

# NY3 菌固定化及生物膜处理含油废水的研究

聂麦茜<sup>1</sup>, 贺美丽<sup>1</sup>, 张森爰<sup>1</sup>, 王 琰<sup>2</sup>, 聂红云<sup>1</sup>, 田晓婷<sup>1</sup>, 符海林<sup>1</sup>

(1.西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055; 2.陕西省微生物研究所, 陕西 西安 710043)

**摘要:** 利用嗜油菌NY3菌的固定化生物膜处理含油废水. 用静态曝气法确定固定化时间、载体量、固定化液初始pH值. 确定生物膜处理运行的HRT, 并评估生物膜循环使用的可能性. 结果表明, 载体10 g/L, pH7.5~9.0, 固定51 h, 膜生物量达488.32 mg/g. 其处理含油废水最佳HRT为6 h, 出水油量在1.38~3.2 mg/L. 废水处理, 将载体置于营养液中培养15 d, 膜上NY3菌能将所吸附的油降解, 使其恢复活性, 并可循环利用.

**关键词:** 铜绿假单胞菌 NY3 菌; 固定化生物膜; 含油废水; 膜活性

**中图分类号:** X307

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2014)04-0572-06

目前, 含油废水处理工艺中, 采用的生物处理单元主要包括活性污泥法、生物膜法等<sup>[1]</sup>, 主要用于分解乳化油和溶解油<sup>[2-5]</sup>. 从文献报导看, 传统的生物膜法是利用石油污染水体或污染土壤中混合的菌群, 经过驯化培养及其在载体上附着生长形成生物膜<sup>[6]</sup>, 也可用预先分离出的优良菌群所形成的生物膜处理含油废水<sup>[7]</sup>. 这样形成的固定化生物膜, 一般需要 15~20 d 对菌种进行现场驯化、优化培养<sup>[3,8-9]</sup>, 因而, 生物膜不易商品化. 目前也有利用各种降解石油烃的优良菌剂, 解决海上漏油及其它原油泄漏造成的环境污染问题<sup>[1,10]</sup>. Xin Zhao 等人<sup>[11]</sup>购买 BIO-SYSTEMS Co. (USA)代号为 B350 和 B350M 的游离菌剂固定化后处理含油量为 20 mg/L 废水, 去油效率可达 86%和 94%. 上述文献中生物膜大多数是由混合菌株附着生长而形成<sup>[11-12]</sup>. 含油废水处理时, 去除油类物质是关键, 我们课题组前期获得一株铜绿假单胞菌 NY3<sup>[13]</sup>, 可耐高浓度油, 且能利用石油烃快速繁殖, 当水中含油 20%时, 240 h 内游离态 NY3 菌对其中各种烃类的去处率可达到 80%以上<sup>[14]</sup>. 实验室初步结果表明, NY3 菌能快速去除实际含油废水的烃类物质. 但使用游离态菌, 菌细胞易流失, 大量生长的菌细胞使出水浊度增大, 为了使 NY3 能顺利应用于实际含油废水处理, 本文根据初步的实验结果, 选择聚氨酯泡沫为载体, 研究单一菌株 NY3 菌附着生长条件以及固定化生物膜处理实际含油废水的可行性, 为开发单一优势菌种的固定化生物膜商品化奠定基础.

## 1 材料与方法

### 1.1 菌种来源

铜绿假单胞菌NY3, 由实验室分离并鉴定<sup>[13]</sup>.

### 1.2 聚氨酯泡沫载体

参照文献<sup>[15-16]</sup>中的方法, 先将载体制作成5 mm的立方体小块, 再用5% HCl溶液浸泡24 h, 用蒸馏水洗至中性; 然后用5% NaOH溶液浸泡24 h, 用蒸馏水洗至中性, 烘干备用.

### 1.3 试剂和培养基

制备种子液的培养基: 牛肉膏3.0 g/L, 蛋白胨10.0 g/L, NaCl 5.0 g/L, 蒸馏水1 000 mL, 调节pH值为7.3~7.5, 121 °C灭菌30 min, 待用.

NY3菌固定化培养液: 同制备种子液的培养基.

无机盐培养基: 1.3 g NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, 1 mL 微量元素<sup>[14]</sup>, 5 mL 1M MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 溶液, 4.6 mL 磷酸盐缓冲液<sup>[13]</sup>, pH 为 7.5, 用蒸馏水定容至 1 000 mL, 121 °C高压水蒸气灭菌 30 min, 备用.

### 1.4 含油废水

含油废水来自华北油田回注废水, 其水质特性如表1所示.

表 1 含油废水水质

Tab.1 Quality of oil-bearing wastewater

含油量/mg·L <sup>-1</sup>	水温/°C	pH 值	Ca <sup>2+</sup> /mg·L <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> /mg·L <sup>-1</sup>	Fe <sup>3+</sup> /mg·L <sup>-1</sup>	SS/mg·L <sup>-1</sup>
76.67	15.3	7.5	512.92	202.48	3.2537	247.58

收稿日期: 2013-12-26

修改稿日期: 2014-07-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(51278405); 陕西省国际科技合作重点项目(2012KW-25); 榆林市 2011 年产学研合作项目

作者简介: 聂麦茜 (1960-), 女, 教授, 从事微生物降解石油烃研究. E-mail: niemaqian@xauat.edu.cn

## 1.5 实验方法

(1) 菌悬液的制备: 将 NY3 菌接种于制备种子液的培养基中, 30 °C, 160 r/min, 好氧振荡 24 h, OD<sub>600nm</sub> 达到  $1.52 \pm 0.08$ , 备用.

(2) NY3 菌固定化时间的确定: 无菌条件下, 分别加入 1.0 g 已制备好的、无菌的载体于 100 mL 固定化培养液中, 接 10% NY3 菌的种子液, 于 30 °C, 151 r/min 的恒温摇床上, 好氧条件生长固定. 按照 1.6.2 的方法, 在 0、12、24、27、30、42、48、51、54、60、66、72 h 分别各取 3 个平行的固定化体系, 测定载体上的生物量以及未投加载体的反应瓶中的 OD<sub>600nm</sub> (反映未投加载体情况下, 生长液中的生物量).

(3) 载体和固定化培养液比例确定: 无菌条件下, 分别加入 0.3、0.5、0.8、1.0、1.2 g 已制备好的、无菌的载体, 于 100 mL 固定化培养液中, 然后按照 1.5 (2) 中的方法固定, 以及在最佳固定化时间下, 采集样品并测定相应的生物量.

(4) NY3 菌固定化培养液初始 pH 的确定: 无菌条件下, 按照上述确定的载体和固定化培养液最佳比例, 加已制备好的、无菌的载体, 于 100 mL 初始 pH 值分别为 6.0、7.0、7.5、8.0、9.0、10.0 的固定化培养液中, 按照 1.5 (1) (2) 的方法固定, 采集样品并测定相应的生物量.

(5) NY3 菌固定化生物膜处理含油废水实验方法: 反应器用有机玻璃制作, 有效容积为 10 L. 反应器底部布有微孔曝气器, 反应器中间隔板内装有固定化后的悬浮填料. 然后依据中华人民共和国石油天然气行业标准(SY/T0530-93)的方法测定不同水力停留时间的原油去除率. 实验装置及填充物如图 1 所示.

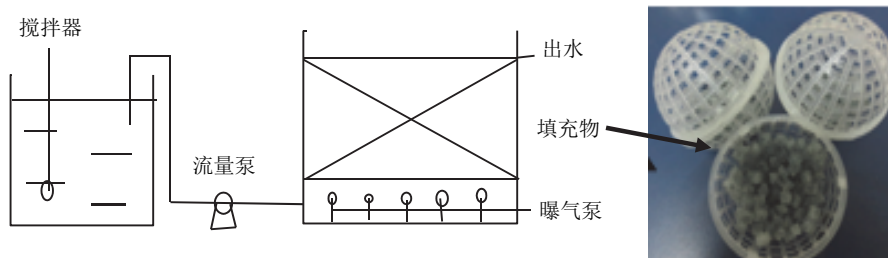


图 1 实验装置及填充物

Fig.1 Biological reactor system and filler

## 1.6 分析测试方法

(1) NY3 菌生物膜表面结构的观察: 取已在最佳固定化条件下形成的生物膜, 用 2%~4%的戊二醛溶液固定 1 h, 再用 pH 7.0 的磷酸盐缓冲液漂洗三次, 然后, 用浓度梯度不同的乙醇水溶液按从稀到浓的次序, 进行脱水处理, 最后放入临界点干燥仪 (HCP-2 型) 样品室中, 干燥后, 借助扫描电子显微镜 (SEM) 观察其表面结构.

(2) 生物量的测定: 采用干燥恒重法来表征载体上的生物量. 用 DR5000 分光光度计测定液相的 OD<sub>600nm</sub> 值, 以此表示液相的生物量.

(3) 气相色谱分析法<sup>[14]</sup>: 萃取原油后, 用正己烷溶解. 利用安捷伦 6890N 单检测器 (GC-FID) 分析样品中各组分的相对含量.

## 2 结果与讨论

### 2.1 NY3 菌固定化条件的优化结果

#### 2.1.1 固定化时间确定

按照 1.5 (2) 中的实验方法, 结果如图 2 所示. 从图 2 结果看, 在 0~30 h 内, 平行生长、但未加载体的培养液中生物量持续快速增加, 而投加载体体系中, 载体上的生物量却增长的较慢, 这是因为生长初期, 营养充足, 大量游离细胞繁殖, 随着培养时间延长, 菌细胞数目不断增加, 营养物质开始不足, 进入内源呼吸阶段, 而大量细胞呼吸也可导致培养液中溶解氧缺乏, 从而导致 NY3 菌大规模生成被膜, 附着于载体表面, 形成固定化生物膜<sup>[20-21]</sup>. 在 30~51 h 内, 载体上的生物量呈现快速上升的趋势, 培养 51 h, 载体上微生物量达到最大值, 420 mg/g, 51~72 h 之间, 载体上的生物量基本保持一定. 大量细胞附着于载体后, 液相中细胞量快速下降. 因此, NY3 菌固定化时间应确定为 51 h.

#### 2.1.2 固定化载体投加量的确定

按照 1.5 (3) 中的实验方法, NY3 菌生长 51 h 固定化结果如图 3 所示. 从图 3 结果看, 单位载体上的生

物量随着固定化培养液中载体投加量的增加而逐渐增加,与此同时,分离载体后的培养液中的 $OD_{600nm}$ 值相应的减小;当载体量达到10.0 g/L固定化液时,载体上生物量达到最大,488.32 mg/g.之后随着载体量的增加,载体上吸附的菌体量反而减少.这是因为载体量过多,易形成非均质体系,因而影响传质效果,菌体得不到充足的营养和溶解氧而不能很好地生长,部分载体得不到充分利用.因此,固定化过程中载体的最佳投加量为10 g/L固定化培养液.

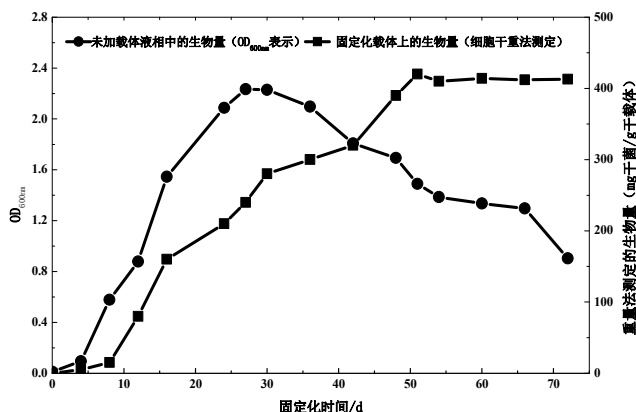


图2 NY3菌生长曲线及其与载体表面上固定化生物量随时间的变化趋势

Fig.2 Growth curve of NY3 strain and the time-dependent trend of the amount of its biomass on the surface of immobilized carrier

### 2.1.3 培养液初始pH值对载体上生物量的作用

按照1.5 (4) 中的实验方法,载体(g)与培养液(L)比值为10.0 g/L, NY3菌生长51 h固定化结果如图4所示.由图4结果看,固定化NY3菌适合固定的pH值范围很广.当培养液初始pH值在7.5~9.0范围内,单位载体上的生物量可以达到354~465 mg/g.当pH值小于6.0时, NY3菌仍能较好的生长,但载体上的生物量却较少,仅有236.86 mg/g.当pH值为10.0时, NY3菌不能很好的生长,单位载体上的生物量减少则是必然的.单位载体的固定化作用主要是吸附,偏酸或偏碱都会影响固定化效果<sup>[19]</sup>.

### 2.1.4 载体及其NY3菌固定化生物膜的表面特征

按照1.5 (1) ~ (3) 中的实验方法,利用扫描电镜(SEM)观察载体及其NY3菌固定化生物膜的表面特征,结果如图5所示.图5(a)是未固定前载体的SEM图,其表面光滑洁净,孔状结构使其具有较大的比表面积<sup>[16]</sup>,有利于微生物的着床、繁殖代谢及其耐冲击性增强,同时也有利于加快废水处理过程中污染物和营养物质的传质速度<sup>[20]</sup>.图5(b)为NY3菌在载体表面固定后的SEM图. NY3菌不均匀地分布在载体表面,并未将材料的孔隙堵塞,如图5(b)和图5(c)中箭头所示处所示.因而,对原载体比表面积影响不大,从而能保持NY3菌生物膜对废水中石油烃类物质高效的去除效果<sup>[21]</sup>.

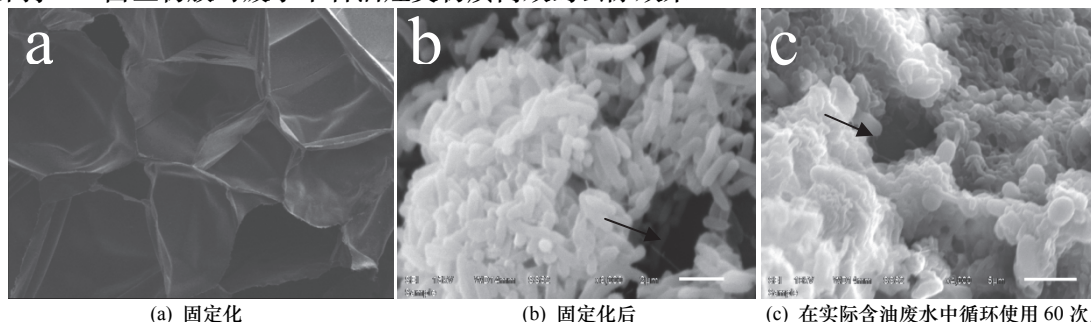


图5 载体及其 NY3 菌固定化生物膜的 SEM 图

Fig.5 SEM photos of the surface of carrier with and without immobilized NY3 strain

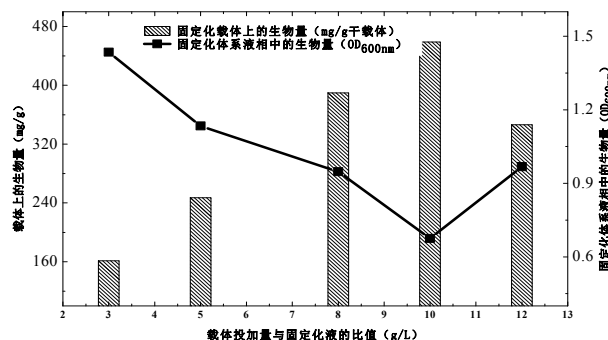


图3 NY3菌固定化生物量随载体投加量的变化曲线  
Fig.3 The curve of immobilized biomass of NY3 strain with the change of the carrier dosages

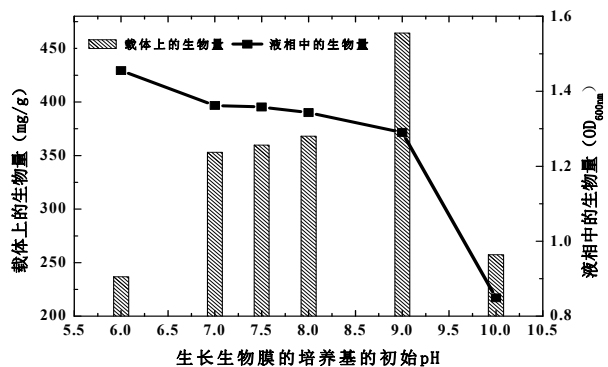


图4 载体上 NY3 菌生物量随固定化液初始 pH 值的变化趋势  
Fig.4 The variation trend of biomass of NY3 strain on the surface of carrier with the pH of immobilized medium



2.2 NY3 菌固定化生物膜对实际含油废水的处理效果

按照1.5 (3) 中的实验方法, 结果如图6所示. 从图6结果看, 当含油量为76.67 mg/L时, 运行开始, 首先设定HRT为10 h, 运行20 d, NY3菌生物膜对原油的去除率保持在75%~99.9%之间, 出水含油量最高0.77~19 mg/L. 生物膜适应了废水的温度、pH、盐度等, 设定HRT为8 h, 继续运行15 d, 生物膜对原油的去除率较高, 出水油量维持在1.38~3.2 mg/L. 设定HRT为6 h和4 h时, 生物膜完全适应了废水环境, 所以除油效果保持稳定, 均在90%以上. 故利用NY3菌生物膜处理低浓度含油废水时 (小于76.67 mg/L), 可将HRT设定为4 h.

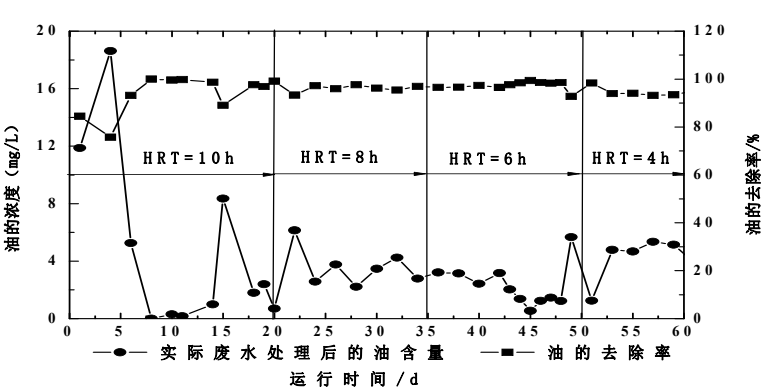


图 6 NY3 菌固定化生物膜处理含油废水各 HRT 条件下对油的去除效率  
Fig.6 The removal efficiency of immobilized bio-film of NY3 strain in treated oil-bearing wastewater at different HRT

NY3菌生物膜能在较短时间有效地降解废水中的石油. 这是因为载体将废水中的有机物大量吸附, 也将水样中溶解氧富集于其表面, 为微生物提供了降解有机物的条件<sup>[22]</sup>. 同时, 固定化NY3菌处于高度密集状态, 微生物稳定性、抗毒性增强<sup>[23]</sup>. 故NY3菌生物膜能较快降解废水中的石油并达到相对稳定状态.

2.3 NY3 菌固定化生物膜除油后的恢复实验结果

将运行 60 d 后的载体分别取两份, 各 0.2 g. 如图 7 (a) 左图中所示, 一份用石油醚萃取, 萃取液如图 7 (a) 右图中试管所示; 同时另一份放入三角瓶中, 加入营养液 (含一些少量多羟基醇类物质), 八层纱布封口后, 摇瓶振荡恢复, 10 d 后, 取出 NY3 菌生物膜载体, 如图 7 (b) 左图中所示, 用同样量的石油醚、同样方法萃取载体上的石油烃, 萃取液如图 7 (b) 右侧试管所示. 最后, 在相同条件下, 用 GC 测定烷烃组分并计算石油烃去除效率, 结果如表 2 所示.

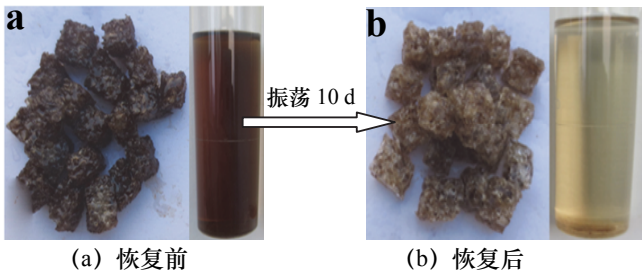


图 7 处理含油废水后的 NY3 菌生物膜恢复情况  
Fig.7 Recovery of bio-film of NY3 strain in the nutrient solution after treated oil-bearing wastewater

从图 7 (a) 可以看出, 运行60d后, 载体表面确实从废水中吸附了一定量石油烃. 但载体表面仍附着大量NY3菌株, 如图5 (c) 所示, 因此, 停止运行后, 培养液中投加一些营养物质, 但不再有石油烃负荷时, 载体上的NY3继续降解其表面吸附的石油烃, 10 d后, 载体和石油醚萃取液的颜色变浅, 如图7 (b) 所示, 说明载体表面的含油量减少. 如表2所示, 在续批式运行过程中原油被载体上的微生物不断降解, 15 d后载体上吸附的原油基本被NY3完全降解 (色谱图基本是一条和基线重合的线, 结果未列出). 因此, 运行60 d后, 载体上的NY3菌仍有很好的降解石油烃的活性. 生物膜可以进行循环利用.

表 2 含油废水中烷烃的去除效率  
Tab.2 The removal efficiency of alkanes in the oil-bearing wastewater

烷烃	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21
去除率/%	100	100	100	100	100	81.5	89.2	81.8	79.7	81.4	85.4
烷烃	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32
去除率/%	85.7	88.7	90.5	92.1	91.8	100	100	100	100	100	100

3 结论

- (1) 以牛肉膏-蛋白胨为培养基, NY3菌在聚氨酯泡沫表面能快速形成固定化生物膜. 载体与培养液比例为10 g载体/L培养液, 培养液初始pH值在7.5~9.0范围内, 培养51 h, 载体上固定化的生物量可达488.32 mg 干菌/g.
- (2) NY3菌生物膜处理含油量为76.67 mg/L实际废水, 在运行60 d内, 起初20 d内HRT=10 h, 出水含油量最高0.77~19 mg/L. 依次用HRT=8 h、6 h分别运行15 d, 除油效率均稳定, 出水中油量维持在1.38~3.2 mg/L 之间. 而HRT=4 h, 除油效率略有降低, 且不稳定. 因此, 最佳水力停留时间为6 h.
- (3) 处理含油废水过程中, 部分油吸附在膜表面未降解. 收集NY3菌生物膜载体, 并置于无机盐培养

基中继续培养15 d, 固定化NY3菌能将所吸附的油降解, 使生物膜恢复活性, 可循环利用。

## 参考文献

## References

- [1] 沈齐. 含油废水处理概况[J]. 北京石油化工学院学报, 2006, 14(3):35-38.  
SHEN Qi. A profile of oily wastewater treatment[J]. Journal of Beijing Institute of Petro-chemical Technology, 2006, 14(3):35-38.
- [2] 张文林, 李春利, 侯凯湖. 含油废水处理技术研究进展[J]. 化工进展, 2005, 24(11):1239-1243.  
ZHANG Wenlin, LI Chunli, HOU Kaihu. The research progress of oily wastewater treatment technology[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2005, 24(11):1239-1243.
- [3] 李伟光, 李欣, 朱文芳. 固定化生物活性炭处理含油废水的试验研究[J]. 哈尔滨商业大学学报:自然科学版, 2004, 20(2):187-190.  
LI Weiguang, LI Xin, ZHU Wenfang. Study on treatment of oil wastewater with immobilized biological activated carbon[J]. Journal of Harbin University of Commerce: Natural Sciences Edition, 2004, 20(2):187-190.
- [4] 湛美, 陈丹. 固定化菌剂处理含油废水的试验研究[J]. 环境保护科学, 2011, 37(5):23-47.  
ZHAN Mei, CHEN Dan. Experimental study on treatment of oil wastewater with immobilized agents[J]. Environmental Protection Science, 2011, 37(5):23-47.
- [5] ZHANG Zhengzhi, HOU Zhaowei, YANG Chunyu. etc. Degradation of n-alkanes and polycyclic aromatic hydrocarbons in petroleum by a newly isolated *Pseudomonas aeruginosa* DQ8[J]. Bioresource Technology, 102:4111-4116.
- [6] KUN Tong, ZHANG Yihe, GUO hua, ZHENG fang, et al. Treatment of heavy oil wastewater by a conventional activated sludge process coupled with an immobilized biological filter[J]. International Bio-deterioration & Biodegradation, 2013, 84:65-71.
- [7] ABALOS A, VINAS M, SABATE J, et al. Enhanced biodegradation of Casablanca crude oil by a microbial consortium in presence of a rhamnolipid produced by *pseudomonas aeruginosa* AT10[J]. Biodegradation, 2004, 15:249-260.
- [8] 杨二辉, 李大平. 高温优势菌生物膜法处理含油污水的中试[J]. 环境工程, 2004, 22(3):11-13.  
YANG Erhui, LI Daping. Study on the treatment of oily wastewater with biofilm by high temperature dominant bacteria[J]. Environment Engineering, 2004, 22(3):11-13.
- [9] 叶正芳, 倪晋仁. 污水处理的固定化微生物与游离微生物性能的比较[J]. 应用基础与工程科学学报, 2002, 10(14):2-7.  
YE Zhengfang, NI Jinren. Comparison of wastewater by immobilized microbial treatment and free microbial properties[J]. Journal of Basic Science and Engineering Application, 2002, 10(14):2-7.
- [10] 赵昕, 汪严明, 叶正芳. 复合工程菌 B350 处理采油废水的反应动力学特征[J]. 中国给水排水, 2006, 22(17):70-73.  
ZHAO Xi, WANG Yanming, YE Zhengfang. Reaction kinetics of treatment of wastewater B350 composite microbial engineering[J]. Chinese Water Supply and Drainage, 2006, 22(17):70-73.
- [11] XIN Zhao, YAN Ming, WANG Zhengfang. Oil field wastewater treatment in biological aerated filter by immobilized microorganisms[J]. Process Biochemistry, 2006, 41, 1475-1483.
- [12] 谷妮娜. 固定化微生物技术处理含油废水的研究[D]. 沈阳:东北大学, 2005.  
GU Nina. Study on the Immobilized microorganism technology for oily wastewater treatment[D]. Shenyang: Northeastern University, 2005.
- [13] NIE Maiqian, YIN Xihou, REN Chunyan, et al. Novel rhamnolipid biosurfactants produced by a polycyclic aromatic hydrocarbon-degrading bacterium *Pseudomonas aeruginosa* strain NY3[J]. Biotechnology Advances, 2010, 28:635-643.
- [14] 常虹, 聂麦茜, 葛碧洲. 铜绿假单胞菌 NY3 所产表面活性剂对原油降解的影响[J]. 环境工程学报, 2013, 7(2):771-776.  
CHANG Hong, NIE Maiqian, GE Bizhou. Effects of surfactant on oil degradation by *pseudomonas aeruginosa* NY3[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2013, 7(2):771-776.
- [15] MANOHAR S, KIM C K, KAREGOUDAR T B. Enhanced degradation of naphthalene by immobilization of *pseudomonas* sp. strain NGK1 in polyurethane foam[J]. APPI. Microbiol. Biotechnol, 2001, 55(3):311-316.
- [16] 刘献玲. 固定化热带假丝酵母降解苯酚的实验与理论研究[D]. 天津:天津大学, 2006.  
LIU Xiuling. Study on the experiment and theoretical by immobilized candida tropical on phenol degradation[D]. Tianjin: Tianjin University, 2006.
- [17] 屈常林, 高洪, 赵宝洪. 细菌生物被膜与抗生素耐药机制研究进展[D]. 动物医学进展, 2008, 29(3):86-90.  
QU Changlin, GAO Hong, ZHAO Baohong. Bacterial biofilm and antibiotic resistance mechanisms is reviewed[D]. Progress in Veterinary Medicine, 2008, 29(3):86-90.
- [18] 李彤, 庄辉. 细菌生物膜的研究进展[J]. 中华微生物学和免疫学杂志, 2002, 22(3):343-346.  
LI Tong, ZHUANG Hui. The research progress of bacterial biofilm[J]. The Chinese Journal of Microbiology and Immunology, 2002, 22(3):343-346.
- [19] 刘虹, 张兰英, 吴宇航. 泥炭对石油降解菌最佳固定化条件的研究[J]. 吉林化工学院学报, 2011, 28(1):26-28.  
LIU Hong, ZHANG Lanying, WU Yuhang. Study on the best immobilized conditions of oil degradation bacteria about peat[J]. Journal of Ji Lin Institute of Chemical Technology, 2011, 28(1):26-28.
- [20] 周林成, 李彦锋. 大孔载体固定化微生物处理污水研究[J]. 离子交换与吸附, 2007, 23(6):531-539.  
ZHOU Lincheng, LI Yanfeng. Study on the oil wastewater treatment by macroporous carrier immobilized microorganism[J]. Ion Exchange And Adsorption, 2007, 23(6):531-539.
- [21] LI P J, WANG X, SGNITTNI Fetal. Degradation of phenanthrene and pyrene in slurry reactors with immobilized bacteria *zoogloea* sp[J]. Environmental Engineering Science, 2005, 22(3):390-399.
- [22] SCHOLZ M, MARTIN R J. Ecological equilibrium on biological activated carbon[J]. Water Science and Technology, 1997, 31(12):2959-2968.
- [23] 周珊, 胡泽友, 喻景权. 竹炭固定化假单胞菌处理含酚废水的研究[J]. 高校化学工程学报, 2008, 22(5):889-894.

ZHOU Shan, HU Zeyou, YU Jingquan. Biodegradation of phenol wastewater by pseudomonas sp. immobilized on bamboo-carbon [J]. Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities, 2008, 22(5):889-894.

## Study on immobilization of NY3 and treatment of oil-bearing wastewater using bio-film

NIE Maiqian<sup>1</sup>, HE Meili<sup>1</sup>, ZHANG Senyuan<sup>1</sup>, WANG Yan<sup>2</sup>, NIE Hongyun<sup>1</sup>, TIAN Xiaoting<sup>1</sup>, FU Hailin<sup>1</sup>

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;  
2. Shaanxi Province Institute of Microbiology, Xi'an 710043, China)

**Abstract:** Treatment of oil-bearing wastewater by using immobilized bio-film of NY3 strain was studied. The immobilization time, the optimum dosage of carrier, and the initial pH of immobilized culture for NY3 strain to be immobilized on surface of polyurethane foam carrier were studied by using static aeration. The optimum HRT was determined. Also the possibility of recycle of the bio-film was studied. The results showed that immobilized bio-film of NY3 strain could quickly form within 51 h under dosage of carrier was 10.0 g/L (culture medium), the initial pH of immobilized culture was 7.5~9. The maximum amount of biomass on bio-film reached 488.32 mg/g. The optimum HRT for treating oil-bearing wastewater is 6 h, and the concentrations of oil in effluent kept in range of 1.38-3.2 mg/L. After treatment, the biofilm collecting into culture medium without oil was incubated 15 d, NY3 strain on the bio-film degraded the adhered petroleum and the bio-film was recovered for recycling.

**Key words:** *Pseudomonas aeruginosa* NY3; immobilized bio-film; oil-bearing wastewater; activity of bio-film

(本文编辑 桂智刚)

(上接第 545 页)

## Study on the model test of lattice beam anchor

Deng Juntao<sup>1,2</sup>, WANG Juanjuan<sup>1</sup>, MEN Yuming<sup>3</sup>

(1. School of Civil Engineering Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China; 2. China Jikan Geotechnical Institute, Xi'an 710043, China. 3. Geology Engineering and Geomatics College of Chang'an University, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** This paper discussed the stress characteristics and rules about anchor lattice beam based on the scientific indoor model test. This test has load on the tailing edge of the slope, get the press and strain distribution of the bottom soil of the lattice beam by the pressure cell and strain gauge put on the lattice beam. The result shows that with the increase of load pressure, the press and strain on the lattice beam increases, but the press on the cantilever end and mid-span of the lattice beam became diminished and the strain increased. On the other hand, the press on the cross of the lattice beam became greater and the strain became diminished. Overall the press and strain distribution on the lattice beam present to be of a triangle type.

**Key words:** anchor lattice beam; model test; force distribution.

(本文编辑 吴海西)