

文章编号:1673-0062(2016)01-0017-05

砂土介质中微生物对铀尾矿库渗出液淤堵吸附实验研究

桂 荣,潘宇翔,钱志创,焦可心,杨 芳

(南华大学 核资源工程学院,湖南 衡阳 421001)

摘要:本文选取了5种生长在某铀尾矿库周边的土著微生物,对比分析其在放射性环境中繁殖情况,选用 OD_{600} 值较高且在振荡培养下能快速形成明显菌落的黑曲霉进行淤堵实验.以铀尾矿库周边地层中的砂土为原料构建物理模型,向砂土中均匀灌入黑曲霉孢子悬液,在营养液充足的情况下5周后砂土渗透系数降低了72%,铀酰离子的吸附率达到了89%.实验表明,在砂土介质中黑曲霉的繁殖封堵及吸附分解能够较为有效地对渗漏源进行处理.本实验为处理铀尾矿库渗漏提供了新途径、新方法.

关键词:砂土介质;渗出液;淤堵吸附

中图分类号:X591 **文献标识码:**B

The Clogging and Adsorption Experimental Research of Microorganisms for Uranium Tailing Impoundment Effluent in Sands

GUI Rong, PAN Yu-xiang, QIAN Zhi-chuang, JIAO Ke-xin, YANG Fang

(School of Nuclear Resources Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: In this paper, five kinds of indigenous microorganisms was selected in the surrounding region of a uranium tailing impoundment, and the reproduction state of microorganisms in the radioactive environment situation was compared and analysed, the aspergillus niger was chosen as the experimental object for higher OD_{600} by shaking culture and can form colony quickly. And building the physical model with the sands as raw material in the surrounding strata of uranium tailings impoundment, the aspergillus niger spore suspension was injected into the sands evenly, and the permeability coefficient of sands was reduced by 72% after five weeks under the adequate nutrient supplying, the adsorption rate of uranyl ion reached 89%. Experimental results show that: reproduction plugging and ad-

收稿日期:2015-09-25

基金项目:湖南省教育厅基金资助项目(12C0347);衡阳市科技局基金资助项目(2014KS27);核资源与环境大学生创新训练中心创新实验基金资助项目;环保部科研基金基金资助项目(监管1209;监管1409);南华大学校级创新团队计划基金资助项目

作者简介:桂 荣(1984-),男,湖南祁阳人,南华大学核资源工程学院讲师,硕士.主要研究方向:铀矿山岩土灾害预防.

sorption decomposition of aspergillus niger can deal with leakage of radioactive source effectively in sand medium. This experiment provides a new way for the treatment of uranium tailing impoundment leakage.

key words: sands; radioactive effluent; clogging and adsorption

0 引言

铀矿业在为我国的工业发展提供原料、创造价值的同时,也带来了一系列的生态环境问题。随着我国核原料需求持续加大,在生产核原料时产生了大量的铀尾矿,为了储存这些尾矿修筑了成百上千个尾矿库。尾矿库自建成储矿到退役后很长一段时间,由于工程屏障年久失修、库区地质变动、地震等方面原因使得尾矿库发生渗漏,放射性核素进入地下介质,污染地下水。如果不及时对渗流进行处理或处理不当,放射性渗出液将会污染地下水资源及破坏土中原有生物环境,并且含铀废水会沿食物链或食物网被生物吸收、蓄积,最终造成人体积累和慢性中毒,对人体造成损伤甚至死亡^[1-4]。

放射性核素由于其特殊性,其渗漏后用传统的封堵技术堵漏针对性不强、造价高且较难找到渗漏源,封堵效果较差^[5-6]。微生物淤堵技术将微生物源、营养基注入多孔介质中,利用微生物的生长、繁衍、死亡堵塞多孔介质,淤堵渗漏部位,降低多孔介质渗透系数,能适用于各种复杂情况且具有自动检测渗漏部位并封堵的优点^[7-10]。

本文对放射性环境下微生物选育及在相似物理模型中微生物淤堵吸附实验进行研究。观测在水力坡降一定条件下,模型在单位时间内渗流量以及流出物中铀酰离子浓度的变化,分析黑曲霉对砂土的封堵效果以及对流出物中铀的吸附情况。实验为实现应用微生物技术对铀尾矿库核素渗漏处理提供实验依据。

1 微生物选育

1.1 菌种

实验所用的3种细菌和2种真菌均取自某铀尾矿库周边的土著微生物。所用菌为未知菌,先进行实验,实验结果良好再进行鉴定,分别用B1、B2、B3、B4、B5表示。

1.2 实验方法

从超低温冰箱中取出保存的5种菌种,用灭菌接种环刮取少许培养物接种至含10 mL液体培养基的试管中(细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基,真菌采用土豆培养基),将试管置于恒温空气浴

振荡培养器中振荡培养,恒温空气浴振荡培养器的温度设置为30℃,培养时间为4 d。用灭菌接种环各取1环培养物上清液在固体培养基平板上进行连续划线接种,将接种后的平板置于恒温培养箱中进行培养,培养箱的温度设置为30℃,培养时间为菌丝体顶端产生孢子后3 d。

在洁净工作台内用灭菌棉签(用含1% Tween20的灭菌水沾湿)刮取孢子,在装有2 mL培养基的离心管中洗脱。振荡5 min,过滤去除菌丝体,振荡1 min使其成单个孢子。以培养基作空白参照,用蛋白核酸测定仪测定孢子悬液的OD₆₀₀值,用培养基将所有菌株的OD₆₀₀值稀释为1.0。

为排除其他微生物的干扰,每个三角烧瓶内放入量取好的50 mL铀尾矿库渗出液,用牛皮纸包扎瓶口,将三角烧瓶放入高压蒸汽灭菌器内进行灭菌,高压蒸汽灭菌器的温度设置为121℃,灭菌时间为30 min。每个三角烧瓶内倒入50 mL灭菌培养基,接种孢子悬液,接种量为0.1%,孢子悬液的OD₆₀₀值为1.0。将三角烧瓶放置于恒温空气浴振荡培养器中进行振荡培养,转速设置为200 r/min,温度分别设定为30℃,培养时间为2 d,观察微生物繁殖情况。

1.3 结论

5种微生物OD₆₀₀值如表1所示,B1、B2、B3、B4均未形成明显菌落,B5的OD₆₀₀值较高,且能快速形成明显的菌落。考虑到砂土介质渗流较快,若微生物不能快速的形成菌落,则容易被冲走,难以达到较明显的淤堵吸附效果。综合所述,本实验采用B5进行淤堵实验。经鉴定B5为黑曲霉。

表1 微生物OD₆₀₀值变化情况汇总表

Table 1 The total table of change of Microbial OD₆₀₀ values

菌种	初始OD ₆₀₀ 值	2d后OD ₆₀₀ 值
B1	1.049 5	1.376 6
B2	1.033 0	1.180 3
B3	1.019 6	0.821 6
B4	1.032 7	1.222 5
B5	1.027 4	2.245 1

2 淤堵吸附实验

2.1 实验材料及装置

2.1.1 砂土的选择

实验用砂取自某铀尾矿库周边地下 2 m 处的

砂层.通过砂的筛分实验,测得该砂土试样颗粒组成累计曲线如图 1 所示,其中有效粒径 d_{10} 为 0.093 mm, 中值粒径 d_{50} 为 0.28 mm, 限制粒径 d_{60} 为 0.56 mm, 属于细砂且级配良好.

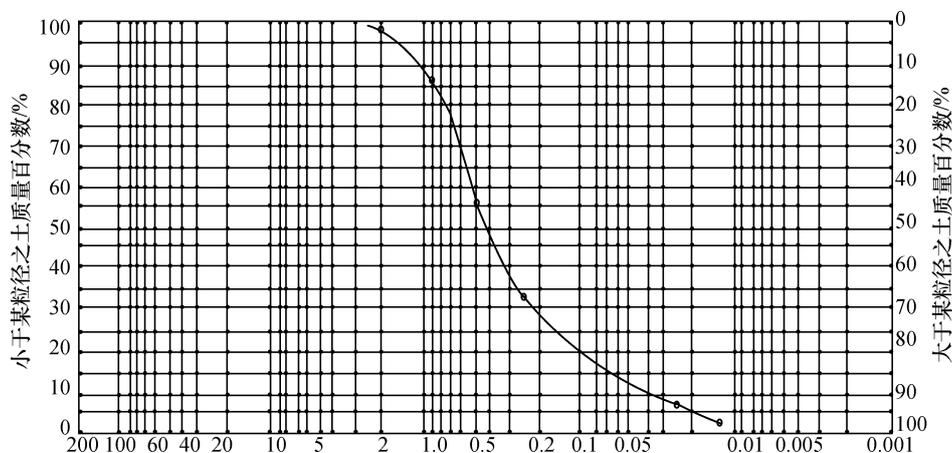


图 1 砂土试样颗粒组成累计曲线

Fig.1 The particles cumulative curves of sands sample

2.1.2 渗出液

实验所用渗出液取自某铀尾矿库废水收集井,经测定其铀酰离子浓度为 1.75 mg/L, pH=7.85.

2.1.3 黑曲霉的培养

1) 配制土豆固体培养基,将配好的培养基放置在锥形瓶中进行灭菌.灭菌完毕之后,先放在无菌室等待分装.

2) 培养皿灭菌.用牛皮纸打包灭菌,灭菌之后,将培养皿放入无菌室待用,待其降至室温后使用.

3) 分装.在培养基温度降至 50~60 °C 的时候开始分装,即在液态的情况下向培养皿中分装.

4) 待培养皿中的培养基凝固后,将培养皿倒置,防止皿盖上的冷凝水污染培养基.

5) 接种培养.接种后,放入 30 °C 恒温培养箱中倒置培养微生物.

6) 2 d 后将黑曲霉接种至液体培养基中,并放置于恒温空气浴振荡培养器中进行振荡培养,转速设置为 200 r/min,温度设定为 30 °C,培养时间为 2 d.

2.1.4 物理模型

物理模型采用左右密封的透明有机玻璃管,装置的管内径为 15 cm,长 50 cm.右侧入水口与水箱相连,左侧设置出水口,出水管为带止水阀的橡皮管.在装置顶面分别距两管端 15 cm 处连接 2

个测压管,用于测定水头差,测压管水头差可通过调节出水管侧止水阀进行控制.在装置顶部开 9 个直径为 1.5 cm 的小孔,用于通氧、灌注营养液和钻取土样.在有机玻璃管内设置 2 块孔径 1 mm 的滤网,间距 20 cm.两滤网间充填砂土,滤板至出入水口间装入粒径为 4~5 mm 的砾石,微生物淤堵物理模型如图 2~图 3 所示.

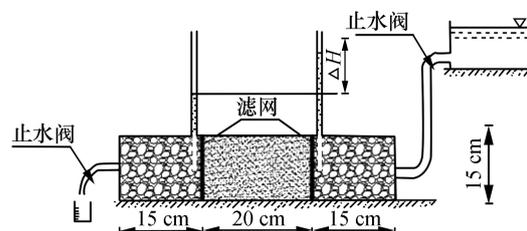


图 2 物理模型立面示意图

Fig.2 The elevation schematic diagram of physical model

2.1.5 黑曲霉、营养液灌入量和供氧量

根据相关文献^[8-9],黑曲霉孢子悬液灌入量为砂土在饱和状态下含水量的 1%,测得 10 cm³ 该砂土在饱和状态下水的质量为 30 g,即 30 mL.该装置中砂土共计 3 450 cm³,计算可得灌入量为 100 mL.

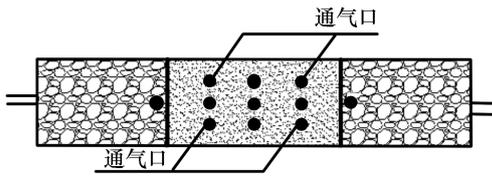


图3 物理模型平面示意图

Fig.3 The plan schematic diagram of physical model

通过先期实验,每天营养液灌入量为 500 mL 时,黑曲霉繁殖速度最快.营养液采用注射器注射和重力作用下流入相结合的方法均匀灌入.

供氧装置为鱼缸增氧泵,供氧量为 7 L/min.采用 6 根带小孔的硬质塑料管均匀插入砂土中进行连续供氧,插入深度 10 cm,塑料管和增氧泵之间用橡皮管连接.

2.1.6 实验数据测定

1) 渗透系数

在保持测压管水头差为 2 cm 的情况下,(水力坡降为 $i=2\text{ cm}/20\text{ cm}=0.1$,与实际铀尾矿库渗流水力坡降一致),运用达西定律计算渗透系数 k_i .

2) 铀酰离子浓度

每次实验在出水口收集 20 mL 的渗滤液样品,采用分光光度计法对渗滤液铀酰离子浓度进行测定.

2.2 淤堵吸附实验

打开水箱阀门,向装置中通渗液,将砂土中气体排出,使砂土达到近饱和状态.当渗水量以及测压管的水头位置达到比较稳定时,即液体形成稳定渗流(层流),测定砂土的初始渗透系数 k_0 和渗滤液的铀酰离子浓度.

关闭水箱阀门,拔出装置上部预留孔洞的胶塞,通过预留孔均匀地向砂土中加入 100 mL 黑曲霉孢子悬液和 500 mL 土豆营养液,插入供氧装置,调节出水管止水阀使液体按 5 秒 1 滴速度流出,实验过程中每天向装置中灌入 500 mL 营养液.实验初期每间隔 3 d 测定一次砂土渗透系数 k_i 和渗滤液铀酰离子浓度,一周后每间隔 7 d 测定一次,实验持续时间为 41 d.实验后,打开物理模型,对横断面进行观测,发现黑曲霉较能均匀地分布在砂土介质中.

2.3 数据分析

首先对得到的铀酰离子浓度数据按式(1)进行了处理:

$$R = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: R 为吸附率,%; C_0 为初始铀酰离子浓度,

mgU/L ; C_t 为 t 时刻的铀酰离子浓度, mgU/L .

拟合结果如图 4 所示.

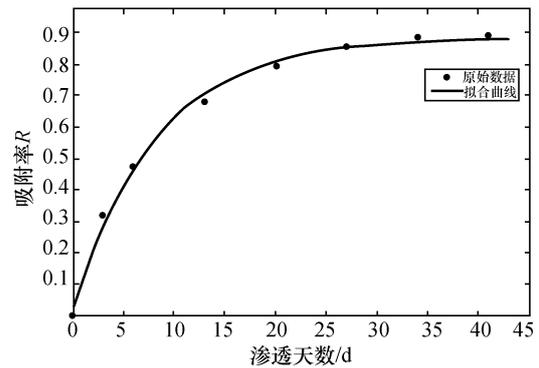


图4 吸附率与时间关系

Fig.4 The relationship of adsorption rate and time

由图 4 可知,吸附的初始阶段(1 d~9 d)吸附速率很快,吸附位点充足,一周内吸附率达到了 47%.随着吸附的进行,吸附速率减缓,有效吸附位点逐渐减少,27 d 后,黑曲霉对铀酰离子的吸附达到一个平稳的阶段.41 d 后,黑曲霉对铀酰离子的吸附率达到了 89%.由曲线可知后期吸附率基本维持在 90%左右.初始阶段起主导作用的是快速、可逆、无需能量的被动吸附,将铀酰离子吸附到微生物表面;第二阶段起主导作用的是主动吸附,将吸附于细胞表面的铀转移到细胞内部进行消化分解,此过程不可逆,需耗能且与细胞代谢有关.若是死体细胞,只进行第一阶段的吸附,活体细胞可进行第二阶段的吸附.

对于渗透率与时间的关系,使用多项式曲线拟合较为理想,如图 5.

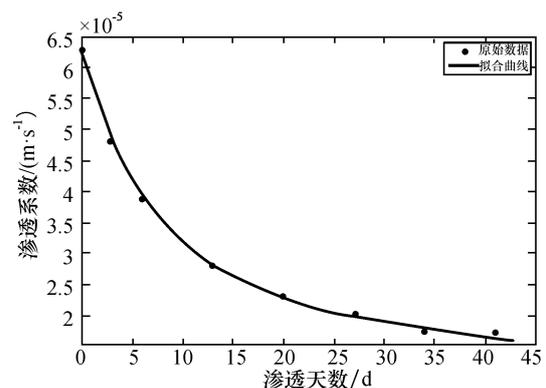


图5 渗透系数与时间关系

Fig.5 The relationship of permeability coefficient and time

由图5可知,渗透系数在前6 d内急速下降,之后曲线慢慢归于平缓.41 d后,渗透系数降到了以下,总体下降了3.6倍,效果明显.初始阶段,黑曲霉菌落生长环境宽松,营养液丰富,生长繁殖很快,很多的孔隙被淤堵,渗透系数也随之下降.随着菌落的扩大,菌数的增多,渐渐地营养液供不应求,黑曲霉的生长繁殖速度都减慢,淤堵速率也开始减慢,但淤堵仍在进行,渗透系数保持下降趋势,但下降速率已经不明显,即将达到临界值.

3 结论及讨论

本实验通过向砂土介质中注入黑曲霉进行淤堵实验探讨了放射性渗流封堵和吸附效果,得到以下结论与不足:

1) 本实验对5种土著微生物进行了培育,选取了能迅速繁殖、形成明显的菌落且能在较快渗流环境砂土介质中生存的黑曲霉进行淤堵吸附实验.

2) 在营养液充足的情况下41 d内渗透系数降低了72%,对流出物铀酰离子的吸附率达到了89%.表明在砂土介质中黑曲霉能够较为有效地对渗出液进行封堵和吸附.

3) 实验中采用的供氧装置不能对砂土进行均匀供氧,使黑曲霉在供氧不足的部位繁殖较慢,影响封堵和吸附的效果.且实际中铀尾矿库渗流为低溶氧环境,供氧问题仍需解决.

4) 实验过程中砂土中有部分黑曲霉被冲走,需对物理模型中的滤网进行改进.

参考文献:

- [1] 门永生,柴建设.我国尾矿库安全现状及事故防治措施[J].中国安全生产科学技术,2009,5(1):48-52.
- [2] 吴宗之,梅国栋.尾矿库事故统计分析及其成因研究[J].中国安全科学学报,2014,24(9):70-76.
- [3] 郑伟娜.谷壳处理含铀废水的行为及机理研究[D].衡阳:南华大学,2011.
- [4] 王建龙,刘海洋.放射性废水的膜处理技术研究进展[J].环境科学报,2013,33(10):2639-2656.
- [5] Guo H X, Cheng X H, Meng L. Experimental analysis of bio-stimulated sealing process in environmental geotechnical engineering[J]. Science China Technological Sciences, 2013, 56(3): 732-738.
- [6] Mitchell J K, Santamarina J C. Biological considerations in geotechnical engineering[J]. J Geotech Geoenviron, 2005, 131(10): 1222-1233.
- [7] 张贺超,郭红仙,李萌,等.砂土介质中微生物诱导封堵试验研究[J].工业建筑,2015,45(1):139-142.
- [8] Zhang H C, Guo H X, Li M, et al. Experiment research from macro to micro on microbial-induced clogging by adding potato soup in Beijing sand column [C]// Advances in Geotechnical Engineering Proceedings of the Geo-Frontiers 2011 Conference. Saltlake city: American Society of Civil Engineers(ASCE), 2011: 4089-4089.
- [9] 姜欢.微生物诱导碳酸钙沉积防渗堵漏的实验研究[D].济南:山东建筑大学,2014.
- [10] 贾强,杨金彪,张鑫.土壤中微生物防渗封堵技术的实验研究[J].建筑材料学报,2014,17(4):634-637.