

## 混合菌株对三溴苯酚的降解特性\*

程莎莎<sup>1</sup> 王淮<sup>1,2\*\*</sup> 姚日生<sup>1,2</sup> 朱慧霞<sup>1,2</sup>

(1. 合肥工业大学医学工程学院, 合肥, 230009; 2. 合肥工业大学农产品生物化工教育部工程研究中心, 合肥, 230009)

**摘要** 为提高有害物质2,4,6-三溴苯酚(TBP)的有效生物降解效果,在比较了不同菌株对TBP的降解状况的基础上,着重考察了诱变菌株TBPY UMP-f与粘质沙雷氏菌株SMA混合降解TBP的效果.结果表明,混合菌株比单一菌株降解效果好.考察影响混合降解相关因素的结果表明,适宜条件为两菌接种比例1:1,SMA适于在TBPY UMP-f接种22 h后添加,最适pH 7.0,温度30 ℃,装液量60 mL,摇床转速175 r·min<sup>-1</sup>.在此条件下,作用2 d混合菌株对100 mg·L<sup>-1</sup> TBP的降解率达到96.5%.在研究范围内,混合降解TBP的浓度可达600 mg·L<sup>-1</sup>,是已知报道的2倍,且4 d内降解率可达65.3%.

**关键词** 铜绿假单胞菌,粘质沙雷氏菌,混合降解,三溴苯酚.

随着我国合成树脂工业和医药工业的快速发展,作为多用途溴系阻燃剂、消毒防腐药以及新型医药产品重要中间体的三溴苯酚(TBP),其需求量日益增大<sup>[1]</sup>.然而,三溴苯酚自然降解性差,加之生物积累性强,导致动物生殖系统发生病变,对水环境和人类健康造成的威胁使人们更加关注其治理问题<sup>[2-4]</sup>.由于生物法具有成本低廉、二次污染小等优势<sup>[5]</sup>,比物理和化学法更受青睐.而在此类方法中,微生物的降解能力是决定性因素.目前国内关于降解TBP的微生物尚未见报道,国外已报道的也只有少数菌株,包括无色杆菌 *Achromobacter piechaudii* TBPZ<sup>[6]</sup>、腐物寄生性真菌 *Trametes versicolor* 和 *Agaricus augustus*<sup>[7]</sup>、苍白杆菌 *Ochrobactrum* sp. TB01<sup>[8]</sup>.

本实验室在前期研究中,从含酚污泥中筛选到一株可以降解TBP的菌株,经鉴定为铜绿假单胞菌株 *Pseudomonas aeruginosa* TBPY(基因库登入号 FJ804740),虽能与本实验室保藏的粘质沙雷氏菌 SMA 共同降解TBP,100 mg·L<sup>-1</sup> TBP 3 d内降解率达到67%<sup>[9]</sup>,但混合菌株对TBP的降解效率仍较低,可耐受的TBP浓度较小,而且TBPY菌株降解TBP的稳定性很差.因此,对TBPY菌株进行了紫外-微波-等离子体逐级诱变,得到了对TBP降解能力、降解稳定性和耐受性均有较大提高的菌株TBPY UMP-f.在前期研究中,发现菌株TBPY在降解TBP过程中产生酚结构中间体<sup>[10]</sup>,而菌株SMA能够很好地降解诸如对苯二酚类物质<sup>[11]</sup>.本文在此基础上,考察菌株TBPY UMP-f与SMA混合降解TBP的状况.

## 1 材料和方法

### 1.1 菌种及培养基

菌种:粘质沙雷氏菌株SMA,来自于实验室保藏菌株;铜绿假单胞菌株TBPY,来自于实验室保藏菌株;铜绿假单胞菌株TBPY UMP-f,由菌株TBPY经20 W紫外辐照2.5 min获得菌株TBPY UV-e,再经800 W微波诱变7 s和等离子体诱变45 s得到.

种子培养基:牛肉膏,3.0 g;蛋白胨,10.0 g;NaCl,5.0 g;TBP,0.10 g;蒸馏水,1000 mL,pH 7.0.

无机盐培养基:K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·3H<sub>2</sub>O,6.0 g;KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>,0.5 g;MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O,0.4 g;(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,2.5 g;MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O,0.056 g;FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O,0.01 g;CaCl<sub>2</sub>,0.022 g;蒸馏水1000 mL.其中MgSO<sub>4</sub>和(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>分别灭菌后加入.

降解培养基:含无机盐培养基和一定量的TBP乙醇溶液(TBP乙醇溶液浓度为40 mg·mL<sup>-1</sup>,无特别说明时降解培养基中TBP浓度为100 mg·L<sup>-1</sup>).

2010年11月4日收稿.

\* 安徽高校省级自然科学研究重点项目(KJ2009A086);合肥工业大学博士专项(2007GDBJ030)资助.

\*\* 通讯联系人, Tel: +86-0551-2901771; Fax: +86-0551-2904675; E-mail: whuai76@gmail.com

实验菌种经种子培养基活化至对数期后,再经两次离心( $6000 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 、10 min),使菌体悬浮于生理盐水中( $\text{NaCl}$ , 0.85%),调整种子液菌体浓度为  $\text{OD}_{600} = 2.0$ ,用于以下试验。

## 1.2 TBP 降解试验

### 1.2.1 单一菌株和混合菌株对 TBP 的降解试验

以 1% 的总接种量(混合菌株的两菌接种量分别为 0.5%)将种子液接种至装有降解培养基的 250 mL 摇瓶中,置于  $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $150 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$  的恒温摇床避光振荡培养,每隔 24 h 取样测定 TBP 浓度,从而考察菌株 TBPY、TBPY UMP-f、SMA 以及混合菌株 TBPY UMP-f 与 SMA 对  $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  TBP 的降解效率。

### 1.2.2 各因素对混合菌株降解 TBP 的影响

考察混合菌株降解 TBP 的影响因素,包括 TBPY UMP-f 与 SMA 的接种比例(3:1、2:1、1:1、1:2、1:3)、SMA 接种时间间隔(0 h、12 h、22 h、30 h、36 h)、培养温度( $24 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $27 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $33 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $36 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )、培养基初始 pH 值(6.0、7.0、7.5、8.0、9.0)、摇瓶装液量(60、80、100、120、140 mL)以及摇床转速( $100$ 、 $125$ 、 $150$ 、 $175$ 、 $200 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ ),在优化条件下,研究混合菌株对不同浓度 TBP 的降解能力。

## 1.3 分析方法

菌体浓度用 600 nm 处的吸光度值( $\text{OD}_{600}$ )表示,检测仪器为 WFZ800-D3B 型紫外可见分光光度计。

TBP 浓度的检测采用高效液相色谱法。待测样用  $0.22 \text{ }\mu\text{m}$  的混合纤维素脂膜过滤后,进高效液相色谱(HPLC)分析。Waters 高效液相色谱仪,1515 型高压输液泵,手动进样器,2487 紫外双波长检测器, Breeze 色谱工作站。色谱柱为 Symmetry  $\text{C}_{18}$  柱( $5 \text{ }\mu\text{m}$ ,  $4.6 \text{ mm i. d.} \times 150 \text{ mm}$ )。流动相:A 相(1% 的乙酸甲醇溶液);B 相( $0.18 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的乙酸铵缓冲溶液) = 75:25 (V:V);检测波长:298 nm;流速:  $1.0 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ,进样量为  $25 \text{ }\mu\text{L}$ ;柱温  $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。其中以  $X$  表示 TBP 浓度, $Y$  表示 TBP 峰面积,经线性回归得到直线方程为: $Y = 13699.0X + 11005.8$  ( $R = 0.99991$ )。

$$\text{TBP 降解率计算公式: } E_1 = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\%$$

式中, $E_1$  为 TBP 降解率,%; $C_0$  为 TBP 初始浓度, $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ; $C_e$  为 TBP 被降解一定时间后剩余浓度, $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

$$\text{TBP 初始降解速率计算公式: } E_2 = \frac{C_{0\text{h}} - C_{24\text{h}}}{24}$$

式中, $E_2$  为 TBP 初始降解速率, $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ; $C_{0\text{h}}$  为 TBP 初始浓度, $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ; $C_{24\text{h}}$  为 TBP 被降解 24 h 后的剩余浓度, $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

## 2 结果与讨论

### 2.1 单一菌株和混合菌株对 TBP 的降解

将单一菌株 SMA、TBPY、TBPY UMP-f 以及混合菌株(TBPY UMP-f 与 SMA),分别以 1% 总接种量接种于含有  $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  TBP 的降解培养基中,降解结果见图 1。单一菌株中,诱变后的菌株 TBPY UMP-f 降解效果最好,3 d 内单一菌株 TBPY UMP-f 对 TBP 的降解率为 80.5%,而菌株 SMA 对 TBP 无明显的降解效果,仅为 5.7%。但是与混合菌株降解效果相比较可知,无论是第 1 天、第 2 天还是第 3 天,混合菌株降解效果均要优于所考察的单一菌株降解效果,3 d 内混合菌株降解率达到 87.5%,这表明两菌混合可提高对 TBP 的降解效率。

### 2.2 各因素对菌株 TBPY UMP-f 与 SMA 混合降解 TBP( $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 的影响

#### 2.2.1 菌株 TBPY UMP-f 与 SMA 接种比例

以 1% 的总接种量将相同浓度的 TBPY UMP-f 和 SMA 种子液,分别以 3:1、2:1、1:1、1:2、1:3 接种比例接种于降解培养基中,2 d 后测菌体生长量和 TBP 降解率,结果见图 2,随着 SMA 在总接种量中接种比例的增大,TBP 的降解率呈先升后降趋势,当 TBPY UMP-f 种子液与 SMA 种子液以 1:1 接种比例接种于降解培养基时,混合菌株对 TBP 的降解率最高,达到 77.5%。对这一结果,结合前期研究成果<sup>[10-11]</sup>,推测可能的原因是,菌株 TBPY UMP-f 在降解 TBP 过程中产生可被 SMA 降解的酚结构中间体,当菌株 TBPY UMP-f 的接种比例大时,起始阶段 TBP 虽能顺利降解为酚类中间产物,但这些中间产物的快速积

累影响了 TBP 的进一步降解,使得 TBP 降解率较低;而当菌株 TBPY UMP-f 的接种比例减小,明显小于 SMA 接种比例时,因 TBP 无法被少量的菌株 TBPY UMP-f 充分降解为 SMA 可利用降解的中间产物,致使 TBP 的降解速率显著下降,TBP 降解率低.因此,在两菌混合降解 TBP 时,必须保持一个适当的接种比例(两者比例为 1:1),方能实现对 TBP 的快速有效降解.

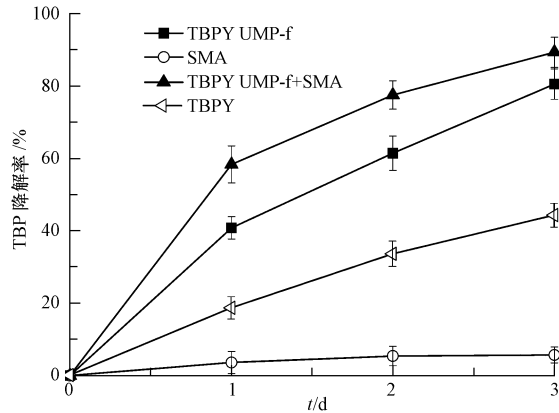


图 1 单一菌株和混合菌株对  $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  TBP 的降解

反应条件:  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $150 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $\text{pH} 8.0$ , 装液量  $80 \text{ mL}$

Fig. 1 Biodegradation of  $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  TBP with single or mixed strains

### 2.2.2 菌株 TBPY UMP-f 与 SMA 接种时间间隔

两株菌株 TBPY UMP-f 和 SMA 按 1:1 接种比例接种于降解培养基中,先接入  $0.5\%$  TBPY UMP-f 种子液,分别间隔  $0 \text{ h}$ 、 $12 \text{ h}$ 、 $22 \text{ h}$ 、 $30 \text{ h}$ 、 $36 \text{ h}$  再接种  $0.5\%$  SMA 种子液,2 d 后测各培养基中的菌体生长量和 TBP 浓度,结果如图 3 所示,在设定的时间间隔内,间隔  $22 \text{ h}$ ,TBP 降解率最高,为  $84.8\%$ ,其次是  $12 \text{ h}$  和  $0 \text{ h}$ . 出现这种结果可能是因为  $1 \text{ d}$  内 TBPY UMP-f 降解 TBP 得到的中间产物还不足以抑制 TBPY UMP-f 对 TBP 的继续降解;而  $1 \text{ d}$  之后积累的中间产物的量达到了抑制 TBPY UMP-f 继续降解 TBP 的程度,而利用 SMA 降解中间产物来消除这种抑制效应还需要一定的时间,这些都影响了混合菌株对 TBP 的降解效果,所涉及的混合降解机制尚在进一步的研究中.

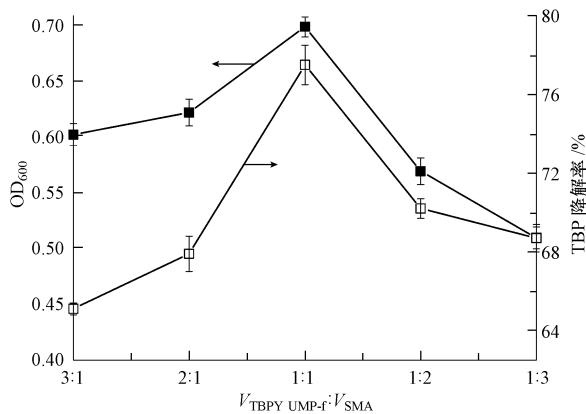


图 2 TBPY UMP-f 与 SMA 接种比例对混合菌株降解  $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  TBP 的影响  
反应条件: 同时接种,  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $150 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $\text{pH} 8.0$ , 装液量  $80 \text{ mL}$

Fig. 2 Effect of inoculation proportion of TBPY UMP-f and SMA on biodegradation of  $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  TBP with mixed strains

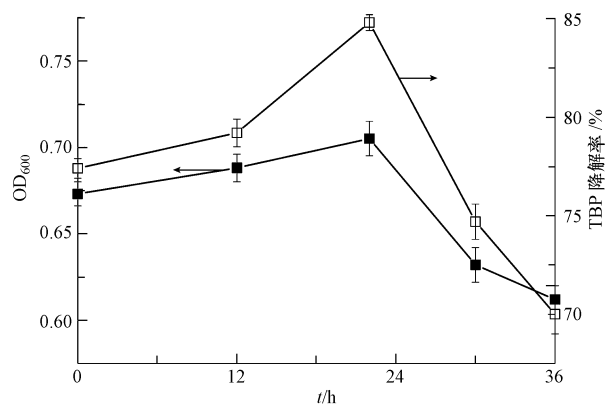


图 3 SMA 接种时间间隔对混合菌株降解  $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  TBP 的影响  
反应条件: 接种比 1:1,  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $150 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $\text{pH} 8.0$ , 装液量  $80 \text{ mL}$

Fig. 3 Effect of inoculation interval of SMA on biodegradation of  $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  TBP with mixed strains

### 2.2.3 培养温度

温度对菌体培养和有害物质的降解有较大的影响,因为温度与菌体酶活密切相关,为此本文考察了不同温度对 TBPY UMP-f 与 SMA 混合降解 TBP 的影响,结果见图 4. 当培养温度低于 30 °C 时, TBP 的初始降解速率随温度升高而增大, 30 °C 时达到  $2.385 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , 在此条件下, 发酵 2 d 可使  $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  TBP 的去除率达到 84.5%; 而温度继续升高, 混合菌株对 TBP 的初始降解速率和降解率骤降. 由此可知, 温度对于混合菌株的培养和 TBP 的降解有很大影响, 若在工业废水处理中, 可通过循环水加热或冷却等方式控制培养温度以保证 TBP 的生物降解速度最快.

### 2.2.4 培养基初始 pH

以  $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  HCl 溶液和 NaOH 溶液调节培养基 pH 值分别为 6.0、7.0、7.5、8.0、9.0, 考察培养基初始 pH 对混合菌株降解 TBP 的影响, 结果见图 5. 随着培养环境初始 pH 由酸性变中性再变碱性, 混合菌株对 TBP 的初始降解速率和降解率呈现出增大再减小的变化, 当  $\text{pH} = 7.0$  时, TBP 的初始降解速率最大, 达到  $2.518 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , 2 d 降解率为 89.0%. 说明偏中性环境利于混合菌株降解 TBP, 在前期研究中发现菌株 TBPY UMP-f 与 SMA 的最适生长 pH 值分别为 8.0 和 7.0, 这可能是两菌共存生长时, 对环境的 pH 适应性达到一种协调的结果.

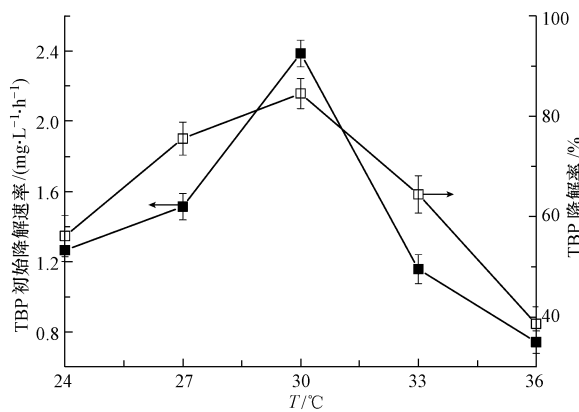


图 4 培养温度对混合菌株降解  $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  TBP 的影响

反应条件: 接种间隔 22 h, 接种比 1:1, pH 8.0,  $150 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ , 装液量 80 mL

Fig. 4 Effect of temperature on biodegradation of  $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  TBP with mixed strains

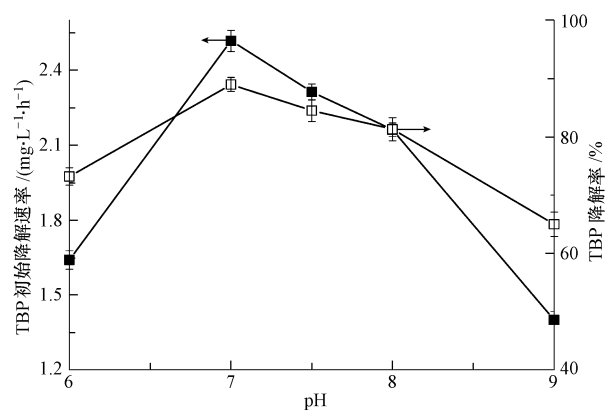


图 5 培养基初始 pH 对混合菌株降解  $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  TBP 的影响

反应条件: 接种间隔 22 h, 接种比 1:1, pH 8.0,  $150 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ , 装液量 80 mL

Fig. 5 Effect of initial pH on biodegradation of  $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  TBP with mixed strains

### 2.2.5 摇瓶装液量

菌株 TBPY UMP-f 与 SMA 均为好氧菌, 在摇瓶实验中可以通过改变装液量调节氧供给, 用以调节好氧菌的生长与相应的活性. 由图 6 可见, 装液量越小, TBPY UMP-f 与 SMA 对 TBP 的初始降解速率和降解率越大, 装液量为 60 mL 时, 混合菌株对 TBP 的初始降解速率达到  $2.545 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , 2 d 内降解率为 90.7%. 这表明小装液量, 可以充分提供好氧菌株生长所需的氧, 使其很好地利用 TBP 为碳源和能源快速生长.

### 2.2.6 摇床转速

摇床转速对于需氧发酵影响较大, 因为气态氧必须先溶解于培养液中, 然后才可能传递到细胞表面, 再经过扩散作用进入细胞内, 参与菌体内的氧化等生物化学反应. 因此, 本研究考察了不同转速对混合菌株 TBPY UMP-f 以及 SMA 降解 TBP 的影响. 由图 7 可知, 当转速由  $100 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$  增大至  $175 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$  时, 混合菌株的生长速度加快, 对 TBP 的初始降解速率由  $1.559 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  上升至  $2.713 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , TBP 降解率也相应地由 68.7% 提高至 96.5%; 而当转速继续增大至  $200 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$  时, 混合菌株对 TBP 的初始降解速率和降解率分别下降至  $1.432 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  和 72.3%. 说明摇床转速过小, 溶解氧浓度无法达到菌体生长和生物转化所需; 而转速过大, 强烈搅拌产生的细胞剪切损伤增大, 造成菌的生长受限, 对

TBP 的降解效率降低. 因此, 在此混合菌株降解 TBP 过程中,  $175 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$  为适宜转速.

### 2.3 混合菌株对不同初始浓度 TBP 的降解

将菌株 TBPY UMP-f 和 SMA 接种于含不同浓度 TBP 的降解培养基中, 培养 4 d, 间隔 24 h 测定菌体生长量和 TBP 剩余浓度, 结果如图 8 所示. 当 TBP 浓度低于  $400 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  时, 混合菌株生长量迅速增大, 说明混合菌株能够快速利用该浓度范围的 TBP 为碳源和能源生长; 当 TBP 浓度继续增大, 其毒性抑制菌体生长, 使混合菌株生长速度减慢, 以至于 TBP 浓度上升至  $700 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  时, 混合菌株不再生长. 但对于  $600 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  TBP, 4 d 混合菌株对其降解率仍能达到 65.3%, 是已知报道的 2 倍<sup>[12]</sup>.

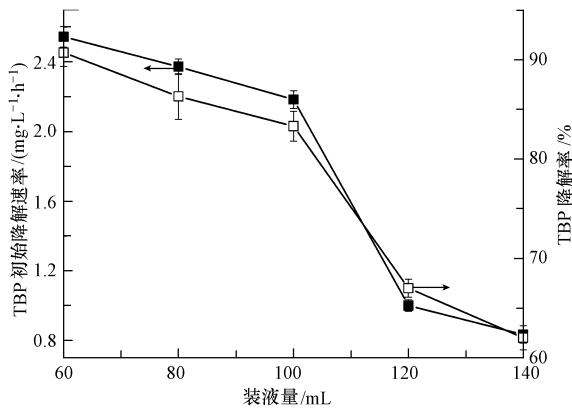


图 6 摇瓶装液量对混合菌株降解  $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  TBP 的影响

反应条件: 接种间隔 22 h, 接种比 1:1,  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $150 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ , pH 7.0

Fig. 6 Effect of liquid volume on biodegradation of  $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  TBP with mixed strains

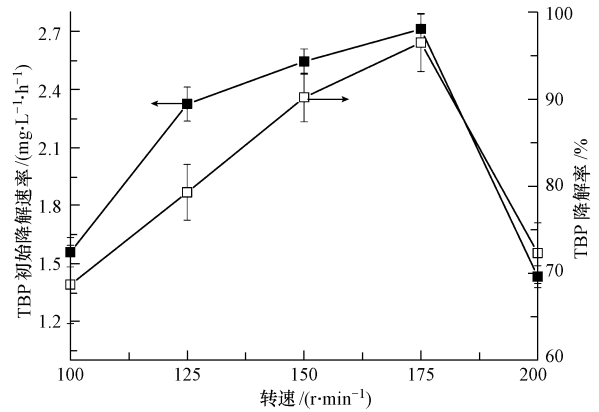


图 7 摇床转速对混合菌株降解  $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  TBP 的影响

反应条件: 接种间隔 22 h, 接种比 1:1,  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , pH 7.0, 装液量 60 mL

Fig. 7 Effect of shaker rotary speed on biodegradation of  $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  TBP with mixed strains

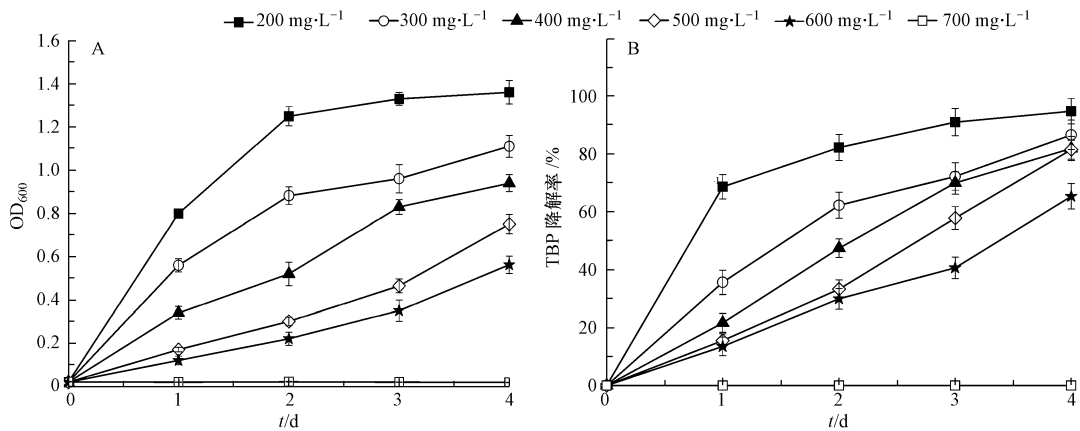


图 8 混合菌株对不同浓度 TBP 的降解

反应条件: 接种间隔 22 h, 接种比 1:1,  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $175 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ , pH 7.0, 装液量 60 mL

Fig. 8 Biodegradation of TBP with the concentration from  $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  to  $700 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  with mixed strains

## 3 结论

铜绿假单胞菌株 TBPY UMP-f 与粘质沙雷氏菌株 SMA 混合降解 TBP 的效果优于单菌降解效果. 对于各因素的考察表明, 在利用混合菌株降解 TBP 时, 各相关因素最适宜的值分别为: TBPY UMP-f 与 SMA 以 1% 的总接种量按 1:1 的接种比例, 间隔 22 h 接种, pH 7.0, 装液量 60 mL,  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $175 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ .

在此条件下,作用 2 d,混合菌株对  $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  TBP 降解率可达 96.5%;对浓度为  $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  的 TBP 作用 4 d,降解率高达 65.3%,是已知报道的 2 倍。

本文的研究结果初步表明,混合菌株有望凭借代谢途径和耐受能力等方面的优势,高效降解有毒有害物质,不仅增加了可处理的污染物种类,也拓宽了可处理的浓度范围。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] 田玉平,吴建军,王东辉,等.气相色谱-质谱联用法测定塑料产品中的溴系阻燃剂[J].化学世界,2007,28(11):652-653,677,683
- [ 2 ] Turi-Szerletics M, Patko I. Environmental contaminants in foodstuffs[J]. Acta Polytech Hun, 2008, 5 (3):135-140
- [ 3 ] Rawalpally T, Ji Y H, Shankar A, et al. A practical method for stabilizing lithiated halogenated aromatic compounds[J]. Org Process Res Dev, 2008, 12 (6): 1293-1298
- [ 4 ] Miyake Y, Jiang Q, Yuan W, et al. Preliminary health risk assessment for polybrominated diphenyl ethers and polybrominated dibenzo-*p*-dioxins/furans in seafood from Guangzhou and Zhoushan China[J]. Mar Pollut Bull, 2008, 57(6/12): 357-364
- [ 5 ] 彭丽花,任源,邓留杰,等.间甲酚降解菌 *Citrobacter farmeri* 的降解特性及代谢途径解析[J].环境化学,2009,28(1):44-48
- [ 6 ] Ronen Z, Visnovsky S, Nejdat A. Soil extracts and co-culture assist biodegradation of 2,4,6-tribromophenol in culture and soil by an auxotrophic *Achromobacter piechaudii* strain TBPZ[J]. Soil Biol and Biochem, 2005, 37 (9):1640-1647
- [ 7 ] Donoso C, Becerra J, Martinez M, et al. Degradative ability of 2,4,6-tribromophenol by saprophytic fungi *Trametes versicolor* and *Agaricus augustus* isolated from Chilean forestry[J]. World J Microbiol Biothechnol, 2008, 24 (7):961-968
- [ 8 ] Yamada T, Takahama Y, Yamada Y. Biodegradation of 2,4,6-tribromophenol by *Ochrobactrum* sp. Strain TB01 [J]. Biosci Biothechnol Biochem, 2008, 72 (5):1264-1271
- [ 9 ] 王淮,程莎莎,姚日生.铜绿假单胞菌 TBPY 与黏质沙雷氏菌 SMA 协同降解三溴苯酚的特性[J].化工进展,2009,28(S2):192-195
- [ 10 ] 于莹.双酚 A 与 2,4,6-三溴苯酚的生物降解研究[D].合肥:合肥工业大学硕士学位论文,2009:48-53
- [ 11 ] 何炜静.等离子体诱导筛选降解高浓度对苯二酚的突变株及其降解特性研究[D].合肥:合肥工业大学硕士学位论文,2009
- [ 12 ] Uhnakova B, Petrickova A, Biedermann D. Biodegradation of brominated aromatics by cultures and laccase of *Trametes versicolor* [J]. Chemosphere, 2009, 76(6):826-832

## BIODEGRADATION OF TRIBROMOPHENOL WITH MIXED STRAINS

CHENG Shasha<sup>1</sup>   WANG Huai<sup>1,2</sup>   YAO Risheng<sup>1,2</sup>   ZHU Huixia<sup>1,2</sup>

(1. School of Chemical Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, 230009, China;

2. Engineering Research Center of Bio-Process, Ministry of Education, PRC, Hefei University of Technology, Hefei, 230009, China)

### ABSTRACT

In this paper, in order to find an effective biodegradation treatment for harmful substance 2,4,6-tribromophenol (TBP), the effect of TBP biodegradation with mixed strains (*Pseudomonas aeruginosa* TBPY UMP-f and *Serratia marcescens* SMA) was investigated extensively, based on the comparison of TBP degradative ability with different strains. Some factors on the TBP biodegradation with the mixed strains were studied, and the results showed that TBP degradation with the mixed strains was better than the single strain. Under the optimal conditions of the inoculation proportion of TBPY UMP-f and SMA 1:1, the interval inoculation time of SMA 22 h, the temperature 30 °C, the liquid volume 60 mL, the shaker rotary speed  $175 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ , the degradation rate for  $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  TBP in 2 days reached 96.5%. In addition, the mixed strains degraded TBP with concentration of  $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , which was twice as much as that reported before, and TBP degradation rate in 4 days was 65.3%.

**Keywords:** *Pseudomonas aeruginosa*, *Serratia marcescens*, mixed degradation, tribromophenol.