

土著微生物菌群对某模拟铀尾矿废水中 U(VI) 和 Zn(II) 的去除机制

陈雨昕, 雷治武, 郭昊童, 刘欣威, 胡鄂明, 王红强, 王清良

(南华大学 资源环境与安全工程学院, 湖南 衡阳 421001)

[摘要] 土著微生物因种类多、适应性强、共代谢作用等优势,用于原位治理铀尾矿废水中 U(VI) 和 Zn(II) 的污染。本文研究了筛选并驯化后的土著微生物菌群对低浓度铀、锌的去除效果,考察了菌液用量、温度、pH 值、U(VI) 和 Zn(II) 初始浓度对土著微生物菌群除铀、锌性能的影响。结果表明,对于含 1 mg/L U(VI) 和 10 mg/L Zn(II) 的中性混合溶液,土著微生物菌群(不动杆菌属 44.69%、醋杆菌属 31.48%、金黄色杆菌属 14.71%)在温度 35 °C、菌液投加量 10% 时对 2 种重金属元素去除效果最好, U(VI) 和 Zn(II) 的去除率均可达到 94% 以上,且反应迅速,在 60 min 基本达到平衡。微生物的表征分析表明菌落在与金属离子反应后的细胞周围出现一定量片状物质,新出现的 U 峰和 Zn 峰分别占据细胞比重的 6.6% 和 0.62%。该研究为铀尾矿库废水中铀和重金属的治理提供了一定的技术支持。

[关键词] 土著微生物; 铀尾矿废水; 微生物修复; 重金属污染; 铀; 锌

[中图分类号] X753; TF813; X703 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-6103(2023)03-0074-07

DOI:10.19612/j.cnki.cn11-5066/tf.2023.03.011

0 引言

由于铀尾矿库的废水向地下水中迁移,随着雨水的渗入,流出水中含有铀及锌等重金属,对周边环境产生危害和影响^[1],亟待治理。铀主要以低迁移性的 U(IV) 和高迁移性的 U(VI) 存在于水中^[2],其中 U(VI) 具有高溶解性及重金属毒性,易迁移到环

境中进入人体,从而对人类健康和水体环境造成威胁^[3]。而锌虽是人体必需微量元素,但在体内长时间累积也可能引起心血管、肺、神经和内分泌等多方面问题^[4]。传统的水体修复方法如化学沉淀、离子交换等^[5]应用于低浓度重金属废水的处理时,易产生二次污染,还存在原材料成本及操作费用高等问题。重金属的微生物修复具有低能耗、经济、环保的特点,由于微生物组成物种的复杂性和多样性,在生长系统中相互间协同、促进同时构成稳定的微生物系统,在自然界中难以被破坏平衡^[6]。

外源微生物存在适应性差、易变异、成本高等缺点,应用还多处于试验研究阶段。采用遗传工程技术得到的基因工程菌具有更强的活性,但对环境生态等的影响具有不确定性,应用受限。土著微生物具有种类多、适应性强、共代谢作用等优势,通过改变环境条件、添加营养物,对其进行激发和驯化,提高其活性,在污染土壤和地下水修复领域具有巨大的应用前景。土著功能微生物群落相关研究主要注重于污染地下水修复治理,包括土著微生物对铀、砷、铬、镉和石油等污染物的去除与修复等,但其在作用于锌和同时作用于铀锌方面暂无报道^[7-14]。

[收稿日期] 2022-12-16

[第一作者] 陈雨昕(1998—),女,湖南衡阳人,硕士,研究方向为环境微生物治理。

[通信作者] 王清良(1969—),男,湖南宁乡人,教授,主要从事铀及其他有色金属的溶浸采矿、生物冶金以及生物废水处理。

[基金项目] 中国铀业有限公司-东华理工大学核资源与环境国家重点实验室联合创新基金项目:CO₂ + O₂ 地浸采铀退役采区污染地下水土著功能微生物原位修复机制(2022NRE-LH-11);湖南省自然科学基金联合基金项目:土著还原功能微生物原位治理铀尾矿中 U 及重金属机制(2022JJ50154);南华大学 2022 年研究生科研创新项目:中核二七二铀尾矿废水中铀及重金属的微生物原位修复机制(223YXC001)

[引用格式] 陈雨昕,雷治武,郭昊童,等.土著微生物菌群对某模拟铀尾矿废水中 U(VI) 和 Zn(II) 的去除机制[J].中国有色冶金,2023,52(3):74-80.

本试验在不引入新微生物的前提下,加入少量的有机营养物质,构建优势土著微生物菌群(不动杆菌属 44.69%、醋酸菌属 31.48%、金黄色杆菌属 14.71%),探讨其对低浓度铀和锌去除过程中的影响因素,为微生物菌群处理低浓度重金属废水治理提供新的思路。

1 试验材料

1.1 试剂

硫酸锌($ZnSO_4$);反式-1,2-环己二胺四乙酸(一水);三乙醇胺($N(CH_2CH_2OH)_3$);2-(5-溴-吡啶偶氮)-5-二乙氨基苯酚($C_{15}H_{17}N_4OBr$);丙酮(CH_3COCH_3);酚酞($C_{20}H_{14}O_4$);盐酸(HCl);无水氯化钙($CaCl_2$);氯化铵(NH_4Cl);六水氯化镁($MgCl_2 \cdot 6H_2O$);氯化钠(NaCl);无水磷酸氢二钠(Na_2HPO_4);等。以上试剂均为分析纯,购自国药集团化学试剂有限公司。

1.2 铀锌储备液

1)铀储备液的配制。将 1.179 2 g U_3O_8 加入到 10 mL HCl 与 6 mL H_2O_2 混合溶液中,用 0.5 mL HNO_3 助溶,加热溶解至透明液体,在 1 L 的容量瓶中定容,得到 1 g/L 铀储备液。用去离子水稀释相应倍数可得到试验中使用的不同浓度的铀溶液。

2)锌储备液的配制。准确称取 4.397 7 g 高纯硫酸锌($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$)于 200 mL 烧杯中,加入 100 mL 硫酸溶液(1%),溶解后,移入 1000 mL 容量瓶中定容,得到 1 g/L 锌储备液。用去离子水稀释相应倍数可得到试验中使用的不同浓度的锌溶液。

1.3 培养基

1)液体培养基。液体培养基成分为: Na_2HPO_4 0.42 g/L, NH_4Cl 0.6 g/L, NaCl 0.3 g/L, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 0.2 g/L, $CaCl_2$ 0.083 g/L, 乙酸 0.4 mL/L。

2)固体培养基。向液体培养基中加入 1.5% ~ 2.0% 的琼脂粉即制成固体培养基。

2 试验方法

2.1 土著微生物的筛选与培养

取 1 g 来自某铀尾矿库周边的淤泥于 100 mL 蒸馏水中,35 °C 下振荡培养 24 h,静置后取上清液,以 10% 接种量接种于已灭菌的液体培养基中。在 35 °C、避光条件下,在恒温生物培养箱中进行静置封口培养。每隔 5 d 重复上述步骤,培养 8 代后进行测

序,测序由上海生工生物工程技术服务有限公司完成,高通量测序微生物属水平群落结构如图 1 所示。

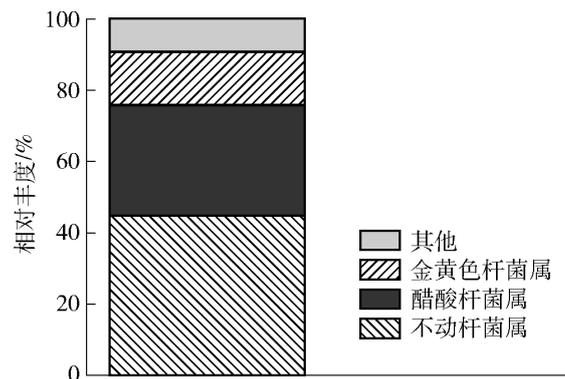


图 1 微生物属水平群落结构

Fig. 1 Horizontal community structure of microbial genus

图 1 中纵轴为物种相对丰度比例,颜色对应此分类学水平下各物种名称,不同色块宽度表示不同物种相对丰度比例。默认将在所有样本中丰度占比均小于一定比例(5%)的物种归为其他,其余 3 种作为优势物种进行分析。结果显示其组成为不动杆菌属 44.69%、醋酸杆菌属 31.48%、金黄色杆菌属 14.71% 和其他 9%,3 种优势菌属可在外界环境中分离得到,均为椭圆形至杆状,以单个、成对或成链存在。其中,不动杆菌与醋酸杆菌为兼性厌氧菌,而金黄色杆菌则专性好氧菌。

2.2 生长曲线的测定

取已培养 48 h 的菌液 10 mL,接种到 100 mL 新配制并灭菌的培养基中,在 35 °C 下静置培养,于接种后 1 h、24 h、48 h、72 h、96 h、120 h、144 h、168 h、192 h 取样,以紫外分光光度计于 600 nm 波长下测得的吸光度数值为纵坐标、培养时间为横坐标,作生长曲线,如图 2 所示。

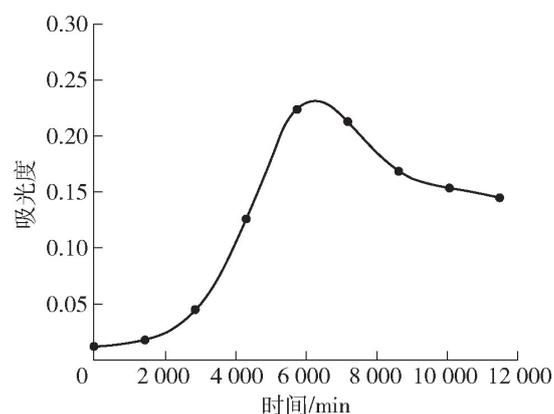


图 2 微生物生长曲线

Fig. 2 Microbial growth curve

2.3 微生物菌群除铀、锌试验

根据某铀尾矿废水实际铀、锌浓度值(分别为 0.56 mg/L 和 7.76 mg/L),分别取不同体积量的生长时间为 3 d 的微生物菌群加入到配制的 100 mL 不同浓度 U(VI) 和 Zn(II) 的铀锌混合溶液中,用 NaOH 和 HCl 调节混合溶液 pH 值分别为 4.0、5.0、6.0、7.0、8.0,然后将其置于不同温度的恒温培养箱中反应 24 h,反应过程中多次取样分析。

取反应前、后的微生物菌群于 1.5 mL 离心管中,以 8 000 r/min 的转速离心 5 min,去掉上清液,加入 2.5% 的戊二醛溶液,放置于 4 ℃ 环境下固定 12 h 以上,取出后立即放入真空干燥箱中充分干燥并研磨制样。在对样品进行真空喷镀法之后进行扫描电镜下观察,并在电镜扫描样品后分析样品表面

元素的变化情况。

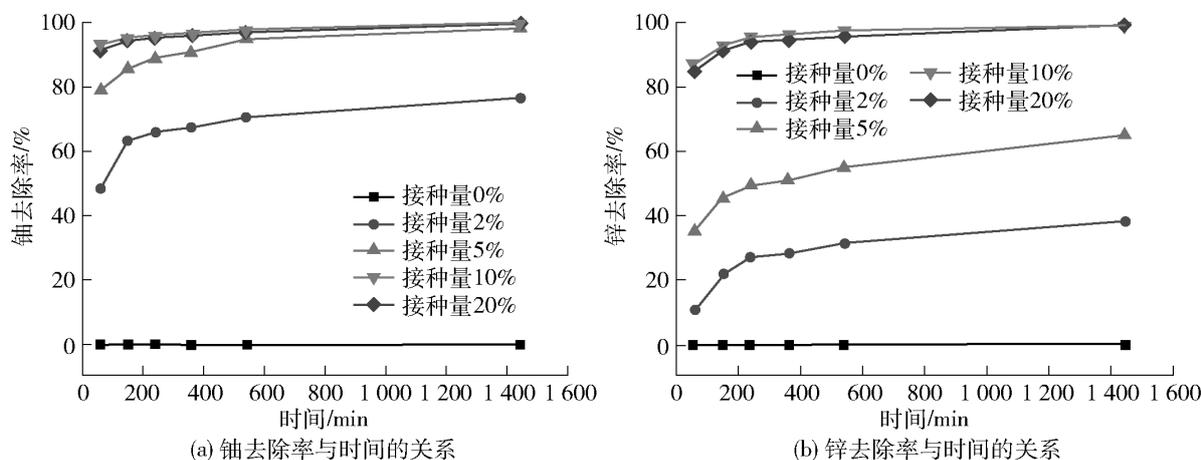
2.4 铀、锌分析测试方法

试验中铀浓度的分析方法为紫外分光光度法,锌浓度的分析方法为原子吸收分光光度法。

3 结果与讨论

3.1 菌液用量对铀、锌去除的影响

分别取 2 mL、5 mL、10 mL、20 mL 生长时间为 3 d 的微生物菌群加入到 U(VI) 初始浓度 1.0 mg/L、Zn(II) 初始浓度 10.0 mg/L 的 100 mL 铀锌混合溶液中,pH 值约为 6.67。将其置于 35 ℃ 的恒温培养箱中反应 24 h,反应过程中间隔一定时间取样分析。同时设置 1 组不加菌液的试验组作为对照,结果如图 3 所示。



注:接种量 = 菌液用量 (mL) / 铀锌混合液 (mL) × 100%

图 3 菌液用量对土著微生物菌群去除 U(VI) 和 Zn(II) 效果的影响

Fig. 3 Effect of bacterial solution on the removal effect of indigenous microbial flora in removing U(VI) and Zn(II)

由图 3 可知,当菌液用量为铀锌混合液 2% 时,铀的去除率最高仅为 74%,锌去除率仅为 38%,增加菌液用量能够提高 U(VI) 和 Zn(II) 的去除率,在菌液用量为 10% 时,微生物菌群在 60 min 时表现最佳的去除效果,此时 U(VI) 和 Zn(II) 的去除率均为 99%。随着菌液用量增大到 20%,U(VI) 和 Zn(II) 的去除效率略有下降,导致此现象的原因可能是微生物用量过多会使其相互吸附成团^[15],菌体细胞表面的官能团及胞外多聚物间的絮凝反应降低了可吸附重金属的位点及表面积,吸附效率反而降低。而在无菌液条件下,U(VI) 和 Zn(II) 的浓度未曾降低,从而证实该微生物菌群对 U(VI) 和 Zn(II) 均有去除效果。

3.2 pH 值对铀、锌去除的影响

将生长时间为 3 d 的 10 mL 微生物菌群加入到

U(VI) 初始浓度 1.0 mg/L、Zn(II) 初始浓度 10.0 mg/L 的 100 mL 铀锌混合溶液中,即菌液用量为 10%,微生物菌群加入前用 NaOH 和 HCl 调节溶液的 pH 值分别为 4.0、5.0、6.0、7.0、8.0,加入后将其置于 35 ℃ 的恒温培养箱中反应 24 h,反应过程中间隔一定时间取样分析,结果如图 4 所示。

由图 4 可知,偏酸性环境下,微生物菌群对 Zn(II) 的去除率偏低,在 pH = 4.0 时 Zn(II) 去除率仅有 55.28%。这是由于 pH 值较低,溶液中 H⁺ 的浓度上升,影响金属离子与溶液的结合。与此同时,细胞表面的官能团发生改变(质子化),正电荷数量增加,使重金属离子结合数量降低。而当 pH > 6.0 时,U(VI) 和 Zn(II) 的去除率均达到了 98% 以上,可能是因为随着 pH 值升高,细胞表

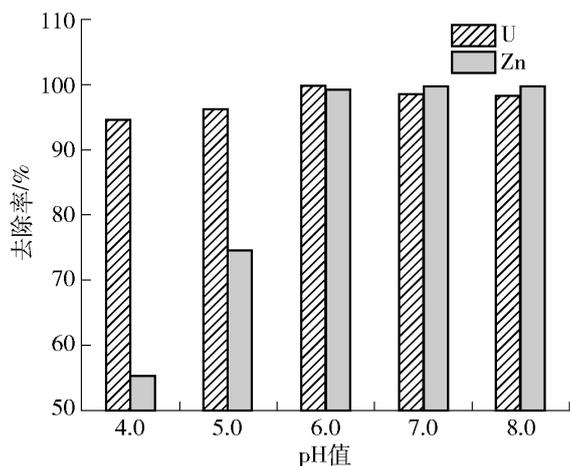


图4 pH值对土著微生物菌群去除U(VI)和Zn(II)的影响

Fig. 4 Effect of pH on the removal of U(VI) and Zn(II) from indigenous microbial flora

面出现的许多负电基团(氨基、羧基等)有利于带正电荷的金属离子与之相结合而被吸附^[16],从而

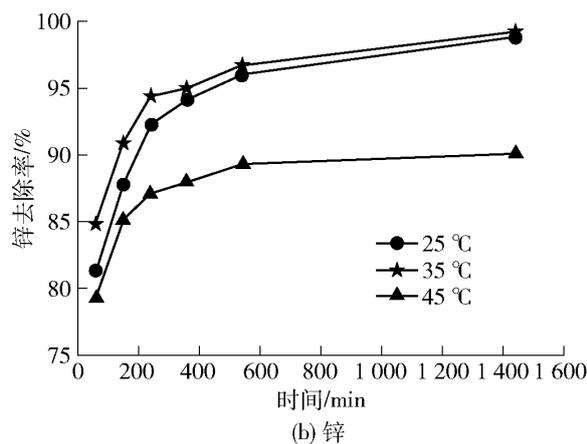
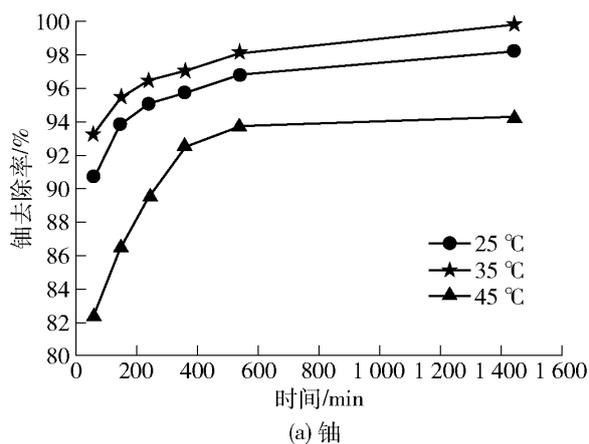


图5 温度对土著微生物菌群去除U(VI)和Zn(II)效果的影响

Fig. 5 Effect of temperature on the removal of U(VI) and Zn(II) by indigenous microbial flora

温度在25~45 °C时,对该微生物菌群去除U(VI)、Zn(II)的影响较小。虽然提高温度可以改变细胞的表面活性,为吸附提供所需能量,但温度太高会使微生物失去应有特性,导致对重金属的清除能力减弱,因此在温度为45 °C时效率有所下降,U(VI)和Zn(II)的去除率分别为94%和90%。

3.4 初始浓度对铀、锌去除的影响

当温度为35 °C,生长时间为3 d的菌液投加量为10 mL时,在pH值约为6.67条件下,考察24 h内Zn(II)初始浓度10.0 mg/L分别与U(VI)初始浓度(0.5 mg/L、1.0 mg/L、5.0 mg/L、10.0 mg/L)共存的溶液对U(VI)和Zn(II)去除的影响,以及24 h内U(VI)初始浓度1.0 mg/L分别与Zn(II)初始浓

减少了游离的金属离子。但当溶液pH值上升到一定数值,金属离子会以不溶解的氧化物、氢氧化物微粒的形式存在^[17],进而抑制U(VI)和Zn(II)进一步被吸附,使U(VI)和Zn(II)去除率保持稳定。

3.3 温度对铀、锌去除的影响

将生长时间为3 d的10 mL微生物菌群加入到U(VI)初始浓度1.0 mg/L、Zn(II)初始浓度10.0 mg/L的100 mL铀锌混合溶液中,即菌液用量为10%,pH值约为6.67。将其置于不同温度的恒温培养箱中反应24 h,反应过程中间隔一定时间取样分析,结果如图5所示。

由图5可知:温度在35 °C时最有利于微生物菌群的代谢或生长,为金属离子在细胞内主动运输提供能量,同时也会影响其活性吸附点,以及溶液中离子的扩散能力^[18];温度在25 °C时对U(VI)和Zn(II)的去除率略低于35 °C,去除率也达到了98%;

度(2.0 mg/L、5.0 mg/L、10.0 mg/L、20.0 mg/L)共存的溶液对U(VI)和Zn(II)去除率的影响,结果如图6所示。

由图6可知:U(VI)浓度从0.5 mg/L提高至10.0 mg/L,初始浓度10.0 mg/L的Zn(II)去除率由96%提高至99%;Zn(II)浓度从2.0 mg/L提高至20.0 mg/L,初始浓度1.0 mg/L的U(VI)的去除率由56%提高至98%。结果表明该混合体系中存在协同吸附机制。在U(VI)和Zn(II)浓度均低的环境中,细菌优先反应于Zn(II),但由于体系中污染离子较少,游离速度减慢,U(VI)与细菌作用的概率降低,从而在U(VI)初始浓度1.0 mg/L、Zn(II)初始浓度2.0 mg/L的条件下,U(VI)去除率

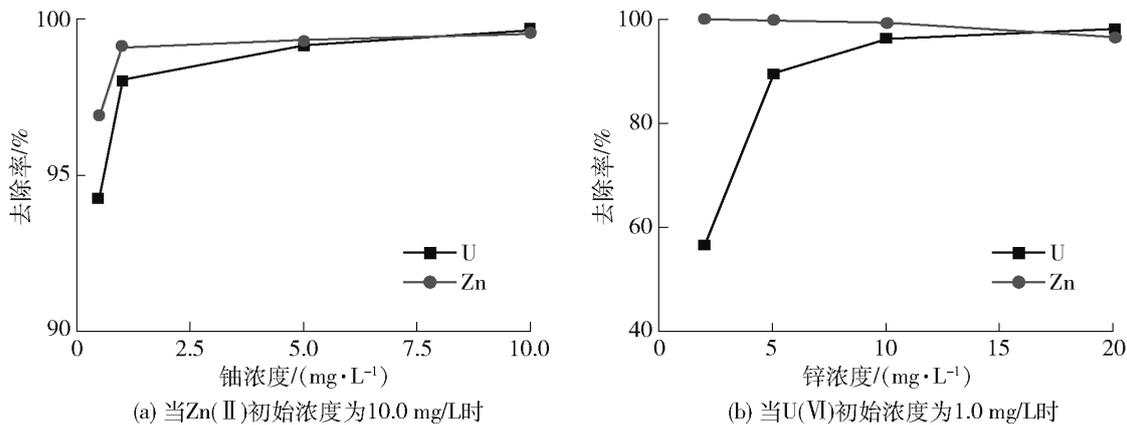


图6 初始浓度对土著微生物菌群去除 U(VI) 和 Zn(II) 效果的影响

Fig.6 Effect of initial concentration on the removal of U(VI.) and Zn(II.) from indigenous microbial flora

仅为 56%。在混合体系下,细菌在吸附一定 Zn(II) 之后,依靠被吸附上污染物的电性对 U(VI) 进行吸附^[19],协同作用能够有效提高微生物菌群在低浓度 U(VI) 环境下的作用能力。从图中还可得出,Zn(II) 浓度的增加,吸附率呈下降趋势,可能是重金属离子浓度的增加,结合位点达到饱和的原因^[20]。

3.5 SEM-EDS 结果分析

将微生物菌群加入到 U(VI) 初始浓度 20.0 mg/L、Zn(II) 初始浓度 10.0 mg/L 的混合溶液中,在上述试验得出的最适条件(即菌液用量为 10%,pH 值约为 6.67,温度 35 ℃)下,反应前、后的微生物菌群经过处理,进行扫描电镜、X 射线能谱分析,结果如图 7 所示。

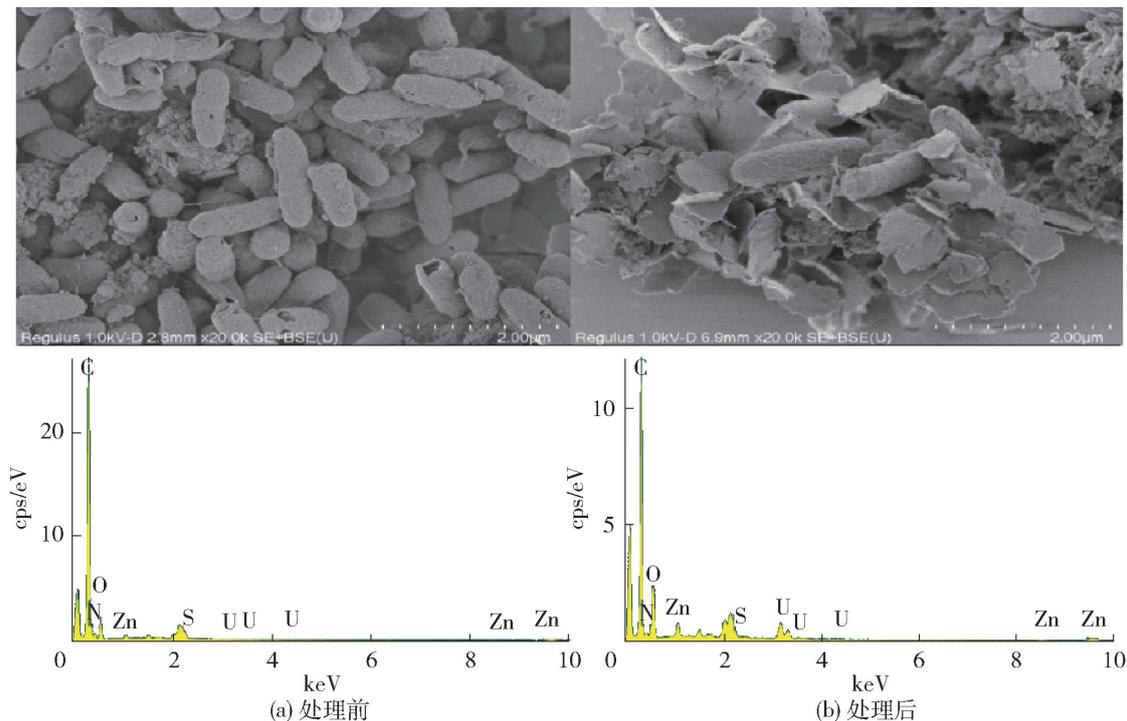


图7 土著微生物菌落在处理混合溶液前、后的 SEM-EDS 分析

Fig.7 SEM-EDS analysis of indigenous microbial colonies before and after treatment of mixed solution

由图 7 中可以看到,反应前的微生物菌群由许多细小短杆状的细胞紧密堆积而成,与 U(VI)、Zn(II) 作用后,大多数细胞表面覆盖着许多片状物质,U(VI) 和 Zn(II) 含量分别增长为 6.6% 和 0.62%,表明了该微生物菌群对 U(VI)、Zn(II) 的

去除可能存在吸附、还原或一定的矿化作用。

4 结论

1) 通过高通量测序从铀尾矿环境中选育出不动杆菌、醋酸杆菌、金黄色杆菌,所占的比例分别

为44.69%、31.48%、14.71%。研究发现3种优势菌属均为椭圆形至杆状,以单个、成对或成链存在,该土著微生物菌群对含铀、锌废水适用范围较广。

2)菌液用量10%时,铀在pH=4.0~8.0范围内有94%以上的去除率,在pH>6.0时,土著微生物菌群对铀和锌的去除率均超过了98%。该微生物菌群对外界温度的适应性强,在温度25~35℃时,对2种重金属均有较好的去除效果,在45℃有所下降。一定范围内,随着U(VI)或Zn(II)浓度的提高。另一金属离子的去除率也有所提高,且在铀和锌浓度均低的环境中,微生物优先反应于铀,存在协同吸附机制。

3)通过SEM-EDS分析,该微生物菌群对U(VI)、Zn(II)的去除可能存在吸附、还原或一定的矿化作用。

[参考文献]

- [1] Camacho L M, Deng S, Parra R R. Uranium removal from groundwater by natural clinoptilolite zeolite: effects of pH and initial feed concentration[J]. *Journal of hazardous materials*, 2010, 175(1-3): 393-398.
- [2] 王国华,杨思芹,周耀辉,等.生物还原法修复铀污染地下水的研究进展[J].*环境科学与技术*,2019,42(8):47-53.
WANG Guohua, YANG Siqin, ZHOU Yaohui, et al. Research progress on the bioremediation of groundwater polluted by uranium via bio-reduction [J]. *Environmental Science & Technology*, 2019,42(8):47-53.
- [3] 王家莉,王国华,谢水波,等.人工菌群修复铀污染地下水的模拟[J].*有色金属工程*,2022,12(7):179-185.
WANG Jiali, WANG Guohua, XIE Shuibao, et al. Simulating of bioremediation uranium-contaminated groundwater by designed consortia[J]. *Nonferrous Metals Engineering*,2022,12(7):179-185.
- [4] 刘爱荣,李季,王伟,等.纳米零价铁处理含重金属工业废水研究进展[J].*环境化学*,2022,41(4):1278-1291.
LIU Airong, LI Ji, WANG Wei, et al. Advance of heavy metal-loading industrial wastewater treatment with nanoscale zero-valent iron[J]. *Environmental Chemistry*, 2022, 41(4): 1278-1291.
- [5] 铁文周,农小芳,赵伊,等.微生物除Mn(II)机制及影响因素研究进展[J].*生物工程学报*,2022,38(1):14-25. DOI:10.13345/j. cj. 210371.
TIE Wenzhou, NONG Xiaofang, ZHAO Yi, et al. The mechanism of microbial removal of Mn(II) and its influencing factors: a review[J]. *Chinese Journal of Biotechnology*, 2022, 38(1): 14-25.
- [6] 蒋小梅.土著微生物菌群的选育及除铀效能试验研究[D].衡阳:南华大学,2018.
JIANG Xiaomei. The selection and effectiveness studies to uranium of native microbial consortium[D]. Hengyang: University of South China, 2018.
- [7] You W, Peng W, Tian Z. Uranium bioremediation with U(VI)-reducing bacteria[J]. *Science of The Total Environment*, 2021, 798: 149107.
- [8] Banala U K, Das N P I, Toleti S R. Microbial interactions with uranium: towards an effective bioremediation approach[J]. *Environmental Technology & Innovation*, 2021, 21: 101254.
- [9] 惠家状.铈的环境微生物毒性效应以及混合还原菌固定铈的研究[D].北京:中国地质大学,2020.
HUI Jiazhuang. Environmental microbial toxicity of antimony and fixation of antimony by mixed reducing bacteria [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2020.
- [10] 董畅.土著菌筛选及其联合生物促生剂对黑臭水体修复效果研究[D].沈阳:沈阳建筑大学,2022.
DONG Chang. Study on the effect of indigenous bacteria screening and combined biopromoters on black and smelly water bodies [D]. Shenyang: China University of Geosciences, 2022.
- [11] González, Yun Liu, Denys Villa Gomez, et al. Performance of a sulfidogenic bioreactor inoculated with indigenous acidic communities for treating an extremely acidic mine water Daniella [J]. *Minerals Engineering*, 2019, 131: 370-375.
- [12] Vanessa Gouveia, C. Marisa R. Almeida, Tânia Almeida, et al. Indigenous microbial communities along the NW Portuguese Coast: Potential for hydrocarbons degradation and relation with sediment contamination [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2018, 131: 620-63.
- [13] Vioxuan Yu a, Korris Lee a, Bin Ma a, Evelyn Asiedu b, Ania C. Ulrich. Indigenous microorganisms residing in oil sands tailings biodegrade residual bitumen [J]. *Chemosphere*, 2018, 209: 551-559.
- [14] Karishma Gururajan, Prasanna D. Belur. Screening and selection of indigenous metal tolerant fungal isolates for heavy metal removal [J]. *Environmental Technology & Innovation*, 2018, 9: 91-99.
- [15] 白英,孙悦,王纯玮.乳酸菌对重金属离子吸附能力的研究进展[J].*中国乳品工业*,2021,49(1):39-45. DOI:10.19827/j. issn1001-2230.2021.01.008.
BAI ying, SUN Yue, WANG Chunwei, et al. Research progress on the adsorption capacity of lactic acid bacteria to heavy metal ions [J]. *China Dairy Industry*, 2021, 49(1):39-45. DOI:10.19827/j. issn1001-2230.2021.01.008.
- [16] 夏君,瞿建国,马锦民,等.含锌废水的微生物处理技术[J].*化工环保*,2005(3):191-194.

- XIA Jun, QU Jianguo, MA Jinmin, et al. Microbiological treatment technology for wastewater containing zinc[J]. Environmental Protection of Chemical Industry, 2005(3):191-194.
- [17] Schut S, Zauner S, Hampel G, et al. Biosorption of copper by wine-relevant lactobacilli[J]. International Journal of Food Microbiology, 2011, 145(1): 126-131.
- [18] Du A X, Cao L X, Zhang R D. Screening of Penicillium strain with high copper resistance and its adsorption of heavy metals [J]. Chin J Appl Environ Biol, 2008, 14(5): 650-653.
- [19] 李耀悦. 改性秸秆功能材料对水中染料及重金属的协同吸附研究[D]. 上海:华东理工大学,2019.
- LI Yaoyue. Study on the collaborative adsorption of dyes and heavy metals by modified straw adsorbent in water[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2019.
- [20] 周薇. 耐铅锌微生物的筛选及吸附性能的研究[D]. 成都:四川农业大学,2009.
- ZHOU Wei. Study on screening of tolerant-lead & zinc strains and its adsorption capability[D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2009.

Removal mechanism of U(VI) and Zn(II) from a simulated uranium tailings wastewater by indigenous microbial flora

CHEN Yuxin, LEI Zhiwu, GUO Haotong, LIU Xinwei, HU Eming, WANG Hongqiang, WANG Qingliang

(School of Resources, Environment and Safety Engineering, University of South China, Hengyang 421001, China)

Abstract: Indigenous microorganisms is used for controlling pollution of U(VI) and Zn(II) in uranium tailings wastewater *in situ* due to their advantages of diverse species, strong adaptability and co-metabolism. The effect of the selected and domesticated indigenous microbial flora on removal of low-concentration uranium and zinc was studied. The effects of bacterial liquid dosage, temperature, pH, U(VI) and Zn(II) initial concentration on the removal of uranium and zinc from indigenous microbial flora were investigated. The results showed that for the neutral mixed solution containing 1 mg/L U(VI) and 10 mg/L Zn(II), the bacterial flora of indigenous microorganisms (*Acinetobacter* 44.69%, *Acetobacter* 31.48%, *Aureus spp.* 13.81%) at a temperature of 35 °C and a dosage of 10% the bacterial solution, the removal effect of two heavy metal elements is the best, the removal rate of uranium and zinc can reach more than 94%, and the reaction is rapid, basically reaching balance in 60 min. The characterization analysis of microorganisms showed that a certain amount of sheet-like substances appeared around the cells after the colony reacted with metal ions, and the newly emerged U peak and Zn peak accounted for 6.6% and 0.62% of the cell proportion, respectively. The study provides a certain technical support for treatment of uranium and heavy metals in uranium tailings pond wastewater.

Key words: indigenous microorganisms; uranium tailings wastewater; microbial remediation; heavy metal pollution; uranium; zinc