

# 微生物絮凝剂的研究进展

郑怀礼 张海彦 钱力

(重庆大学化学化工学院, 重庆 400044)

**摘要:**介绍了微生物絮凝剂的特性和优点。着重讨论了影响微生物絮凝剂产出的因素、影响絮凝活性的因素以及微生物絮凝剂的作用机理和成分分析等。指出今后的研究方向为:筛选高产菌株、降低培养基成本、优化培养条件,改进微生物絮凝剂的结构和理化性质的测试方法,深入研究絮凝机理,利用基因和生物工程技术提高微生物絮凝剂的性能,研究微生物絮凝剂与传统絮凝剂的复合,同时加强微生物絮凝剂的应用研究,对工业化生产条件进行优化。

**关键词:**微生物絮凝剂;絮凝剂产生菌;影响因素;絮凝机理

中图分类号:TQ314.253;X703.5

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2003)10-0022-03

## Research progress of microbial flocculants

ZHENG Huai-li, ZHANG Hai-yan, QIAN Li

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** The properties and advantages of microbial flocculants were introduced and the factors might influence the production and activity of microbial flocculants and their mechanism and components analyses were given emphasis to discuss. The research directions were pointed out as followings: screening out high yield strains, cutting down culture media cost and optimizing the conditions of cultivation; improving the methods to test the composition and physical and chemical properties of microbial flocculants; going deep into the mechanism of flocculation; improving the flocculation activity by taking advantage of the technology of gene and bioengineering; integrating the usage of microbial flocculants with traditional flocculants and enhancing the research on application of microbial flocculants at the same time; optimizing the conditions for industrial production.

**Key words:** microbial flocculants; flocculants producing bacterium; factors; mechanism of flocculation

絮凝剂是用途广泛的水处理剂,是絮凝法水处理技术的关键和核心基础<sup>[1-4]</sup>。絮凝剂已成为水处理剂开发与应用的热点<sup>[5-6]</sup>。过去广泛应用的无机絮凝剂存在用量大、絮凝效果欠佳等不足,一些无机絮凝剂如铝盐絮凝剂还存在二次污染。而大多数人工合成有机高分子絮凝剂的残留单体对人体健康有害,如目前广泛使用的聚丙烯酰胺。微生物絮凝剂具有絮凝性好、效果稳定、无二次污染、安全无害等特性,可以克服无机絮凝剂和人工合成有机高分子絮凝剂本身固有的缺陷,最终实现无污染排放。20世纪70年代初,国外就对微生物絮凝剂进行了研究,且有多种牌号的微生物絮凝剂粉末制品和生物活液销售,用于处理废水、快速清除下水道淤塞和解决污泥膨胀问题等<sup>[7]</sup>。

## 1 概况

微生物絮凝剂是一类由微生物产生的絮凝代谢产物。按利用微生物的不同部分,微生物絮凝剂可分为直接利用微生物细胞的絮凝剂、从微生物细胞提取的絮凝剂以及微生物细胞代谢产生的絮凝剂,如GS-7<sup>[8]</sup>。按产微生物絮凝剂的菌株情况,微生物絮凝剂又可分为纯种菌株及其产生的微生物絮凝剂,国内研究的多属此类;混合菌株及其产生的微生物絮凝剂,如Kurane等分离的产微生物絮凝剂微生物R-3就是4种菌株的混合体<sup>[9]</sup>;基因复合型菌株<sup>[10]</sup>,不仅具有絮凝的功效且有降解污染物质的能力。

自20世纪70年代以来,日本在微生物絮凝剂

收稿日期:2003-05-20;修回日期:2003-08-13

基金项目:重庆市重点攻关项目(7517-03)、国家自然科学基金重点项目(59838300)

作者简介:郑怀礼(1957-),男,博士,教授,从事絮凝科学与技术的研究,023-65120827, zhenghl@cq.cngh.com。

这一领域的研究工作一直处于领先地位。早在1952年就从活性污泥中分离出具有絮凝活性的菌株<sup>[11]</sup>。1976年 Nakamura 等<sup>[12]</sup>从霉菌、细菌、放线菌等菌种中筛选出19种具有絮凝能力的微生物。1985年 Takagi 等研究了拟青霉属微生物产生的絮凝剂 PE101, 1986年仓根隆一郎等从日本的旱田土

壤中分离筛选得到一种命名为 NOC-1 的絮凝剂, 大大推动了微生物絮凝剂的研究进程。Kurane 等<sup>[13]</sup>从土壤中分离出能产生微生物絮凝剂的红平红球菌株 *Rhodococcus erythropolis* S-1。我国对微生物絮凝剂的研究则从最近几年才开始, 且主要停留在实验室研究阶段, 有关研究的报道见表1。

表1 我国微生物絮凝剂研究报道

研究者	菌种来源	菌属	最佳碳源	最佳氮源	微生物	有效成分
彭辉等 <sup>[14-15]</sup>	活性污泥	<i>Aspergillus niger</i>	蔗糖	NN <sub>3</sub>	TH6	多糖质
邓述波等 <sup>[16]</sup>	土壤	<i>Bacillus mucilginons</i>	可溶性淀粉	有机氮	MBFA9	多糖
陆茂林等 <sup>[17]</sup>	土壤及活性污泥	<i>Nocardia</i> sp.			JIM-15(89、127)	糖蛋白
刘紫鹃等 <sup>[18]</sup>	活性污泥	<i>Bacillus megaterium</i>	麦芽糖	酵母提取物	A25	

## 2 影响微生物絮凝剂产出的因素

### (1) 营养物质

培养微生物絮凝剂的营养成分有碳源、氮源、无机离子、水、生长因子及其他物质, 不同絮凝剂产生菌对培养基中的营养成分要求不一样, 即使是同一种成分, 各产生菌对其要求也不一样。目前对培养基的研究焦点集中在降低培养基成本。Ryuichiro Kurane 等<sup>[13]</sup>用糖类以外的物质作碳源, 研究表明大豆饼可作为有机氮源, 水产加工废水可代替酵母液作为营养源, 含鱼血的废物也是优良碳源。胡勇有等<sup>[19]</sup>研究发现察氏培养基比原用培养基更为经济实用。此外, 碳氮比对絮凝剂的产生也有影响。

### (2) pH值和温度

任何微生物只有在一定的环境中才能生长, 适合微生物生长代谢的 pH 值一般为 6~9, 适宜温度为 30℃左右。每一种微生物都有自己最适的 pH 值和温度。微生物絮凝剂 TH6 的最佳培养 pH 值为 6.0, 温度为 30℃<sup>[15]</sup>; 叶晶菁等<sup>[20]</sup>分离出的 BD-4 菌株在 pH 值为 7, 温度为 25℃时生长最好。但生长的最佳 pH 值和最佳产絮凝剂 pH 值并不都一致, 如 RFB73<sup>[21]</sup>的合成絮凝剂的最适 pH 值与菌生长的最适 pH 值就不一致。同样, 生长温度和最佳产絮凝剂温度也不都一致, 如程金平等<sup>[22]</sup>培养分离的 Dfjm-1 菌株。

### (3) 通气量(摇床转速)

通气量对絮凝剂的产生有一定影响<sup>[20,23]</sup>。柴晓利等<sup>[21]</sup>的研究表明, 通气量对 RFB73 的生长影响不大, 但过量的通气量会引起絮凝活性的下降。

### (4) 离子种类和离子强度

离子种类、离子强度对微生物絮凝活性有较大的影响<sup>[24]</sup>。刘紫鹃等<sup>[18]</sup>发现所有供试的 1 价及 3

价阳离子对絮凝均无任何影响, 而大部分的 2 价阳离子都有或多或少的促进作用, 其中以 Ca<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup> 的效果最为显著。而叶晶菁等<sup>[20]</sup>发现在 BD-4 的培养基中添加金属离子不影响絮凝剂的合成。

此外, 接种量、种龄、培养时间、遗传因素<sup>[25]</sup>和工艺流程等对絮凝剂的合成也有影响。

## 3 影响絮凝活性的因素

### (1) pH值

环境的 pH 值直接影响絮凝剂表面的 Zeta 电位。由于酸碱度的变化影响微生物絮凝剂及悬浮颗粒表面电荷的性质、数量和中和电荷的能力, 从而影响它们之间的靠近和吸附行为。有些微生物絮凝剂的 pH 值范围窄, 如 JIM-127<sup>[17]</sup>在 pH 值为 3.5 左右时絮凝活性较高; 而有些微生物絮凝剂具有广泛的 pH 值适应性, BD-4<sup>[20]</sup>在 pH 值为 5~11 时絮凝率均可达 80% 以上。

### (2) 温度

高温可使某些生物高分子物质空间结构改变, 导致变性, 使某些活性基团不再与悬浮颗粒结合, 因而表现出絮凝活性的下降。也有的絮凝剂对温度不敏感, 如 *Paecilomyces* sp. I-1 产生的絮凝剂, 其絮凝活性不随温度变化<sup>[26]</sup>, 这是由于该絮凝剂主要是由多聚糖构成, 其表现絮凝活性的主要部分——多聚糖结构(如聚己糖胺)在高温处理后结构不改变, 仍能与胶体颗粒结合, 因此活性不随温度改变。

### (3) 金属离子

一定浓度的金属离子可以加强絮凝剂分子与悬浮颗粒以离子键结合而促进絮凝, 即加强其架桥作用和中和作用。大多数阳离子如 Ca<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Al<sup>3+</sup>、Fe<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup> 等作为助凝剂能提高絮凝活性。但加入的金属离子浓度不宜太高, 大量的离子

会占据絮凝剂分子的活性位置,把絮凝剂分子与悬浮颗粒隔开而抑制絮凝。此外,各种金属离子对于絮凝机理不同的微生物絮凝剂的影响并不一致,比如 BD-4 以  $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  为助凝剂的促进作用较好<sup>[20]</sup>。也有报道指出,某些盐类的加入或过量加入会降低絮凝剂的活性。

此外,微生物絮凝剂的絮凝性能还与絮凝体系中絮凝剂和被处理物的浓度,胶体粒子的表面结构,细胞表面的疏水性,絮凝剂的用量、分离方法和工艺设计等有关。

#### 4 作用机理及成分分析

微生物絮凝剂的作用机理尚处于探讨和完善阶段<sup>[27]</sup>。目前研究较多的有以下几种:桥架絮凝机理、电荷中和机理、卷扫作用机理以及离子键、氢键结合学说<sup>[28-29]</sup>。

为了对微生物絮凝剂有更深入的了解,研究者已采用多种测试技术对微生物絮凝剂的组成、结构、分子质量等进行研究。到目前为止,已报道的微生物产生的絮凝物质为糖蛋白、黏多糖、蛋白质、纤维素等高分子化合物。对微生物絮凝剂的成分和结构的分析主要采用化学分析法、生物分析法以及色谱分析法。王镇等<sup>[30]</sup>采用裂解气相色谱分析法分析微生物絮凝剂的结构。邓述波等<sup>[16]</sup>合成的 MBFA9 主要是由中性糖和己糖醛酸组成。

微生物絮凝剂的相对分子质量一般在  $10^5$  以上,测定方法通常采用凝胶色谱法。絮凝剂产生菌 *Rhodococcus erythropolis* S-1 产生的微生物絮凝剂的相对分子质量超过  $2 \times 10^6$ ;从旱田土壤中分离筛选得到微生物絮凝剂 NOC-1 的最大相对分子质量为  $7.5 \times 10^5$ <sup>[26]</sup>。

#### 5 发展趋势

目前微生物絮凝剂的研究大多处于菌种的筛选阶段,且成本较高,要从实验室研究阶段转化到大规模工业化生产,并在实际工程上应用还须对微生物絮凝剂进行深入的研究。今后的研究方向为:筛选高产菌株、降低培养基成本、优化培养条件;微生物絮凝剂结构和理化性质的测定,将现代测试方法引入微生物絮凝剂检测中;絮凝机理的深入研究;利用基因和生物工程技术提高微生物絮凝剂的性能;复合絮凝剂的研究,将微生物絮凝剂与传统的其他絮凝剂复合,研究复合后的絮凝作用机理和絮凝效果等<sup>[31]</sup>;同时还要进行微生物絮凝剂的应用研究,对

工业化生产条件进行优化。

#### 参考文献

- [1] 袁宗宣,郑怀礼,舒型武.[J].重庆大学学报,2001,24(2):143-147.
- [2] 肖锦,杞永亮.[J].现代化工,1997,17(12):52-55.
- [3] 舒型武,郑怀礼.[J].现代化工,2001,21(10):13-16.
- [4] 朱城临.[J].现代化工,2001,21(10):1-4.
- [5] 郑怀礼,舒型武.[J].现代化工,2001,21(11):28-30.
- [6] 马晓欧,康思琦,刘小军,等.[J].现代化工,2000,20(11):42-44.
- [7] 黄民生,史宇凯,朱莉.[J].工业水处理,2000,20(5):13-15.
- [8] 尹华,彭辉,贾宗剑,等.[J].城市环境与城市生态,2000,13(1):8-10.
- [9] Kurane R, Matsuyama H. [J]. Biosci Biotechnol Biochem, 1994, 58(9):1589-1594.
- [10] 游映玖.[J].环境科学与技术,2002,25(1):43-48.
- [11] 罗志滕.水污染控制工程微生物学[M].北京:北京科学技术出版社,1988.233.
- [12] Nakamura J, Miyashiro S, Hirose Y. [J]. Agric Biol Chem, 1976, 40(2):377-383.
- [13] Kurane R, Hatamochi K, Kakuno T, et al. [J]. Biosci Biotechnol Biochem, 1994, 58(2):426-429.
- [14] 彭辉,尹华,梁郁强,等.[J].环境科学与技术,2002,25(1):6-8.
- [15] 尹华,李桂娇,彭辉,等.[J].重庆环境科学,2002,24(2):40-42.
- [16] 邓述波,余刚,蒋展鹏.[J].水处理技术,2001,27(1):22-25.
- [17] 陆茂林,施大林,王蕾,等.[J].食品与发酵工业,1996,23(3):26-29.
- [18] 刘紫鹃,刘志培,杨惠芳.[J].微生物学通报,2001,28(1):5-8.
- [19] 胡勇有,高健,黄晓武,等.[J].华南理工大学学报(自然科学版),2001,29(6):19-22.
- [20] 叶晶善,谭天伟.[J].北京化工大学学报,2001,28(1):10-13.
- [21] 柴晓利,陈洁.[J].环境污染与防治,2001,23(2):61-62.
- [22] 程金平,郑敏,张兰英,等.[J].环境科学与技术,2001,24(3):28-31.
- [23] 邓述波,胡筱敏,罗茜.[J].东北大学学报,1999,20(5):525-528.
- [24] 程金平,郑敏,张兰英,等.[J].世界地质,2000,19(1):98-100.
- [25] 洪含辉,张晓琪,洪雪辉,等.[J].株洲工学院学报,2002,16(4):103-104.
- [26] 陈坚,任洪强,堵国成,等.环境生物技术应用与发展[M].北京:中国轻工业出版社,2000.251-258.
- [27] 尹华,李桂娇,彭辉.[J].云南环境科学,2000,19(增刊):226-229.
- [28] 王猛,施宪法,柴晓利.[J].化工环保,2001,21(6):328-332.
- [29] 陶涛,卢秀清,冷静,等.[J].环境科学进展,1999,7(6):21-25.
- [30] 王镇,王孔星,谢裕敏,等.[J].微生物学通报,1994,20(6):343-347.
- [31] 沈荣辉,应惠芳,黄民生.[J].化工装配技术,2000,21(6):31-35. ■