

处理城市污水的多功能混合菌研究*

贾省芬, 杨彦希, 黄志勇, 杨惠芳(中国科学院微生物研究所, 北京 100080, E-mail: huangzhy@bj.col.com.cn)

摘要: 从城市污水及工业废水中分离选育出一种高效多功能混合菌群, 包括具有絮凝作用的芽孢杆菌 7 株(同时还有降解污染物的功能), 能利用其他有机物和降解某些工业污染物的细菌 6 株、酵母 7 株。该混合菌群生长的 pH 和温度范围较广, pH 为 6~10, 最适 pH 7~8, 温度为 15~37℃, 最适为 30℃。生长碳源以红糖最优, 有机氮优于无机氮。利用多功能混合菌完整细胞对合成城市污水处理效果表明, 当细胞浓度达 $20\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时只需通气 20min 就可将污水中 $580.64\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ COD_{Cr} 和 $376.26\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ BOD_5 完全去除。从通气条件看, 好氧和缺氧交替进行有利于处理效果的提高。

关键词: 城市污水, 处理技术, 多功能混合菌。

中图分类号: X172 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2000)03-0081-04

Study on Multiple Functional Mixed Microbes for Treating Municipal Sewage*

Jia Shengfen, Yang Yanxi, Huang Zhiyong, Yang Huifang(Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China E-mail: huangzhy@bj.col.com.cn)

Abstract: A multiple functional mixed microbes was isolated and selected from municipal sewage and industrial wastewater. It included 7 strains of *Bacillus* sp. of floc-forming, 6 strains of other bacteria and 7 strains of yeast utilizing some organic compounds for growth and degrading some pollutants of municipal sewage. The range of pH and temperature for growth of them are wide, pH is 6~10 and optimum is 7~8, temperature is 15~37℃ and the optimum is 30℃. Sugar is the best carbon source, the organic nitrogen source is better than inorganic nitrogen for the growth. The results of synthetic municipal sewage treated by cells of the mixed microbes showed that the COD_{Cr} ($580.64\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) and BOD_5 ($376.26\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) of it may be removed totally during aeration for 20 minutes by $20\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ of intact cells. The altering process of aeration and non-aeration was used for increasing efficiency of treatment.

Keywords: municipal sewage, treatment, multiple functional mixed microbes.

我国对城市污水的治理大多采用活性污泥法^[1], 但处理效率低, 投资大, 能耗高, 亟待改进处理技术^[2]。70年代以来逐步研究和开发了针对特定的工业污染物选育高效降解菌, 接种挂膜, 治理特定的工业废水取得良好的效果^[3-5], 并已在多种不同行业中广泛应用。但尚未见这一技术应用于处理城市污水的报道。

本研究针对城市污水中除含一般生活污水中的多种有机质和洗涤剂外, 还可能含有某些工业废水中的污染物的特点, 选育能形成絮凝体(flocs)且有絮凝作用的微生物, 并能利用城市污水中的成分, 由此组成多功能混合菌, 增加有效微生物的生物量, 改进污泥的凝聚沉降性, 提高处理效果。报道多功能混合菌的培养条件及对城市污水处理效果。

1 材料与方法

1.1 样品来源及培养基

水样为城市污水及工业废水, 培养基成分见表 1。

1.2 测定方法

(1) 形成絮凝体的测定 初筛用目测观察团块的形成。复筛时根据培养液静止前后 OD 值计算沉降率^[7]。

* 国家“九五”科技攻关课题(The National Key Science and Technology Project during the Ninth Five-year Plan Period): 96-909-01-03
作者简介: 贾省芬(1943~), 女, 副研究员, 主要研究方向为环境微生物学。
收稿日期: 1999-06-18

表 1 培养基成分

分离菌株	培养基成分/ $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
细菌	常规牛肉汁固体培养基
酵母菌	常规麦芽汁固体培养基
丝状真菌	常规土豆汁固体培养基
形成絮凝体的细菌 ^[6]	甲基苯甲酸钠 0.5, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.4, K_2HPO_4 0.1, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.2, CaCl_2 0.02, 酵母膏 0.02, 琼脂粉 1.8
形成絮凝体并有絮凝作用的细菌	(A) 葡萄糖 2, 蛋白胨 2, KH_2PO_4 0.5 ^[7]
降解污染物的高效菌的基础培养基	(B) 可溶性淀粉 10~20, NaNO_3 1, KCl 0.5, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5, K_2HPO_4 0.5
多功能混合菌生长的合成培养基	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.1, KH_2PO_4 0.5, Na_2HPO_4 0.5, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5, 酵母膏 0.02, 另补加所降解污染物为碳源, 其量根据需要而定
多功能混合菌生长的合成培养基	KH_2PO_4 0.1, MgSO_4 0.05, CaCl_2 0.05, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.5, 糖 0.5, 污水或自来水配制, 其中碳、氮源量视需要而定

(2) 微生物对高岭土的絮凝作用 按文献^[8]的方法进行测定。

(3) 利用芳香化合物为唯一碳源生长的微生物的筛选 将不同芳香化合物按所需浓度加入至前述基础培养基中作为碳源, 培养 3d 后在 540nm 波长测定菌生长 OD 值, 以不加碳源接入相等菌量作为对照。

(4) 其他污染物及 BOD_5 、 COD_{Cr} 的测定均按常规方法进行。

1.3 菌种鉴定

(1) 细菌鉴定按《简明伯杰细菌鉴定手册》第八版^[9]。

(2) 酵母菌按 K reger-Van Rij NJW 所编“酵母菌分类研究”中的有关部分进行鉴定^[10]。

2 结果

2.1 高效多功能微生物的筛选

从北京高碑店和武汉城市污水处理厂及其他工业废水中采集的 20 余个样品中, 共分离到各种微生物 700 余株, 经反复筛选获得能形成絮凝体并对高岭土有絮凝作用及其他功能的芽孢杆菌 7 株(表 2), 利用多种芳香化合物及具有其他功能的细菌 6 株(表 3), 酵母菌 7 株(表 4)。

表 2 形成絮凝体并有絮凝作用的细菌

菌号	菌名	沉降率 /%	对高岭土的絮凝率/%	淀粉利用率 ¹⁾ /%	其他功能
P56	巨大芽孢杆菌	30.02	35	100	能以 $1\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 苯甲酸钠为唯一碳源生长
P82	巨大芽孢杆菌	68	46.84	100	同上
P87	巨大芽孢杆菌	69	77	94	同上
W25	枯草芽孢杆菌	65.07	68.6	99.7	分解蛋白质
W29	地衣芽孢杆菌	72.01		96.5	同上
W30	坚实芽孢杆菌	27.39	52.97	94.8	同上
W31	地衣芽孢杆菌	35.95	72.09	98.8	同上

1) 淀粉浓度为 0.2%, 培养 20~24h

表 3 具有其他功能的细菌

菌号	菌名	功能
P7	利斯特氏菌	能利用苯甲酸钠, 甲苯, 乙苯, 苯酚等多种芳香化合物为唯一碳源
P13	欧文氏菌	同上
S-6	蜡状芽孢杆菌	降解染料、脱色
T-4	柠檬细菌	同上
Z-7	志贺氏菌	降解洗涤剂
A25	巨大芽孢杆菌	产絮凝剂

2.2 多功能混合菌完整细胞降解城市合成污水中 COD_{Cr} 和 BOD_5 的效果

表 4 具有其他功能的酵母菌

菌号	菌名	功能
C139	解脂假丝酵母	分解脂肪
C40	同上	同上
3-8	丝孢酵母	降解苯酚
11-3	同上	同上
11-6	同上	同上
8-3	假丝酵母	同上
10-3	同上	同上

应用生物技术处理废水, 其处理效果很大程度取决于高效降解污染物的微生物的存在、数量及降解活

性. 为此比较了不同浓度的多功能混合菌完整细胞对合成污水中 COD_{Cr} 和 BOD_5 的去除效果. 收集在营养肉汁上生长的细胞处理 $COD_{Cr} 300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $BOD_5 150 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的合成污水. 试验结果表明当细胞浓度达 $20 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 湿菌体时, 只需曝气 20 min, BOD_5 、 COD_{Cr} 均可完全去除. 为了便于比较不同条件的去除效率, 本试验采用人工合成污水, 提高 BOD_5 、 COD_{Cr} 的浓度.

图 1 结果表明, 当污水的 COD_{Cr} 为 $806 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 在 20 min 内, 如果细胞浓度为 $5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$, 只能去除 $100.8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 细胞浓度增加到 $10 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时, 便能去除 $318.13 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 若继续增至 $20 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时, 便能去除高达 $580.64 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 COD_{Cr} . 从图 2 可见, BOD_5 的去除有着同样趋势, 即随细胞浓度的增大, 对 BOD_5 的去除量和去除率也在增加, 当细胞浓度由 $5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 增至 $20 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时, BOD_5 的去除量也相应由 $158.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 增至 $376.86 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 由此表明: 污水 COD_{Cr} 小于 $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, BOD_5 小于 $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 若设法使处理系统中的生物量达到 $20 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$, 只需曝气 20 min 便可全部去除.

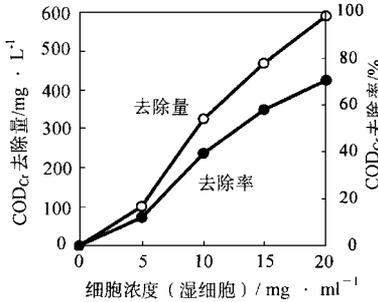


图 1 细胞浓度对合成生活污水中 COD_{Cr} 去除的影响

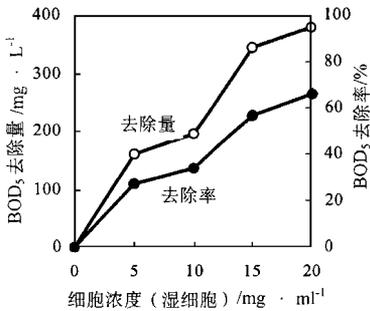
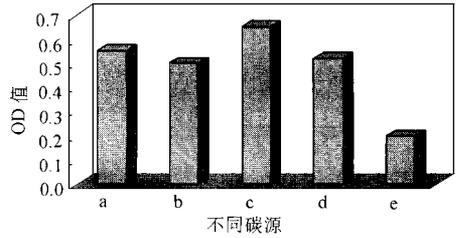


图 2 细胞浓度对合成生活污水中 BOD_5 去除的影响

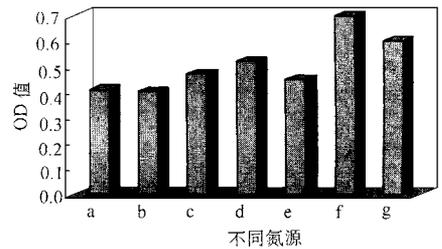
2.3 多功能混合菌的培养条件

在多功能混合菌的培养过程中, 为迅速得到量大, 价廉的高活性细胞, 有必要对营养源: 碳源、氮源及培养条件加以探讨.

(1)不同碳氮源对多功能混合菌生长的影响 采用上述混合菌生长在合成培养基上, 不同碳源选用红糖、白糖、葡萄糖、淀粉等; 不同氮源选用 NH_4Cl 、 $(NH_4)_2HPO_4$ 、 $NaNO_3$ 、 $(NH_4)_2SO_4$ 、尿素、牛肉膏、蛋白胨等. 接种后 $30^\circ C$ 摇床培养 15h, 在 460 nm 波长测 OD 值. 图 3、图 4 结果表明: 作为碳源以红糖最好, 其次为葡萄糖、白糖、蔗糖, 淀粉最差. 氮源中有机氮(尿素除外)优于无机氮, 各种无机氮相差不大.



a. 葡萄糖 b. 蔗糖 c. 红糖 d. 白糖 e. 淀粉
图 3 不同碳源对多功能混合菌生长的影响



a. 氯化铵 b. 硫酸铵 c. 磷酸氢二氨
d. 硝酸铵 e. 尿素 f. 牛肉膏 g. 蛋白胨
图 4 不同氮源对多功能混合菌生长的影响

(2)最适生长温度和 pH 值 采用混合菌生长在合成培养基和最适碳、氮源. 选取 pH 为 5、6、7、8、9、10、11 和温度为 $4^\circ C$ 、 $15^\circ C$ 、 $20^\circ C$ 、 $25^\circ C$ 、 $30^\circ C$ 、 $37^\circ C$. 接种后摇床培养 15h, 在 460 nm 波长测 OD 值. 图 5 表明: 多功能混合菌生长 pH 范围为 6~10, 最适 pH 值 7~9, 图 6 表明: 生长温度为 $15 \sim 37^\circ C$, 最适温度为 $30^\circ C$. 其生长的适宜 pH 和温度范围广泛, 故有四季适合, 应用面广的优点.

2.4 应用多功能混合菌处理城市污水最佳流程的选择

用生物法处理城市污水时, 处理系统中高效微生物的数量与分解污染物的活力是运行中的关键问题之一. 除水质变化的影响因素外, 很大程度上取决于反应器的选择和最适宜的处理工艺, 为此比较了多功能混合菌的完整细胞在采用 4 种工艺流程中的效果(图 7),

结果见表 5.

表 5 结果表明: 含 COD_{Cr} $758.49\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, BOD_5 $567.6\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的合成污水, 在细胞反应 40m in 时间里, 4 种不同处理工艺流程以缺氧、好氧交替使用的工艺有利于提高 COD_{Cr} 的处理效果.

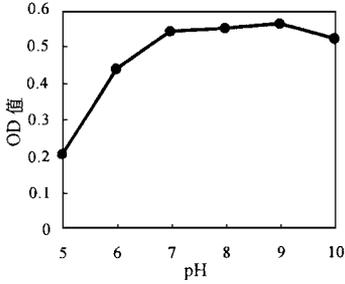


图 5 pH 值对细胞生长的影响

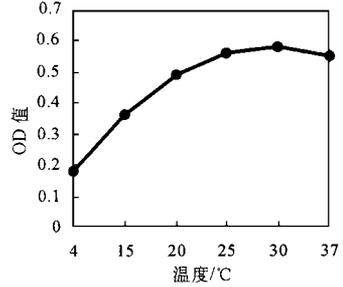


图 6 温度对细胞生长的影响

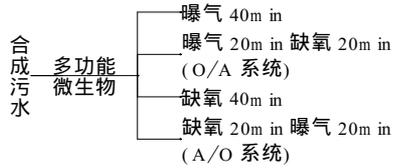


图 7 合成污水处理的不同工艺流程

表 5 最佳处理工艺流程的选择¹⁾

处理系统	通气条件	COD_{Cr} 去除量	COD_{Cr} 去除率	BOD_5 去除量	BOD_5 去除率
		$/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	$\%$	$/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	$\%$
好氧系统	好氧 40m in	569.05	75.02	411.34	72.22
间歇系统(O/A)	好氧 20m in				
	厌氧 20m in	616.22	81.25	399.18	70.08
间歇系统(A/O)	厌氧 20m in				
	好氧 20m in	606.81	80.00	407.18	71.49
缺氧系统	厌氧 40m in	530.91	70.00	387.78	68.10

1) 细胞浓度为 $5\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 湿菌体, 好氧为 30°C 摇床培养, 缺氧为静止培养; 起始 COD_{Cr} $758.49\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, BOD_5 $567.6\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

综合上述实验结果, 筛选的多功能混合菌不仅去除污水中 COD_{Cr} 、 BOD_5 的效率较高, 且适应生长的 pH 和温度范围较广. 若采用间歇曝气生物膜法去处理城市污水, 能集传统生物膜法和 SBR 法的优点, 加上多功能混合菌的独特优势, 定能收到理想的处理效果.

参考文献

- 1 凌京蕾, 赵亚乾. 我国城市污水处理设备的现状与发展之浅见. 环境保护, 1997, 10: 8~ 10.
- 2 吴乾菁, 李昕. 微生物菌剂研究的进展. 城乡生态环境, 1998, 21(2): 22~ 29.
- 3 贾省芬, 刘志培, 杨惠芳. 厌氧-好氧投菌法处理印染废水. 环境科学, 1992, 13(5): 20~ 24.
- 4 杨惠芳等. 应用混合菌处理腈纶废水中的硫脲酸钠. 环境科学学报, 1982, 2(2): 162~ 166.
- 5 Yang H F, Jia S F and Xian H J. The addition of microbes for treating textile wastewater. J. Environ. Sciences(Chi-

- na), 1991, 3(1): 95~ 100.
- 6 Unz R F, Farrah S R. Use of aromatic compounds for growth and isolation of zoogloea. Applied Microbiology, 1972, 23(3): 524~ 530.
- 7 Shimizu N and Odawara Y. Floc-forming bacteria isolated from activated sludge in high-BOD loading treatment. J. Ferment. Technol., 1985, 63(1): 67~ 71.
- 8 Shimofuruya H et al. The production of flocculating substance by *Streptomyces griseus*. Biosci Biotech. Biochem., 1996, 3(3): 498~ 500.
- 9 霍尔 J G 主编. 刘复今等编译. 简明伯杰氏细菌鉴定手册(第八版). 济南: 山东大学出版社, 1988. 105~ 217.
- 10 Van der Walt J P, Yarrow D. Method for isolation, maintenance, classification and identification of yeasts. In Kreger-van Rij N J W. The yeasts, a taxonomic study. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1984, 45~ 108, 585~ 734.