

霉菌利用酒精废水产絮凝剂*

成文^{1,2} 胡勇有^{2**}

(¹华南师范大学化学与环境学院 广州 510631)
(²华南理工大学环境科学与工程学院 广州 510640)

摘要 研究2株霉菌利用酒精废水产絮凝剂的絮凝效果以及菌株的生长情况。结果表明:在酒精废水中添加少量营养物质可作为廉价培养基使用;确定了廉价培养基的组成,絮凝剂产量分别达到淀粉培养基产量的94.5%和92.2%;廉价培养基培养HHE-P7和HHE-A26的培养液对高岭土悬浊液、猪场废水、建材废水、餐饮废水、城市生活污水都具有良好的絮凝效果,达到淀粉培养基的92.6%~97.8%。图4 表3 参19

关键词 微生物絮凝剂;酒精废水;絮凝剂产生菌;絮凝效果;培养基;淀粉培养基

CLC X703 : X172

Production of Flocculant by *Aspergillus* Using Alcohol Wastewater*

CHENG Wen^{1,2} & HU Yongyou^{2**}

(¹School of Chemistry and Environmental Science, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)
(²School of Environmental Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract The flocculating effect and growth of two strains of *Aspergillus* able to produce flocculant using alcohol wastewater were studied. The results showed that alcohol wastewater with small addition of nutrient substances could be used as prospective cheap culture media, and the composition of the cheap culture media was correspondingly determined. The flocculant production by *Penicillium purpurogenum* (HHE-P7) and *Aspergillus versicolor* (HHE-A26) with the cheap culture media reached 94.5% and 92.2%, respectively, compared to that with starch culture media. The flocculating effects of culture solutions of HHE-P7 and HHE-A26 with the cheap culture media reached 92.6%~97.8%, compared to starch culture media, in treating kaolin suspension, pigery wastewater, building-material wastewater, restaurant wastewater, and municipal wastewater. Fig 4, Tab 3, Ref 19

Keywords microfloculant; alcohol wastewater; flocculant-producing strain; flocculating effect; culture media; starch culture media

CLC X703 : X172

微生物絮凝剂具有高效、无毒、生物可降解性等优点,在水处理、发酵工业、橡胶工业、矿产工业等行业具有广阔的应用前景。但目前开发的各種絮凝剂产生菌大都是在实验室中以葡萄糖、果糖、蔗糖、半乳糖等作为有机碳源,以酵母膏、牛肉膏、蛋白胨、酪蛋白、氨基酸等作为有机氮源,某些成分价格昂贵。因此,寻找廉价的替代培养基,或以废水、废弃物作为培养基,一方面可以大大节约培养微生物的成本,另一方面可以实现废水或废弃物的资源回用,从而获得显著的经济效益和环境效益。Kurane等人早在1994年就在实验中发现多种物质可以作为红平红球菌(*Rhodococcus erythropolis*)产生絮凝剂的替代培养基,如乙醇、罐头制品厂的鱼血废物可以替代碳源,麦芽根、水产加工废水、豆饼等可以替代氮源^[1~4]。国内研究人员曾采用鱼粉废水、味精废水、豆腐废水、果蔬浸糖、生物制氢废液、玉米淀粉和玉米浆、制酒废水作为碳氮源,培养假单胞菌(*Pseudomonas* sp.) GX4-1、酱油曲霉(*Aspergillus sojace*)、酵母属(*Saccharomyces* sp.)等微生物来产絮凝剂^[5~13]。本课题组近年来也一直在探索利用废水作为廉价的培养基,培养微

生物产生絮凝剂^[14~15]。

酒精废水是糖蜜经酒精发酵成熟后用蒸汽在粗馏塔提取酒精后排出的废液。一般的酒精废水中含有较高的COD_{Cr}及色度,含COD_{Cr}达 $8 \times 10^4 \sim 12 \times 10^4$ mg/L, BOD₅为 $4.8 \times 10^4 \sim 8.6 \times 10^4$ mg/L,除发酵后残存的糖分外,还含蛋白质、氨基酸、维生素以及含N、P、K、Ca、Mg等无机盐和较高浓度的SO₄²⁻。每生产1 t酒精会排出13~15 t废液^[16]。据估计,目前我国每日共排酒精废水约21 000 t,由于废水中污染物浓度高,含有类黑色素等物质,采用生化和物化法难以脱色,目前还是一种典型污染源。如果能利用这种废水作微生物絮凝剂生产的培养基,不仅能大大降低微生物絮凝剂生产的成本,而且能使废水资源化,变废为宝。迄今为止,国内外还未见利用该废水作为培养基生产微生物絮凝剂的报道。本研究即是通过测定絮凝剂产量和废水处理效果,考察直接采用酒精废水或在上述废水中添加适量的碳源、氮源、磷酸盐等作为青霉菌产紫青霉系HHE-P7和曲霉属杂色曲霉HHE-A26的廉价培养基的可能性。

1 材料与方法

1.1 材料

菌株:本课题组筛选的青霉菌产紫青霉系(*Penicillium purpurogenum*) HHE-P7和曲霉属杂色曲霉(*Aspergillus*

收稿日期: 2009-10-05 接受日期: 2009-11-16

*国家自然科学基金项目(No. 500778022)资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 500778022)

**通讯作者 Corresponding author (E-mail: ppyyhu@scut.edu.cn)

表1 酒精废水的水质
Table 1 Characteristics of the tested alcohole wastewater

pH	氨氮 NH ₃ -N ($\rho/\text{mg L}^{-1}$)	COD _{Cr} ($\rho/\text{mg L}^{-1}$)	BOD ₅ ($\rho/\text{mg L}^{-1}$)	总氮 TN ($\rho/\text{mg L}^{-1}$)	总磷 TP ($\rho/\text{mg L}^{-1}$)	糖 Sugar ($\rho/\text{g L}^{-1}$)	色度(倍) Chromaticity (multiple)
4.0~5.0	未检出 Not detected	$9.6 \times 10^5 \sim 1.012 \times 10^6$	$6.53 \times 10^5 \sim 6.71 \times 10^5$	未检出 Not detected	7.5~10.6	8.5~9.2	10000

versicolor) HHE-A26^[17].

高岭土: 密度为2.58 g/cm³, 平均粒径为4 μm , 由华南理工大学材料学院制备.

淀粉培养基组成: 可溶性淀粉20.0 g, KH₂PO₄ 2.0 g, K₂HPO₄ 5.0 g, (NH₄)₂SO₄ 0.2 g, NaCl 0.1 g, 脲0.5 g, 酵母浸膏0.5 g, H₂O 1 000 mL, pH 6.0.

酒精废水取自广东省湛江市某糖厂, 废水的水质见表1.

1.2 方法

1.2.1 菌液的准备 分别从HHE-P7、HHE-A26菌种管中挑取菌种, 接入装有50mL淀粉培养基的250 mL三角瓶中, 在30 $^{\circ}\text{C}$ 、150 r/min恒温振荡器上培养2 d, 使各菌株均处于对数生长期, 制成菌液, 并将菌液的浓度调整至吸光度 $A_{540\text{nm}}=0.4$.

1.2.2 培养方式 将不同组成的酒精废水廉价培养基灭菌后, 再分别将各菌株的菌液, 按体积分数0.2%的接种量接入装有50 mL培养基的250 mL三角瓶中, 30 $^{\circ}\text{C}$ 、150 r/min摇床中培养5 d.

1.2.3 絮凝率的测定方法 在100 mL量筒中加入80 mL蒸馏水、0.4 g高岭土、5 mL CaCl₂ ($\rho=1\%$)的水溶液、2 mL培养液(经抽滤去菌体的培养液, 下同), 然后加蒸馏水至100 mL, 调节pH值至7.5, 倒入150 mL烧杯中, 放在磁力搅拌器上搅拌2 min, 静止5 min, 吸取上清液于722型分光光度计550 nm处测定吸光度, 以不加培养液的吸光度为空白来确定发酵液的絮凝率^[12]. 絮凝率按如下公式计算: 絮凝率 = $(A-B)/A \times 100$. 式中, A 为空白上清液的吸光度值, B 为样品上清液的吸光度值.

1.2.4 菌体质量的测定方法 50 mL培养液经抽滤后, 以去离子水洗涤菌体2次, 在60 $^{\circ}\text{C}$ 下烘干称重, 以菌体干质量表示^[7].

1.2.5 絮凝剂产量的测定方法 50 mL培养液经抽滤后, 按 $V(\text{滤液}): V(\text{无水乙醇})=1:4$ 比例加入无水乙醇, 然后用低速台式离心机在3 000 r/min下离心15 min, 将离心所得固体于真空干燥箱中常温干燥、称重^[11]. 按下面公式计算产量: 产量(g/L) = C/D . 式中, C 为干燥后固体质量(g), D 为培养液体积(L).

1.2.6 絮凝实验方法和条件 取废水水样1 000 mL, 在搅拌下加入培养液20 mL、10%的CaCl₂水溶液5 mL, 调节pH值至8.0, 在六联搅拌机上进行絮凝实验.

絮凝实验程序: 600 r/min (20 s) $\rightarrow$ 400 r/min (20 s) $\rightarrow$ 200 r/min (80 s) $\rightarrow$ 100 r/min (120 s) $\rightarrow$ 60 r/min (180 s), 在液面下3 cm处取样, 分光光度计上测定在550 nm的吸光度. 以加培养基(未接菌种)的为对照计算絮凝率^[15].

1.2.7 COD_{Cr}、总氮、总磷的测定 采用标准方法^[18].

2 结果与分析

2.1 酒精废水作廉价培养基的浓度选择

由于酒精废水的COD_{Cr}很高(约 $9.6 \times 10^4 \sim 1.012 \times 10^5 \text{ mg/L}$), 直接在其中接种培养, 可能因渗透压太高、供氧不足而影响菌体生长, 因此首先设计实验确定酒精废水浓度对菌株生长以及产生絮凝剂的影响.

分别用去离子水将酒精废水稀释4、5、6、7、8倍, 灭菌后接种HHE-P7和HHE-A26, 在温度30 $^{\circ}\text{C}$ 、150 r/min摇床培养5 d, 以发酵液作为微生物絮凝剂进行絮凝实验, 测定絮凝率. 结果(图1)显示, 直接采用酒精废水来培养菌株时, 絮凝效果较差, HHE-P7所产絮凝剂的絮凝率在51.5%~72.2%之间, HHE-A26的絮凝率在52.1%~71.8%之间. 由此可见, 虽然酒精废水的COD_{Cr}高达 $9.6 \times 10^4 \sim 1.012 \times 10^5 \text{ mg/L}$, 并且糖浓度高达 $8.5 \times 10^3 \sim 9.2 \times 10^3 \text{ mg/L}$, 但菌株难以直接利用, 表现在菌株生长差, 培养液的絮凝率低, 而且废水浓度高时, 色度高. 废水稀释8倍后, 即COD_{Cr}为 $1.2 \times 10^4 \sim 1.265 \times 10^4 \text{ mg/L}$ 时, 絮凝率相对较高(HHE-P7的为72.2%, HHE-A26的为71.8%). 因此, 在后面的实验中, 酒精废水样都采用原废水稀释8倍的水样.

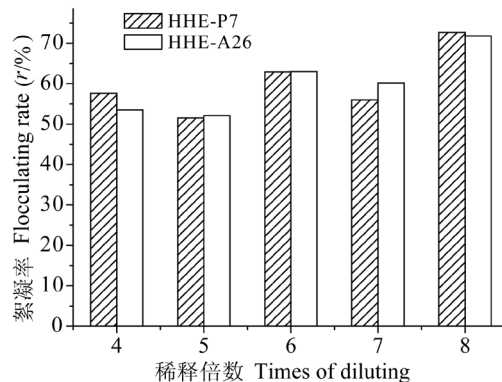


图1 不同浓度的酒精废水对微生物产絮凝剂的影响
Fig. 1 Effect of alcohol wastewater concentrations on flocculant production by the two strains

2.2 在酒精废水中加入营养因素对菌株生长及产絮凝剂的影响

由于废水所含营养是不均衡的, 在保证其它营养供应的基础上, 分别研究单营养因素(碳源、氮源、磷酸盐)对菌株生长以及产絮凝剂的影响.

霉菌适宜在酸性或偏酸性的环境中生长, 酒精废水的pH值为4.0~5.0, 加入碳源、氮源、磷酸盐后pH值为5.5~6.0, 在菌株生长的适宜pH值范围, 因此只对碳源、氮源、磷酸盐等3个单生长因素进行研究, 而不对培养基初始pH进行讨论.

2.2.1 淀粉对菌株生长及产絮凝剂的影响 在酒精废水中分别加入少量的可溶性淀粉1.0、2.0、3.0、4.0、5.0 g/L, 以不加淀粉为空白, 各处理中KH₂PO₄ 2.0 g/L、K₂HPO₄ 5.0 g/L、

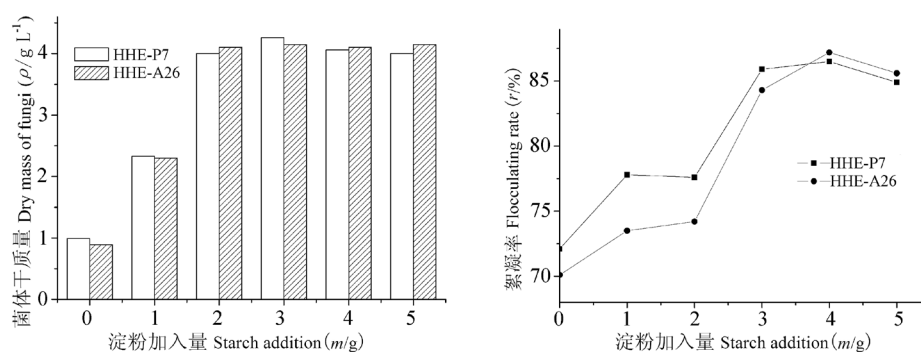


图2 淀粉加入量对菌株生长及产絮凝剂的影响

Fig. 2 Effect of starch addition on growth of strains and flocculant production

脲0.5 g/L、pH 5.5~6.0保持不变, 研究不同的淀粉加入量对HHE-P7和HHE-A26的生长以及产絮凝剂的影响。结果(图2)显示, 菌体干质量、絮凝效果与淀粉的加入量呈正相关关系。在不加淀粉的情况下, 菌株培养5 d的菌体干质量分别仅为0.99 g/L(HHE-P7)和0.89 g/L(HHE-A26), 絮凝率分别为72.1%(HHE-P7)和70.1%(HHE-A26)。添加少量淀粉, 能促进菌株生长及微生物絮凝剂产生。淀粉浓度为3.0 g/L时, HHE-P7的菌体干质量和絮凝率分别增加到4.26 g/L和85.9%, HHE-A26的菌体干质量增加到4.15 g/L, 絮凝率达到84.3%。添加淀粉浓度为4.0 g/L时, HHE-P7和HHE-A26的菌体干质量分别为4.06 g/L和4.10 g/L, 絮凝率分别为86.7%和87.2%。因此, 淀粉加入量选用4 g/L。

2.2.2 脲对菌株生长及产絮凝剂的影响 本课题组的研究已经表明有机氮源(酵母膏、牛肉膏、蛋白胨、脲)对该两株菌产絮凝剂的促进效果要好于无机氮源^[9]。由于有机氮源中酵母膏、牛肉膏、蛋白胨的价格昂贵, 并使培养基带黄色, 选用脲却能克服以上两个缺点, 因此废水中加入的氮源确定为脲。

在酒精废水中分别加入脲0、0.5、1.0、1.5、2.0 g/L, 各处理中可溶性淀粉4.0 g/L、 K_2HPO_4 5.0 g/L、 KH_2PO_4 2.0 g/L、pH 5.5~6.0保持不变, 研究不同的氮源加入量对絮凝效果和菌体干质量的影响。结果(图3)显示, 酒精废水缺乏氮源, 在不加脲的情况下, 微生物生长及产絮凝剂的絮凝效果较差。当加入脲后, 微生物生长及产絮凝剂的絮凝效果显著增加, 在脲浓度为0.5 g/L时, 2株菌培养5 d的絮凝率都达到87.0%, 菌体干质量分别为3.49 g/L(HHE-P7)和3.00 g/L(HHE-A26)。当

继续添加脲时, 微生物的生长量和产絮凝剂的絮凝效果变化不大, HHE-P7的菌体干质量和絮凝率分别在3.29~3.58 g/L和85.5%~89.5%之间, HHE-A26的则分别在3.20~3.50 g/L之间和88.0%左右。因此, 确定脲的加入量选用0.5 g/L。

2.2.3 磷酸盐对菌株生长及产絮凝剂的影响 以(KH_2PO_4 2.0 g/L + K_2HPO_4 5.0 g/L)为100%, 在酒精废水中分别加入质量分数0、25%、50%、75%、100%、125%的(KH_2PO_4 + K_2HPO_4), 各处理中可溶性淀粉4.0 g/L、脲0.5 g/L、pH 5.5~6.0保持不变, 研究不同的磷酸盐加入量对絮凝效果和菌体干质量的影响。结果(图4)显示, 酒精废水中磷酸盐相对缺乏, 添加磷酸盐对絮凝效果的影响较为显著。在不加磷酸盐的情况下, 絮凝率分别仅为60.7%(HHE-P7)和51.3%(HHE-A26)。添加磷酸盐后, 絮凝率明显提高, 并且随着磷酸盐浓度的增加, 絮凝率持续增大。当(KH_2PO_4 + K_2HPO_4)浓度为(2.0+5.0) g/L时, 絮凝效果最高, 分别达到92.9%(HHE-P7)和85.0%(HHE-A26)。继续投加磷酸盐时, 絮凝率提高不大。

菌体干质量随磷酸盐投加量的增加而明显增加。不投加磷酸盐时, 菌体干质量分别仅为0.82 g/L(HHE-P7)和0.95 g/L(HHE-A26); 磷酸盐添加量为75%时, 菌体干质量分别增加到4.52 g/L(HHE-P7)和4.32 g/L(HHE-A26)。随后, 菌体干质量随磷酸盐添加量的增加而稳定上升。当磷酸盐投加量为100%时, HHE-P7和HHE-A26的菌体干质量分别为4.56 g/L和4.35 g/L。综合考虑絮凝效果和生物生长量, 磷酸盐加入量可选用100%, 即 KH_2PO_4 2.0 g/L + K_2HPO_4 5.0 g/L。

以上研究可以得出, 酒精废水作廉价培养基的最佳组成

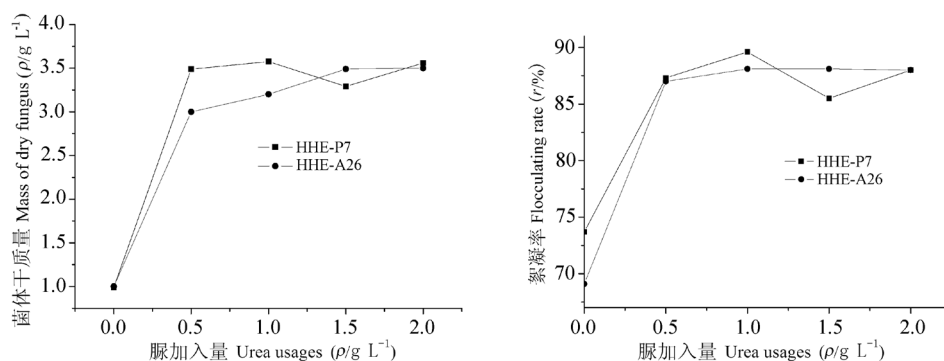


图3 脲加入量对菌株生长及产絮凝剂的影响

Fig. 3 Effect of urea addition on growth of strains and flocculant production

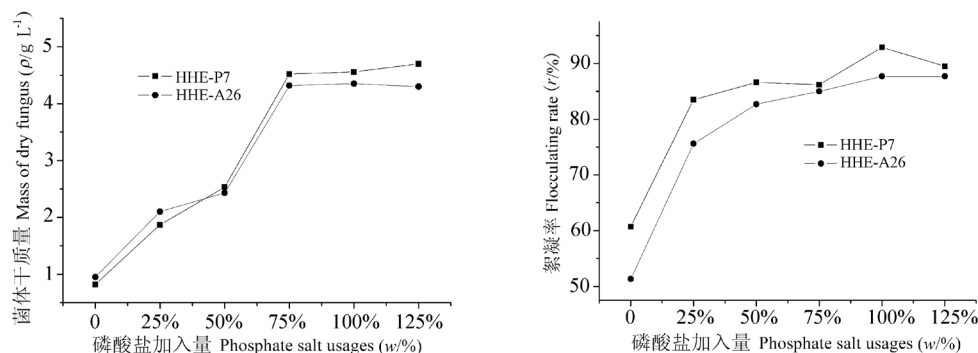


图4 磷酸盐加入量对菌株生长及产絮凝剂的影响
Fig. 4 Effect of phosphate salt addition on growth of strains and flocculant production

表2 廉价培养基和淀粉培养基培养下絮凝剂产量的比较
Table 2 Comparison of flocculant production with cheap and starch culture media

培养条件 Culture condition	产量 Flocculant output ($\rho/\text{g L}^{-1}$)	
	HHE-P7	HHE-A26
廉价培养 Cheap culture	1.503	1.283
淀粉培养 Starch culture	1.591	1.391
廉价培养/淀粉培养 $\times 100\%$ Cheap culture/starch culture $\times 100\%$	94.5%	92.2%

表3 廉价培养液和淀粉培养液对几种废水的絮凝效果
Table 3 Flocculating effects of cheap and starch culture media on treatments of some wastewaters

废水 Wastewater	絮凝率 Flocculating rate (r/%)					
	HHE-P7			HHE-A26		
	廉价培养液 Cheap culture medium	淀粉培养液 Starch culture medium	廉价/淀粉 culture $\times 100$	廉价培养液 Cheap culture medium	淀粉培养液 Starch culture medium	廉价/淀粉 culture $\times 10000$
猪场废水 Piggery wastewater	79.7	81.5	97.8	76.5	82.4	92.8
建材废水 Building-materials wastewater	88.3	91.7	96.3	85.6	92.4	92.6
餐饮废水 Restaurant wastewater	85.2	89.2	95.5	84.1	88.5	95.0
城市生活废水 Municipal wastewater	85.8	89.6	95.8	82.7	88.3	93.7

为: 稀释8倍的酒精废水, 淀粉4.0 g/L, 脲0.5 g/L, KH_2PO_4 2.0 g/L, K_2HPO_4 5.0 g/L, pH 5.5~6.0.

2.3 酒精废水培养基和淀粉培养基絮凝剂产量和絮凝效果比较

在酒精废水中加入可溶性淀粉4.0 g/L、 KH_2PO_4 2.0 g/L、 K_2HPO_4 5.0 g/L、脲0.5 g/L, pH值为5.5~6.0即为酒精废水廉价培养基, 灭菌后分别接种HHE-P7和HHE-A26, 放入30℃、150 r/min的摇床中振荡培养5 d, 测定絮凝率以及培养5 d的产量等, 以进一步了解菌株在廉价培养基培养过程中絮凝剂的产量、絮凝效果等. 结果(表2)表明, 廉价培养基培养时, HHE-P7和HHE-A26产絮凝剂的量分别达到1.503 g/L和1.283 g/L, 是淀粉培养HHE-P7和HHE-A26产絮凝剂量的94.5%和92.2%.

利用淀粉培养基和廉价培养基培养HHE-P7和HHE-A26的培养液分别处理猪场废水、建材废水、餐饮废水和城市生活废水. 结果(表3)表明, 利用廉价培养基培养HHE-P7产生的絮凝剂对猪场废水、建材废水、餐饮废水、城市生活废水都具有良好的絮凝效能, 絮凝率为79.7%~88.3%, 絮凝效果达到淀粉培养基培养的95.5%~97.8%. 利用廉价培养基培养HHEA26产生的絮凝剂对上述4种废水的絮凝率为76.5%~85.6%, 达到淀粉培养基培养菌株产絮凝剂的絮凝效果的92.6%~95.0%.

因此, 从HHE-P7和HHE-A26在酒精废水培养基中的生

长、培养液的絮凝率变化、微生物絮凝剂的产生量以及培养液对4种废水的处理效果看, 使用酒精废水作廉价培养基是可行的.

3 结论

酒精废水不能单独作为曲霉属产紫青霉系HHE-P7和曲霉属杂色曲霉HHE-A26的培养基, 但在酒精废水中添加少量营养物质即可作为廉价培养基使用, 其组成为: 可溶性淀粉4.0 g/L, KH_2PO_4 2.0 g/L, K_2HPO_4 5.0 g/L, 脲0.5 g/L, 酒精废水(COD_{Cr} $1.2 \times 10^4 \sim 1.3 \times 10^4$ mg/L) 1 000 mL, pH 5.5~6.0.

酒精废水廉价培养基对HHE-P7和HHE-A26的培养液对高岭土悬浊液的絮凝率分别为89.5%和84.4%, 对猪场废水、建材废水、餐饮废水、城市生活污水的絮凝率为76.5%~88.3%, 絮凝剂产量分别达到了淀粉培养基产量的94.5%和92.2%, 絮凝效果达到了淀粉培养基的92.6%~97.8%.

References

- Xu B (徐斌), Wang J (王竞). Research and application of flocculant produced from microorganism by using wastes. *Ind Water Treat* (工业水处理), 2000, 20 (5): 1~3
- Kurane R, Hatamochi K, Kakuno T, Kiyohara M, Hirano M, Taniguchi Y. Production of bioflocculant by *Rhodococcus erythropolis* S-1 grow on alcohol. *Biosci Biotech Biochem*, 1994, 58 (2): 428~429
- Kurane R, Suzuki R, Tazawa R. Microorganism flocculating agent

- manufacture with *Rhodococcus* or *Nocardia*. Japanese Patent 07-75561, 1995
- 4 Kurane R, Yokomaku T. Flocculating agent NOC-1 manufacture with *Rhodococcus*. Japanese Patent 03-38203, 1991
- 5 Xu B (徐斌). Studys on production conditions of flocculant from *Pseudomonas* SP. GX_4-1 using fish meal wastewater. *Microbiology* (微生物学通报), 2001, **28** (3): 68~72
- 6 Ying H (尹华), Yu L P (余莉萍), Peng H (彭辉), Ye JS (叶锦韶), Zhang N (张娜). Study on flocculant produced from *Azotobacter* J-25 by using glutamic acid wastewater. *Environ Chem* (环境化学), 2003, **22** (6): 582~587
- 7 Yang QQ (杨清清), Ying H (尹华), Peng H (彭辉), Ye JS (叶锦韶), Qin HM (秦华明), Zhang N (张娜). Study on bioflocculant produced from *Aspergillus sojae* by using low-cost medium. *Ind Water Treat* (工业水处理), 2006, **26** (9): 29~32
- 8 Liu GX (刘国祥), Yin H (尹华), Peng H (彭辉), Ye JS (叶锦韶), Zhang N (张娜). Study of microbioflocculant cultivated and produced in beancurd wastewater. *J Saf & Environ* (安全与环境学报), 2006, **6** (1): 103~106
- 9 Lin S (林松). Study on Complex Bio-flocculant Producing Bacteria Domesticated by Food Processing Wastewater and Optimal Conditions: [Master Degree Dissertation]. Chengdu, China: Sichuan University (成都: 四川大学), 2006
- 10 Dong SS (董双石), Wang AJ (王爱杰), Ren NQ (任南琪), Ma F (马放), Zhou DD (周丹丹). Production of bio-flocculant with effluent from bio-hydrogenproducing reactor and its pollutants removal efficiency. *China Water & Wastewater* (中国给水排水), 2006, **22** (1): 18~21
- 11 Pan DS (潘多涛), Liu GP (刘桂萍), Liu CF (刘长风). Screening of microbe producing flocculant and characteristics of microbial flocculant. *J Beijing Univ Chem Technol Nat Sci Ed* (北京化工大学学报自然科学版), 2008, **35** (1): 83~87
- 12 Zhang F (张帆), Jiang WJ (蒋文举), Wang XD (王向东), Wang YN (王依娜), Zhang W (张望), Chen J (陈娇). The preparation and activity comparison of bioflocculant from alcohol wastewater using different microorganisms. *J Sichuan Univ Engin Sci Ed* (四川大学学报工程科学版), 2008, **40** (5): 94~98
- 13 Ma F (马放), Zhang HW (张惠文), Li DP (李大鹏), Wei L (魏利), Hou N (侯宁). Compound bioflocculant produced by using rice straw as substrate. *China Environ Sci* (中国环境科学), 2009, **29** (2): 196~200
- 14 Liu H (刘晖), Zhou KQ (周康群), Hu YY (胡勇有), Cheng W (成文), Liu JP (刘洁萍), Zhou YP (周逸品). Study of flocculant produced from HHE-P7 by using honey wastewater. *Technol Water Treat* (水处理技术), 2005, **31** (2): 51~54
- 15 Liu H (刘晖), Zhou KQ (周康群), Hu YY (胡勇有), Cheng W (成文), Liu JP (刘洁萍), Zhou YP (周逸品). Study on the production of bioflocculant by *Penicillium* sp. using sauce wastewater. *Tech & Equip Environ Poll Control* (环境污染治理技术与设备), 2006, **7** (3): 40~44
- 16 Wu SP (吴松平), Gu GB (古国榜). Recent advances in treating molasses wastewater by physical chemical technology and utilization of resources. *Chongqing Environ Sci* (重庆环境科学), 2001, **23** (3): 56~60
- 17 Cheng W (成文), Hu YY (胡勇有). Research on the characteristics of four bioflocculants. *Fine Chem* (精细化工), 2004, **21** (2): 141~143
- 18 国家环境保护总局, 《水和废水监测分析方法》编委会编. 水和废水监测分析方法. 4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002
- 19 Cheng W (成文), Huang XW (黄晓武), Hu YY (胡勇有). Study on growing factors of four bioflocculants-producing strains. *J South China Norm Univ Nat Sci Ed* (华南师范大学学报自然科学版), 2004 (1): 92~95