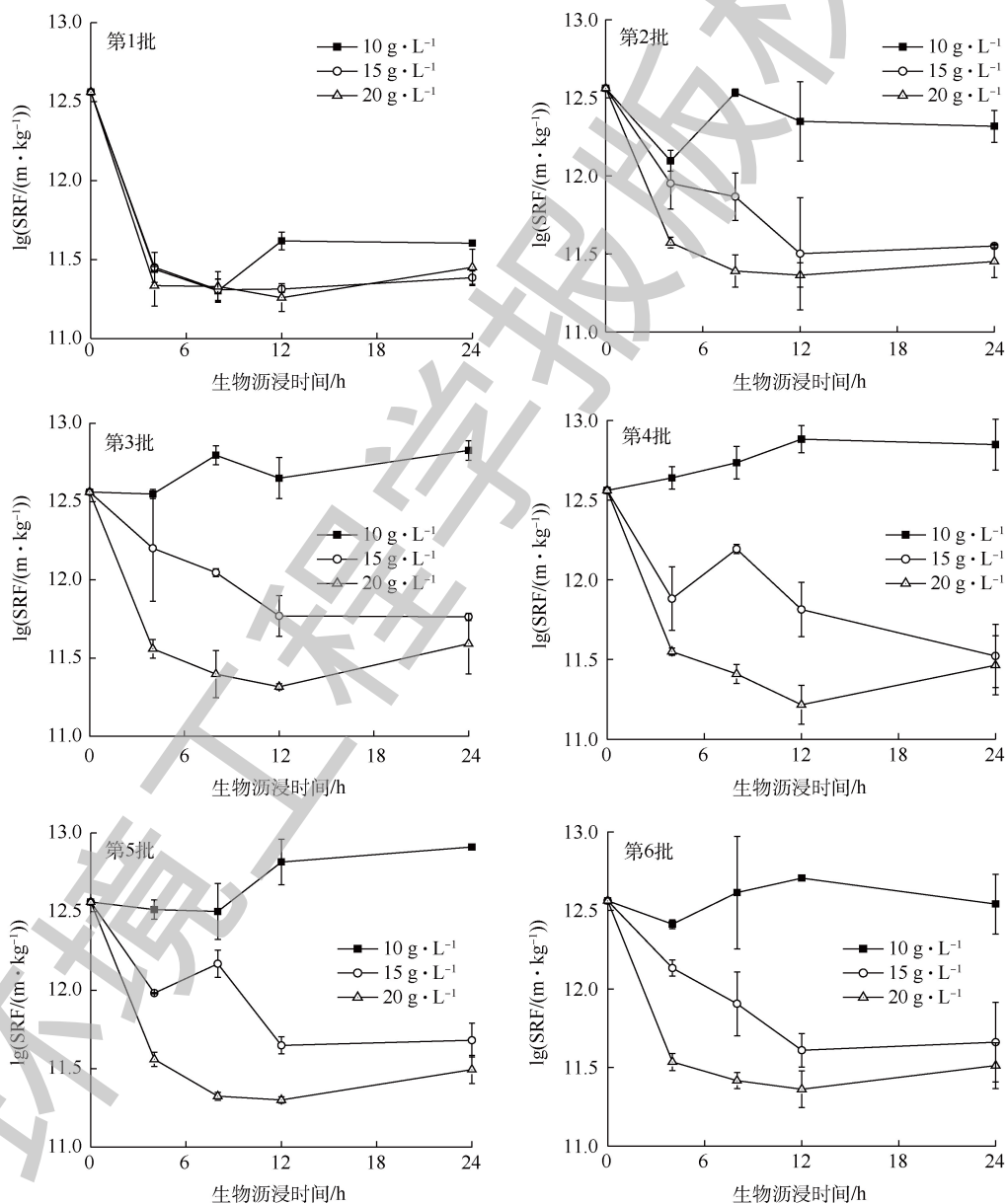


图 2 营养剂浓度对生物沥浸处理猪场沼液过程中比阻的影响

Fig. 2 Nutrient concentration effect on SRF of bioleached ADPS in successive multi-batch trials

成为优势菌，释放大量亲水性强的EPS^[9]。

浓度为 15 g·L⁻¹ 的处理，第 1 批生物沥浸 4 h 内比阻可从 10¹² m·kg⁻¹ 降至 3.0×10¹¹ m·kg⁻¹ 左右，4 h 之后基本保持稳定；第 2~6 批，随着生物沥浸时间的延长，过滤比阻逐渐降低，12 h 的过滤比阻可降至 5.0×10¹¹ m·kg⁻¹ 左右，脱水速率较原稀释沼液提高 86.1%。脱水速率提高的原因可能是，生物沥浸过程中会产生大量 H⁺，使得 Zeta 电位趋于中性，颗粒之间排斥力减小，同时生物形成的矿物及 Fe³⁺ 起较好的絮凝效果^[25-26]。

浓度为 20 g·L⁻¹ 的处理，第 1~6 批经处理 4 h 过滤比阻即可降至 3.0×10¹¹ m·kg⁻¹ 左右，4 h 之后比阻缓缓降低后微微升高，但与浓度为 15 g·L⁻¹ 的处理结果相比，其比阻值更低。

2.3 营养剂浓度对生物沥浸处理猪场沼液过程中泥饼含水率的影响

泥饼含水率作为评价脱水性能的指标，能较好地反映脱水程度。泥饼含水率越低，脱水程度越高，体积也越小^[27]。营养剂浓度对生物沥浸处理猪场沼液过程中泥饼含水率的影响(取第 1~6 批数值作统计分析)见图 3。

原稀释沼液的泥饼含水率高达 85%，外观呈黑色黏稠状，含有大量表观水，脱水程度较差。浓度为 10 g·L⁻¹ 的处理，处理 4~24 h 的泥饼含水率为 75% 左右，体积减少 40%。浓度为 15 g·L⁻¹ 和 20 g·L⁻¹ 的处理，泥饼含水率逐渐降低，泥饼含水率变化较小，4~24 h 稳定维持在 70% 左右，脱水程度大大提高，体积减少 50%。结果发现，与原空白相比，沼液经生物沥浸处理后，脱水程度均得到提高，体积减小，但营养剂浓度对其影响也小。

2.4 营养剂浓度对生物沥浸处理沼液后抽滤水中 COD、氨氮、总磷的影响

由表 2 看出，经不同生物沥浸处理后滤水的 COD 基本维持在 423.8~499.3 mg·L⁻¹，氨氮在 671.4~704.0 mg·L⁻¹，总磷在 0.7~1.1 mg·L⁻¹，SS 为 0 mg·L⁻¹，与原稀释沼液相比，其最高去除率分别为 98.5%、33.8%、99.9% 和 100%，获得的滤水较清。

表 2 生物沥浸处理后抽滤水 COD、氨氮、总磷和悬浮固体含量
Table 2 COD, NH₃, TP and SS content of filtered water after bioleaching

营养剂浓度/(g·L ⁻¹)	COD/(mg·L ⁻¹)	NH ₃ /(mg·L ⁻¹)	TP/(mg·L ⁻¹)	SS/(mg·L ⁻¹)
10	423.8	671.4	1.1	0
15	453.4	691.8	0.7	0
20	499.3	704.0	1.0	0

猪场沼液经生物沥浸处理后污染物浓度大大降低，但不同处理后的水质无显著差异。生物沥浸法对氨氮的去除作用明显弱于 COD 和总磷，可能的原因是，沼液中氨氮是以溶解态形式存在的，生物沥浸微生物对氨氮的吸附作用有限。因此，经固液分离后，抽滤水的氨氮浓度依然较高，但有机物和总磷以颗粒态形式存在，经过微生物絮凝、固液分离，伴随 SS 一起被去除^[7]。

2.5 营养剂浓度对生物沥浸处理后泥饼重金属的影响

生物沥浸期间 pH 降低，沼液固相中的重金属会溶出。其浸出率主要取决于 pH，理论上 pH 越

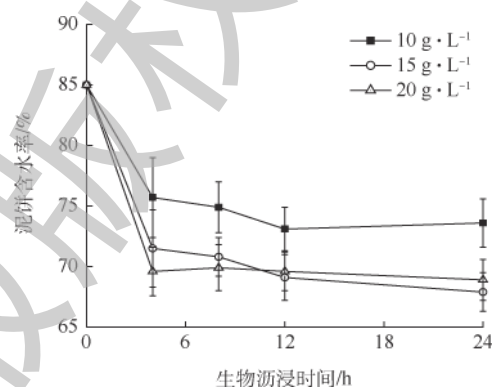


图 3 营养剂浓度对生物沥浸处理猪场沼液过程中泥饼含水率的影响

Fig. 3 Nutrient concentration effect on moisture content of bioleached ADPS in successive multi-batch trials

低, 重金属浸出率越高。浓度为 $10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组的浸出率要远低于 $15 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $20 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的处理组; 在浓度为 $10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的处理组中, Cu 的浸出率几乎为 0%, Zn 的浸出率仅为 5.8%; 在浓度为 $15 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的处理组中, Cu、Zn 的浸出率较高, 分别为 49.5%、72.7%; 在浓度为 $20 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的处理组中, 浸出率分别为 71.0%、82.7%(见表 3)。研究发现, Zn 的浸出率总是高于 Cu, 这可能是因为重金属 Cu 主要以稳定态和硫化物存在, CuS 的溶度积 K_{sp} 远低于 ZnS, pH 低于 3 时才会大量溶出^[28-29]。

表 3 生物沥浸处理后泥饼重金属 Cu、Zn 的浸出率
Table 3 Leaching percentages of Cu and Zn heavy metals in sludge cake after bioleaching

营养剂浓度/ $(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	Cu			Zn		
	处理前/ $(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	处理后/ $(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	浸出率/%	处理前/ $(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	处理后/ $(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	浸出率/%
10	967.2	966.5	0.07	1 809.4	1 704.3	5.8
15	967.2	488.9	49.5	1 809.4	493.2	72.7
20	967.2	280.1	71.0	1 809.4	312.3	82.7

3 结论

1) 营养剂浓度对猪场沼液经生物沥浸后的脱水性能和重金属浸出影响较大。在 3 种不同的处理中, 营养剂浓度越高, 处理效果越好。当营养剂浓度 $\geq 15 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 沼液经生物沥浸处理后, 脱水性能提高 86.1% 以上, 泥饼重金属 Cu、Zn 的浸出率分别在 49.5%、72.7% 以上, 且连续多批次回流处理 24 h 后的 pH 可降至 3.5 以下。

2) 营养剂浓度对猪场沼液经生物沥浸后的泥饼含水率和滤水水质影响较小。但通过生物沥浸法均能够回收沼液中几乎 100% 的 SS, 从而降低滤水后续生化处理的难度。因此, 利用生物沥浸处理猪场沼液具有良好的应用前景。

参考文献

- [1] LV B Y, XING M Y, YANG J. Speciation and transformation of heavy metals during vermicomposting of animal manure[J]. *Bioresource Technology*, 2016, 209: 397-401.
- [2] WANG X J, YANG G H, FENG Y Z, et al. Optimizing feeding composition and carbon-nitrogen ratios for improved methane yield during anaerobic co-digestion of dairy, chicken manure and wheat straw[J]. *Bioresource Technology*, 2012, 120: 78-83.
- [3] 王瑞, 魏源送. 畜禽粪便中残留四环素类抗生素和重金属的污染特征及其控制[J]. *农业环境科学学报*, 2013, 32(9): 1705-1719.
- [4] XIE S H, LAWLOR P G, FROS P, et al. A pilot scale study on synergistic effects of co-digestion of pig manure and grass silage[J]. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2017, 123: 244-250.
- [5] 吴国英, 贾秀英, 郭丹, 等. 蚯蚓对猪粪重金属 Cu、Zn 的吸收及影响因素研究[J]. *农业环境科学学报*, 2009, 28(6): 1293-1297.
- [6] 韩伟铖, 颜成, 周立祥. 规模化猪场废水常规生化处理的效果及原因剖析[J]. *农业环境科学学报*, 2017, 36(5): 989-995.
- [7] 叶韬, 颜成, 王电站, 等. 规模化猪场粪污废水生物聚沉氧化新工艺及其生产性实验效果研究[J]. *环境工程学报*, 2018, 12(9): 2521-2528.

- [8] 刘奋武,周立祥,周俊,等. 生物沥浸处理提高城市污泥脱水性能的中试研究: 批式运行模式[J]. 环境科学, 2011, 32(7): 2023-2029.
- [9] 宋永伟,刘奋武,周立祥. 微生物营养剂浓度对生物沥浸法促进城市污泥脱水性能的影响[J]. 环境科学, 2012, 33(8): 2786-2792.
- [10] 石明岩,刘恒甫,石云峰,等. 生物沥浸法改善河道底泥脱水性能的效果[J]. 环境科学与技术, 2018, 41(6): 97-102.
- [11] 宋永伟,王鹤茹,曹艳晓,等. 低分子有机酸对硫杆菌活性的抑制作用及对土壤重金属脱除的影响[J]. 环境科学, 2016, 37(5): 1960-1967.
- [12] 魏孝承,刘东方,廖力锐,等. 利用土著硫杆菌生物沥浸去除猪粪中重金属的研究[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(11): 2594-2602.
- [13] 周俊,王电站,刘奋武,等. 生物沥浸法去除猪粪中重金属和提高其脱水性能研究[J]. 环境科学学报, 2011, 31(2): 388-394.
- [14] 周立祥. 污泥生物沥浸处理技术及其工程应用[J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(5): 154-166.
- [15] ZHENG G Y, ZHOU L X, WANG S M. An acid-tolerant heterotrophic microorganism role in improving tannery sludge bioleaching conducted in successive multibatch reaction systems[J]. *Environment Science Technology*, 2009, 43: 4151-4156.
- [16] LIAO Y H, ZHOU L X, LIANG J R, et al. Biosynthesis of schwertmannite by acidithiobacillus ferrooxidans cell suspensions under different pH condition[J]. *Materials Science and Engineering C: Materials for Biological Applications*, 2009, 29(1): 211-215.
- [17] 侯庆杰,王振宇,梁剑茹,等. 预酸化下营养剂添加量对生物沥浸处理洗毛废水的影响[J]. 环境工程学报, 2015, 9(3): 1079-1085.
- [18] 崔佳丽. 生物淋滤法去除污水污泥中的Cu、Zn、Ni[D]. 太原: 太原理工大学, 2008.
- [19] 周立祥. 固体废弃物处理处置与资源化[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [20] WANG J W, BAI J F, XU J X. Bioleaching of metals from printed wire boards by acidithiobacillus ferrooxidans and acidithiobacillus thiooxidans and their mixture[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 172(2/3): 1100-1105.
- [21] ZHOU L X, FANG D, WANG S M, et al. Bioleaching of Cr from tannery sludge: The effects of initial acid addition and recycling of acidified bioleached sludge[J]. *Environmental Technology*, 2005, 26: 277-284.
- [22] 朱海风. 生物酸化和生物成矿对城市污泥脱水性能的影响及其机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [23] 高廷耀. 水污染控制工程[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [24] 国家环境保护总局科技标准司. 污水处理设施运行管理[M]. 北京: 北京出版社, 2006.
- [25] LI C W, LIN J L, KANG S F, et al. Acidification and alkalization of textile chemical sludge: Volume/solid reduction, dewaterability, and Al(III) recovery[J]. *Separation and Purification Technology*, 2005, 42: 31-37.
- [26] 覃孔昌,颜成,王电站,等. 生物聚沉氧化法快速处理奶牛场粪污水的研究[J]. 南京农业大学学报, 2017, 40(6): 1058-1064.
- [27] LU Y, ZHENG G Y, WU W Z, et al. Significances of deflocculated sludge flocs as well as extracellular polymeric substances in influencing the compression dewatering of chemically acidified sludge[J]. *Separation and Purification Technology*, 2017,

176: 243-251.

[28] 杨慧敏, 王凯军, 李明华. 生物沥浸法去除不同初始pH值猪粪中的重金属[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(6): 148-153.

[29] 李超, 周立祥, 王世梅. 复合硫杆菌生物浸出污泥中重金属的效果及与pH和ORP的关系[J]. 环境科学学报, 2008, 28(6): 1155-1160.

(本文编辑: 金曙光, 曲娜, 郑晓梅)

Effect of microbial nutrient concentration on bioleaching treatment of anaerobically digested piggery slurry

ZHANG Huasheng¹, WANG Dianzhan¹, SHAO Yiqi¹, YAN Cheng², LIANG Jianru¹, ZHOU Lixiang^{1,*}

1. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

2. Nanjing Bact Environmental Solutions Co. Ltd., Nanjing 211505, China

*Corresponding author, E-mail: lxzhou@njau.edu.cn

Abstract The anaerobically digested piggery slurry (ADPS) is a kind of organic wastewater with high suspended solids (SS) concentration and pollutant load discharged from large-scale pig farm biogas project. The complete solid-liquid separation through bioleaching conditioning followed by diaphragm pressure filter is of significance in ADPS biological purification. The bioleaching conditioning of ADPS with addition of different concentrations of microbial nutrient were performed through the flask-shaking experiment. Acidic already-bioleached ADPS was taken as an inoculum for next batch bioleaching experiment with the recycling ratio of 1:1, and the corresponding recycling was conducted for successive six batches. The pH, specific resistance to filtration (SRF), heavy metal content in bioleached cake, and water quality indexes were measured. The results showed that when the concentration of microbial nutrient was $\geq 15 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, and good and stable bioleaching effect was achieved as following: the pH value and the SRF of bioleached ADPS could drop below 3.5 and about $5.0 \times 10^{11} \text{ m}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively, and their dewaterability could increase by 86.1%. Under such a condition, the leaching percentages of Cu and Zn of the sludge-borne heavy metals were above 49.5% and 72.7%, respectively. After bioleaching treatment, the ADPS volume decreased by 40%~50%. The chemical oxygen demand (COD) content, ammonia nitrogen (NH_3) content, total phosphorus (TP) content and SS of the filtered water could decrease to 423.8~499.3, 671.4~704, 0.7~1.1 and $0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ from the initial 27 669.8, 1 014.8, 582.1 and $27 857.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, and the corresponding highest removal rates could reach 98.5%, 33.8%, 99.8% and 100%, respectively, which greatly reduced the difficulty in subsequent biochemical treatment. Therefore, bioleaching conditioning for ADPS has a good application prospect.

Keywords anaerobically digested piggery slurry; microbial nutrient concentration; bioleaching; dewaterability; heavy metal