



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102787082 A

(43) 申请公布日 2012. 11. 21

- 
- (21) 申请号 201110127390. 5 *C12P 7/64* (2006. 01)  
(22) 申请日 2011. 05. 17 *C02F 3/34* (2006. 01)  
(83) 生物保藏信息 *C12R 1/01* (2006. 01)  
CGMCC No. 4762 2011. 04. 12 *C02F 103/28* (2006. 01)  
CGMCC No. 4423 2010. 12. 08
- (71) 申请人 中国科学院生物物理研究所  
地址 100101 北京市朝阳区大屯路 15 号  
申请人 中国制浆造纸研究院
- (72) 发明人 刘平生 杜雅兰 丁云峰 张淑妍  
冯文英 苏振华 徐明 曹春昱
- (74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245  
代理人 关畅 任凤华
- (51) Int. Cl.  
*C12N 1/20* (2006. 01)
- 

权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 1 页

### (54) 发明名称

一种处理造纸废水并产微生物油脂的方法及其专用菌株

### (57) 摘要

本发明公开了一种处理造纸废水并产生物油脂的方法及其专用菌株红球菌 (*Rhodococcus* sp.) LDS5。该方法是一种红球菌利用造纸废水为培养基生产生物油脂的方法,同时造纸废水中的有机物得到降解。该方法包括以下步骤:将红球菌 (*Rhodococcus* sp.) LDS5、或以其为活性成分的菌剂接入造纸废水中,培养得到红球菌 (*Rhodococcus* sp.) LDS5 菌体;从菌体中提取得到甘油三酯。该方法可使造纸废水的 COD 和 BOD 去除率分别达到 55% 和 75% 以上。本发明微生物油脂的生产方法具有操作简单、成本低廉和实用价值高的优点,既能有效降低造纸废水污染排放问题,又能变废为宝转化为生物柴油原料生物油脂,实现了造纸废弃物的资源化利用。

1. 红球菌 (*Rhodococcus* sp.)LDS5,其在中国微生物菌种保藏管理委员会普通微生物中心的登记入册编号为 CGMCC No. 4762。
2. 一种菌剂,其特征在于:所述菌剂的活性成分为权利要求1所述的红球菌 (*Rhodococcus* sp.)LDS5;所述菌剂为生产甘油三酯的菌剂,或为降低废水中 COD 的菌剂,或为降低废水中 BOD 的菌剂。
3. 权利要求1所述的红球菌 (*Rhodococcus* sp.)LDS5、或权利要求2所述的菌剂在生产甘油三酯中的应用。
4. 权利要求1所述的红球菌 (*Rhodococcus* sp.)LDS5、或权利要求2所述的菌剂在处理污水的应用。
  5. 根据权利要求4所述的应用,其特征在于:所述处理污水体现为降低污水中 COD。
  6. 根据权利要求4所述的应用,其特征在于:所述处理污水体现为降低污水中 BOD。
  7. 根据权利要求4-6中任一所述的应用,其特征在于:所述污水为造纸废水。
8. 一种处理造纸废水的方法,包括如下步骤:将造纸废水作为培养基,将权利要求1所述的红球菌 (*Rhodococcus* sp.)LDS5、或权利要求2所述的菌剂接入造纸废水中,降低所述造纸废水的 COD 和 / 或 BOD。
  9. 一种生产甘油三酯的方法,包括以下步骤:
    - 1) 将权利要求1所述的红球菌 (*Rhodococcus* sp.)LDS5、或权利要求2所述的菌剂接入造纸废水中,培养得到所述红球菌 (*Rhodococcus* sp.)LDS5 菌体;
    - 2) 从步骤1)得到的所述红球菌 (*Rhodococcus* sp.)LDS5 菌体中提取得到甘油三酯。
10. 根据权利要求8或9所述的方法,其特征在于:所述造纸废水为 CTMP 制浆废水,或为 APMP 制浆废水。

## 一种处理造纸废水并产微生物油脂的方法及其专用菌株

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种造纸废水的处理方法,特别是涉及一种处理造纸废水并产微生物油脂的方法及其专用菌株。

### 背景技术

[0002] 制浆造纸工业是我国国民经济的重要基础原材料产业,但也是产生“三废”污染,尤其是水污染的大户,其所造成的水污染,目前仍然比较突出,造纸工业 2008 年废水排放量为 40.77 亿吨,占全国工业废水总排放量 217.38 亿吨的 18.76%。排放废水中化学需氧量(COD)为 128.8 万吨,占全国工业 COD 总排放量 404.8 万吨的 31.82%。

[0003] 目前,制浆造纸工业废水处理方法主要有物理法、生化法、化学法及三者相结合的方法,物理法主要利用废水中污染物的密度或粒径差异来进行分离,实现对废水中不溶性污染物的去除;生化法主要是采用微生物种群所形成的生物链对废水中的有机物进行降解,最终转化为二氧化碳、水、甲烷及微生物细胞等;化学法则是采用絮凝剂或强氧化剂对废水进行处理,前者通过絮凝作用使废水中悬浮物或胶体物质发生絮聚而沉淀分离出来,而实现废水的净化,后者则是利用氧化剂的强氧化性将废水中的有机物氧化分解实现净化。“一种废纸造纸废水处理及会用方法”(专利申请号 200910098176.4)、“造纸废水处理工艺”(专利申请号 01128134.0)及“制浆造纸废水处理系统”(专利申请号 200920258322.0)等多个专利公开了造纸废水的处理方法,但均致力于达标排放。目前,上述废水处理方法在实际应用中较为普遍,实现达标排放的过程中,都存在着投资和运行费用及对管理水平要求高等问题。

[0004] 微生物油脂是生物柴油的潜在原料,而生物柴油是解决能源危机的途径之一。生物柴油的主要原料为油料作物(油菜、花生、向日葵、芝麻、大豆、棉籽、胡麻及玉米等)、木本油料(棕榈油、黄连木、麻风树、光皮树及油茶等)、动物油脂(猪脂、牛脂及羊脂等)、微生物油脂(酵母、霉菌、细菌和藻类等)、废食用油脂(植物油脂下脚料和废弃食用油等)。李博公开了以动植物油脂、酸败了的动植物油脂、回收的各种煎炸油或泔水油为原料生产生物柴油的方法(专利申请号 200510200025.7)。以油料作物油生产的柴油品质好、质量稳定、原料来源充足。但原料成本高,存在“与农争粮(油)、与粮(油)争地”的问题。木本油料作物质量稳定、成本低,但主要为热带植物,受地域限制,原料难以满足需要,另外,麻风果榨油后的饼粕含极毒物质,存在安全隐患;废弃油脂收购困难,且来源不同品质难以控制;动物油脂来源难以满足需求。微生物油脂则能解决上述问题,与传统的油脂生产工艺相比较,微生物适应性强,生长繁殖迅速,生长周期短,代谢活力强,易于培养和品种改良;微生物产油脂所需劳动力低,占地面积小,且不受场地、气候和季节变化等的限制,能连续大规模生产;清华大学张建安等公开了以 1-20%葡萄糖为底物,微生物发酵油脂及其用于制备生物柴油的方法(专利申请号:CN200610113582.X)。清华大学刘宏娟等公开了“一种由木质纤维质原料制备微生物油脂的方法”(专利申请号 200810114616.6),上述专利中是以葡萄糖或木质纤维原料为底物进行发酵制取生物油脂,而且所用的菌种为酵母。

## 发明内容

[0005] 本发明针对造纸废水中含有大量的有机物且需要去除或降解的现状,及产油菌产油过程需要富含碳源的原料为底物的特征,提供一种处理造纸废水并产微生物油脂的方法及其专用菌株。这样不仅能降解造纸废水中的污染物,而且使得微生物油脂的生产成本将大幅降低,产生的微生物油脂可以用作生物柴油的原料,实现废弃物的高值利用。

[0006] 本发明所提供的可利用造纸废水中有机物并产油的菌株为红球菌 (*Rhodococcus* sp.) LDS5, 该菌株已于 2011 年 4 月 12 日保藏于位于北京市朝阳区北辰西路 1 号院 3 号的中国微生物菌种保藏管理委员会普通微生物中心, 保藏编号为 CGMCC No. 4762。

[0007] 以红球菌 (*Rhodococcus* sp.) LDS5CGMCC No. 4762 为活性成分的菌剂也属于本发明的保护范围。

[0008] 红球菌 (*Rhodococcus* sp.) LDS5CGMCC No. 4762 及其菌剂可用于生产甘油三酯, 降低废水中 COD 及 BOD。

[0009] 本发明的第二个目的是提供一种利用造纸废水生产生物油脂(生产甘油三酯)的方法, 包括以下步骤:

[0010] 1) 将红球菌 (*Rhodococcus* sp.) LDS5CGMCC No. 4762、或以其为活性成分的菌剂接入造纸废水中, 培养得到所述红球菌 (*Rhodococcus* sp.) LDS5CGMCC No. 4762 菌体;

[0011] 2) 从步骤 1) 得到的所述红球菌 (*Rhodococcus* sp.) LDS5CGMCC No. 4762 菌体中提取得到甘油三酯。

[0012] 用于接入造纸废水的红球菌 (*Rhodococcus* sp.) LDS5CGMCC No. 4762 菌种, 可在 NB 培养基中在 28-32℃ 下培养 36-40 小时获得。所述 NB 培养基的配制方法可为: 0.8% (0.8g/100ml) Nutrient Broth (营养肉汤) 的去离子水溶液, 高压灭菌 20min。

[0013] 红球菌 (*Rhodococcus* sp.) LDS5CGMCC No. 4762、或以其为活性成分的菌剂接入造纸废水后, 可在 28-32℃ 下培养 36-96 小时。

[0014] 步骤 2) 中, 所述甘油三酯可按照常规方法提取。

[0015] 本发明的又一个目的是提供一种处理造纸废水的方法。

[0016] 本发明所提供的处理造纸废水的方法, 包括如下步骤: 将造纸废水作为培养基, 将红球菌 (*Rhodococcus* sp.) LDS5CGMCC No. 4762、或以其为活性成分的菌剂接入造纸废水中, 降低所述造纸废水的 COD 和 / 或 BOD。

[0017] 所述造纸废水可为 CTMP (化学热磨机械浆) 制浆废水, 或为 APMP (碱性过氧化氢机械浆) 制浆废水。

[0018] 本发明应用造纸废水来生产微生物油脂的方法, 具有操作简单、成本低廉和实用价值高的优点, 既能有效降低造纸废水污染排放问题, 又能变废为宝转化为生物柴油原料生物油脂, 实现了造纸废弃物的资源化利用。该方法可使造纸废水的 COD 和 BOD 去除率分别达到 55% 和 75% 以上。

[0019] 以下结合具体的实例对本发明的技术方案做进一步描述。

[0020] 保藏说明

[0021] 菌种名称: 红球菌

[0022] 拉丁名: (*Rhodococcus* sp.)

- [0023] 菌株编号 :LDS5  
[0024] 保藏机构 :中国微生物菌种保藏管理委员会普通微生物中心  
[0025] 保藏机构简称 :CGMCC  
[0026] 地址 :北京市朝阳区北辰西路 1 号院 3 号  
[0027] 保藏日期 :2011 年 4 月 12 日  
[0028] 保藏中心登记入册编号 :CGMCC No. 4762  
[0029] 菌种名称 :红球菌  
[0030] 拉丁名 :(*Rhodococcus* sp.)  
[0031] 菌株编号 :RHA1  
[0032] 保藏机构 :中国微生物菌种保藏管理委员会普通微生物中心  
[0033] 保藏机构简称 :CGMCC  
[0034] 地址 :北京市朝阳区北辰西路 1 号院 3 号  
[0035] 保藏日期 :2010 年 12 月 8 日  
[0036] 保藏中心登记入册编号 :CGMCC No. 4423

#### 附图说明

- [0037] 图 1 为本发明所用红球菌 (*Rhodococcus* sp.)LDS5 的 TEM 图。  
[0038] 图 2 为红球菌 (*Rhodococcus* sp.)LDS5 在不同废水培养中甘油三酯的产量  
[0039] 图 3 为红球菌 (*Rhodococcus* sp.)LDS5 和红球菌 (*Rhodococcus* sp.)RHA1 在 CTMP 废水中培养时间梯度的甘油三酯含量。

#### 具体实施方式

- [0040] 下述实施例中所使用的实验方法如无特殊说明,均为常规方法。  
[0041] 下述实施例中所用的材料、试剂等,如无特殊说明,均可从商业途径得到。  
[0042] 下述实施例中的 NB 培养基的配制方法为 :0.8% (0.8g/100ml) Nurient Broth (营养肉汤) 的去离子水溶液,高压灭菌 20min。  
[0043] 红球菌 (*Rhodococcus* sp.)LDS5CGMCC No. 4762 和红球菌 (*Rhodococcus* sp.)RHA1 的平板培养基组成为 :胰蛋白胨 :10g ;酵母提取物 :5g,NaCl :10g ;琼脂 :15g ;1L 去离子水,高压灭菌 20min。将融化的培养基放置至 55℃,约 10ml 倒入一个培养皿,培养基在培养皿中冷却凝固。MSM 培养基组成为 :0.5g  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,0.2g  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,0.02g  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,1.5g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,0.0012g 柠檬酸铵铁,0.1ml SL6 (1.0g  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,0.3g  $\text{MnCl} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,3.0g  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ,3.0g  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,0.1g  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,0.2g  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,0.2g  $\text{Na}_2\text{MnO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,0.3g  $\text{Na}_2\text{MnO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,去离子水定容至 1.0L),9.0g  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ,9.0g 葡萄糖酸钠,加 1L 去离子水至 1.0L,高压灭菌 20min。  
[0044] 实施例 1、红球菌 (*Rhodococcus* sp.)LDS5 的制备及鉴定  
[0045] 将红球菌 (*Rhodococcus* sp.)RHA1 (2010 年 12 月 8 日保藏于中国微生物菌种保藏委员会普通微生物中心 (CGMCC),其地址为中华人民共和国北京市朝阳区北辰西路 1 号院 3 号,中国科学院微生物研究所,分类命名为红球菌 *Rhodococcus* sp.,保藏中心登记入册编号 :CGMCC No. 4423) 中 LDS5 基因敲除得到红球菌 (*Rhodococcus* sp.)LDS5。红球菌

(*Rhodococcus* sp.)LDS5 已于 2011 年 4 月 12 日保藏于中国微生物菌种保藏管理委员会普通微生物中心,保藏中心登记入册编号:CGMCC No. 4762。

[0046] 红球菌 (*Rhodococcus* sp.)LDS5CGMCC No. 4762 菌体杆状(图 1),不形成分生孢子或内孢子。菌落呈浅黄色不透明,湿润,粘稠,圆形,边缘整齐。革兰氏阳性。好氧。化能营养型,过氧化氢酶阳性。芳香基硫酸脂酶阴性,对溶菌酶敏感,可利用许多有机化合物作为碳源。胞壁肽聚糖属 A1  $\gamma$  型,含有大量内消旋二氨基庚二酸、阿拉伯糖和半乳糖。细胞磷酸类脂有双磷脂酰甘油(DPG)、磷脂酰乙醇胺(PE)和磷脂酰肌醇甘露糖苷(PIM)。细胞含大量的直链非饱和脂肪酸。菌株的 DNA G+C mol% 为 67mol% (Tm)。

[0047] 实施例 2、用红球菌 (*Rhodococcus* sp.)LDS5CGMCC No. 4762 在造纸废水中培养生产甘油三酯的方法。

[0048] 1. 在不同废水中培养甘油三酯检测

[0049] 为了寻找低成本的培养条件,从而有益于大规模的培养。低氮高碳成为寻找低成本培养的主要条件。制浆造纸废水中含有大量的有机物,且其中碳源丰富且低氮,运用废水来培养菌株,如若能够生长,不但能获得生物柴油原料的供给,还有可能推动废水处理业的发展。因此,本实验选取造纸业中污染严重的制浆废水 CTMP 废水及 APMP 废水,并查看细菌产油情况。实验步骤如下:

[0050] 细菌培养:将红球菌 (*Rhodococcus* sp.)LDS5CGMCC No. 4762 在 NB 培养基中 28-32 $^{\circ}$ C 培养 36 小时,取 30ml 培养液离心 5000rpm 10min 弃上清。将 30ml 培养液离心所得沉淀分别转接入 300ml APMP 废水,CTMP 废水及产油最适培养基 MSM 培养基中。

[0051] 脂萃取:分别取不同培养环境,培养 24 小时后的菌液各 500  $\mu$  l,加入氯仿甲醇萃取。菌液:氯仿:甲醇体积比为 1:1:1,混匀静置 20min。离心 14000rpm,4 $^{\circ}$ C,10min。抽取离心后的脂相。再将样品加入 500  $\mu$  l 氯仿,重新萃取,两次萃取的脂相合并。按照如下方法进行检测薄层层析:

[0052] 将萃取样品氮气吹干,置于室温,加入 100  $\mu$  l 氯仿溶解脂,震荡混匀,并室温离心,10000rpm,1 分钟。用枪头点样于薄层板(Whatman,4865-821)上,点样基线距底边 2cm,每次点样量以样品不外漏为宜(约相当于 10  $\mu$  l)。重复点样应注意在层析板上样品晾干后为宜。点完样品后,充分晾干。

[0053] 将点好样品的薄层板平移放入展开缸的展开剂(由 80ml 正己烷,20ml 无水乙醚和 0.8ml 乙酸组成)中,浸入展开剂的深度为距原点 5mm 为宜,用毛玻璃盖好展开缸,使展开在密闭的环境中进行。可将展开缸边缘涂抹凡士林,使其与毛玻璃接触更为紧密。同时需关闭展开缸所在的通风橱中的通风装置,尽量减少外界环境对实验结果的影响,待展开至层析板上缘 2cm,取出薄层板,晾干。将薄层板小心放入碘缸,点样面面朝碘缸底部,便于蒸发的碘与其充分接触,碘缸内加入碘的量以铺满碘缸边缘为准,显色 20 ~ 30min,即出现褐色斑点。

[0054] 结果如图 2 所示,表明相同浓度的红球菌 (*Rhodococcus* sp.)LDS5CGMCC No. 4762 转接到三种培养条件下,在 APMP 和 CTMP 的废水培养中,细菌不仅长势良好,而且其产油量大大增加,远远高于在 MSM 中培养。而在废水培养条件中,又以 CTMP 废水培养条件产油量较好。所以以 CTMP 废水作为培养条件,是一种相对来说,成本低,产量高的培养条件。图 2 中,从左至右的四个带分别为 APMP 废水、MSM 培养基、CTMP 废水和酯标准品(Sigma,

1787-1AMP);图2中箭头所指的是甘油三酯的条带。

[0055] 2、野生型及敲除菌株在CTMP废水中甘油三酯的定量检测

[0056] 细菌培养:红球菌(Rhodococcus sp.)LDS5CGMCC No.4762和红球菌(Rhodococcus sp.)RHA1CGMCC No.4423单克隆分别接入100ml NB培养基30℃培养至OD<sub>600</sub>为2.0时,培养时间约为36h,分别取30ml培养液离心5000rpm,10min,弃上清,将所得的红球菌(Rhodococcus sp.)RHA1CGMCC No.4423(WT)及红球菌(Rhodococcus sp.)LDS5CGMCC No.4762(LDS5)沉淀分别转接入装有300ml CTMP废水(COD<sub>Cr</sub>为10053mg/L,BOD<sub>5</sub>为9210mg/L)的培养瓶中,在30℃培养。红球菌(Rhodococcus sp.)RHA1CGMCC No.4423(WT)及红球菌(Rhodococcus sp.)LDS5CGMCC No.4762(LDS5)均分别接入36个培养瓶。分别在接入废水0、24、48、72、96和120小时各取菌液样品各1ml离心12000rpm,4℃,3min,弃上清。加100 μl 1% triton-100将沉淀重悬。将重悬的样品超声,每超6s停6s,共2min。将2mM的标准品用1% triton-100稀释成1,0.5,0.2,0.1,0.05,0.02,0mM浓度梯度标准样品。将所配制好的标准样品及所制得的样品分别加入酶标板中10 μl。取甘油三酯试剂盒(普利莱,E1003),A液B液4:1混匀,分别取190 μl加入酶标板中,样品及标准品与混合液充分反应,37℃,恒温孵育20min。在波长565nm下检测样品OD值,根据标准品OD值及浓度计算标准曲线,并求出公式 $y = 0.3699x + 0.0811$   $R^2 = 0.9994$ 。根据公式计算出甘油三酯浓度。结果表明,等浓度的红球菌(Rhodococcus sp.)LDS5CGMCC No.4762和红球菌(Rhodococcus sp.)RHA1CGMCC No.4423在CTMP废水中培养48h后,其甘油三酯含量达到高值。随后均有不同程度的下降。红球菌(Rhodococcus sp.)LDS5CGMCC No.4762在CTMP废水中培养48h的甘油三酯含量较高,可达0.45mM,而红球菌(Rhodococcus sp.)RHA1CGMCC No.4423在CTMP废水中培养48h的甘油三酯含量为0.39mM,红球菌(Rhodococcus sp.)LDS5CGMCC No.4762的甘油三酯产量比红球菌(Rhodococcus sp.)RHA1CGMCC No.4423的产量提高了15%。

[0057] 实施例3、用红球菌(Rhodococcus sp.)LDS5CGMCC No.4762处理造纸废水

[0058] 培养浓度梯度及时间梯度的细菌,并对这些细菌进行一些废水指标的检测。培养方法如下:

[0059] 浓度梯度:红球菌(Rhodococcus sp.)LDS5CGMCC No.4762和红球菌(Rhodococcus sp.)RHA1CGMCC No.4423单克隆分别接入300ml NB培养基30℃培养36h。分别取50ml,20ml,10ml培养液5000g,4℃,离心10分钟,弃上清,将离心下来的菌分别转接到装有100ml CTMP废水(COD<sub>Cr</sub>为10053mg/L,BOD<sub>5</sub>为9210mg/L)的培养瓶中,即:转接浓度分别为1:2,1:5,1:10。同时取同批次CTMP废水100ml作为对照。30℃,200转/分钟震荡培养48小时后,将液体在4000g,4℃,离心10分钟,取上清检测COD<sub>Cr</sub>及BOD<sub>5</sub>值。

[0060] 时间梯度:红球菌(Rhodococcus sp.)LDS5单克隆入300ml NB培养基30℃培养36h,将培养液5000rpm离心10min,弃上清,将菌体转接入600ml CTMP废水(COD<sub>Cr</sub>为10350mg/L,BOD<sub>5</sub>为6975mg/L)中,混匀,平均分装到6个250ml的锥形瓶中(即:转接浓度为1:2)。同时取6瓶同样条件的CTMP废水各100ml作为对照。30℃,200转/分钟震荡培养。分别在培养0h,24h,48h,72h,96h,108h各取样品及对照各一,将液体在4000g,4℃,离心10分钟,取上清检测COD<sub>Cr</sub>及BOD<sub>5</sub>值。

[0061] 根据国标检测方法测定COD<sub>Cr</sub>(GB 11914-89)和BOD<sub>5</sub>(GB 7488-87)。根据公式  
[COD<sub>Cr</sub>去除率=(处理前COD<sub>Cr</sub>值-处理后COD<sub>Cr</sub>值)/处理前COD<sub>Cr</sub>值;BOD<sub>5</sub>去除率=(处

理前  $BOD_5$  值 - 处理后  $BOD_5$  值) / 处理前  $BOD_5$  值] 计算  $COD_{Cr}$  和  $BOD_5$  去除率。

[0062] 结果表明, 在转接浓度为 1/2 时, 培养 48 小时后, 红球菌 (*Rhodococcus* sp.) LDS5CGMCC No. 4762  $COD_{Cr}$  去除率 ( $42.83 \pm 4.19\%$ ) 明显高于与红球菌 (*Rhodococcus* sp.) RHA1CGMCC No. 4423 ( $27.93 \pm 4.63\%$ )。红球菌 (*Rhodococcus* sp.) LDS5CGMCC No. 4762 的  $BOD_5$  去除率 ( $54.38 \pm 10.92\%$ ) 亦明显高于红球菌 (*Rhodococcus* sp.) RHA1CGMCC No. 4423 ( $29.29 \pm 0.72\%$ ), 表明红球菌 (*Rhodococcus* sp.) LDS5CGMCC No. 4762 处理废水能力高于野生型菌株红球菌 (*Rhodococcus* sp.) RHA1CGMCC No. 4423。

[0063] 在转接浓度为 1/10 时, 培养 48 小时后, 红球菌 (*Rhodococcus* sp.) LDS5CGMCC No. 4762  $COD_{Cr}$  去除率约为  $13.19 \pm 0.74\%$ ,  $BOD_5$  去除率约为  $25.3 \pm 0.77\%$ , 随着细菌浓度的增加, 废水处理效果也在显著增加, 在转接浓度达到 1/2 时,  $COD_{Cr}$  去除率达到  $41.49 \pm 0.98\%$ ,  $BOD_5$  去除率达到  $44.00 \pm 10.08\%$ 。

[0064] 随着时间的增加, 转接浓度为 1/2 时, 红球菌 (*Rhodococcus* sp.) LDS5CGMCC No. 4762 清除废水  $COD_{Cr}$  和  $BOD_5$  的能力在逐步增强。96 小时  $COD_{Cr}$  去除率可达到最强, 可达  $55.15 \pm 5.89\%$ ,  $BOD_5$  去除率可达到  $75.66 \pm 8.63\%$ 。

[0065] 由此可见, 废水的  $COD_{Cr}$  及  $BOD_5$  值是随着红球菌 (*Rhodococcus* sp.) LDS5CGMCC No. 4762 的浓度的增高而降低的。红球菌 (*Rhodococcus* sp.) LDS5CGMCC No. 4762 具备清除 CTMP 废水的有害物质的能力, 且降低  $BOD_5$  的能力较高。



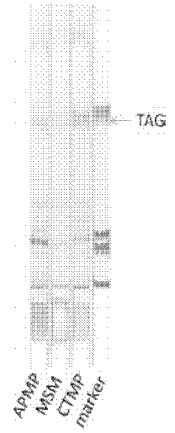


图 2

图 1

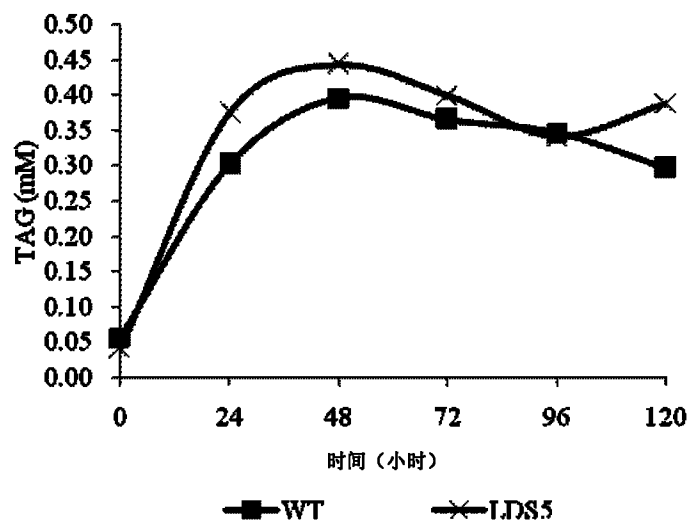


图 3