

微生物絮凝剂研究和应用进展

陈 烨¹, 连 宾^{1,2}

1. 贵州工业大学 化学与生物工程学院, 贵阳 550003;

2. 南京师范大学 生命科学学院, 南京 210097

摘 要: 微生物絮凝剂是由微生物产生的有絮凝活性的代谢产物, 由于微生物絮凝剂具有降解性能好、应用广泛、成本低、操作简单及不会导致二次污染等优点, 正日益引起人们的广泛重视。本文综述了微生物絮凝剂的开发现状和应用进展, 系统介绍了微生物絮凝剂产生的条件、絮凝机理以及影响其絮凝活性的因素, 着重列举了微生物絮凝剂在水处理领域中的应用实例。最后对微生物絮凝剂的发展趋势进行了展望。

关 键 词: 微生物絮凝剂; 絮凝性; 废水处理; 应用进展

中图分类号: Q936 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2802(2004)01-0083-07

絮凝剂是一种可使液体中不易沉降的悬浮颗粒凝聚沉降的物质, 包括无机絮凝剂、有机合成高分子絮凝剂和生物高分子絮凝剂^[1]。微生物絮凝剂(MBF)是利用生物技术, 从微生物体或其分泌物中提取、纯化而获得的一种安全、高效、能自然降解的新型水处理絮凝剂^[2]。由于它不但具有传统化学絮凝剂的特性, 而且有易于微生物降解、无二次污染、对有机胶体絮凝效率高和絮凝物易脱水等优点, 因而近年来倍受人们的关注。

1 基础研究概况

1.1 影响微生物絮凝剂形成的各种因素

影响微生物絮凝剂形成的因素很多, 如培养基组成、初始 pH 值、通气状况、培养温度及多菌种混合培养等。

培养基成分包括合适的碳源、氮源以及其它生长因子, 微生物絮凝剂的形成除与菌种有关外, 还与其所产絮凝剂的条件有关。如红平红球菌(*Rhodococcus erythropolis*)产粘多糖类絮凝剂最适碳源为葡萄糖和果糖等, 最适氮源为尿素和硫酸铵^[3]。拟青霉菌 SP-1 以淀粉为碳源, 以酪蛋白的水解产物为氮源时有利于絮凝剂的产生^[4]。应该指出的是, 微生物絮凝剂一般是细胞的次生代谢产物,

特定微生物絮凝剂产生的最佳条件一般不同于细胞生长和数量增加的最佳条件。当碳氮比较小时, 一般有利于微生物菌体数量的增加, 反之, 则有利于产生微生物絮凝剂。

培养基初始 pH 值可影响絮凝剂产生菌的生长和絮凝剂的分泌。因此调节好初始 pH 值, 使其生长环境的 pH 值保持在某一最适范围, 这时微生物生长迅速, 分泌絮凝剂旺盛。

大多微生物生长的最适温度范围在 20~37 °C。温度太低会使生长速度变慢, 温度过高, 则使菌体产生絮凝剂的活性或产量降低^[5]。

培养初期大量通气有利于微生物生长, 但也会阻止絮凝剂絮凝成较大的颗粒, 中后期可适当降低通气量。黄民生等^[6]发现在好氧条件下, 许多白腐真菌对染料有广谱脱色和降解能力。另外, 培养过程中适当的搅拌也有利于反应物质的传递, 反应物的初始浓度有时也会成为影响因素。辛宝平等^[7]在利用优势菌株对溴氨酸脱色的实验中发现溴氨酸(1-氨基-4-溴蒽醌-2-磺酸)起始浓度提高, NKS-16 菌株对染料的脱色效果会更好。

菌株的混合培养与絮凝剂之间也有一定的关系。Kurao^[8]报道了一组能够产生大量粘液的混合菌株, 在液体培养基中会产生 APR-3 絮凝剂。这种

收稿日期: 2003-06-20 收到, 11-03 改回

基金项目: 中国科学院环境地球化学国家重点实验室基金(HDH0109010)、贵州工业大学科学基金和校基金资助

第一作者简介: 陈烨(1975—), 男, 在硕士研究生, 事生物化工研究。

混合菌株是由厄氏菌属 (*Oerskovia sp.*)、不动杆菌属 (*Acinetobacter sp.*)、土壤杆菌属 (*Agrobacterium sp.*) 和肠杆菌属 (*Enterobacter sp.*) 中的 4 个菌种组成。实验证明,单个菌株难以产生絮凝剂,只有上述 4 个菌种有效混合培养才能产生絮凝剂。

也有一些菌株在形成微生物絮凝剂时,所需要的条件比较特殊。如 GY92 硅酸盐细菌在形成絮凝剂的过程中必须与特殊的矿物复合,形成细菌矿物复合体;复合体有很强的絮凝和吸附作用,同时在菌株的培养过程中不需要添加任何的氮源^[9]。

1.2 微生物絮凝剂的絮凝机理

(1) 桥联作用机理:这是目前普遍被接受的一种理论(图 1)。该机理认为絮凝剂大分子借助离子键、氢键和范德华力,同时吸附多个胶体颗粒,在颗粒间产生“架桥”,从而形成一种网状的三维结构而沉淀下来。它可以解释大多数微生物絮凝剂所引起的絮凝现象,N. Levy 等以吸附等温线和 ζ 电位测定表明,环圈项圈藻 PCC-6720 所产絮凝剂确实是以“桥联”机制为基础的。电镜照片显示的聚合细菌间由细胞外聚合物搭桥相连,正是这些“桥”使细胞丧失了胶体的稳定性而紧密地聚合成凝聚体沉淀^[10]。架桥的必要条件是微粒上有空白的表面。一般来说,分子量大的微粒对架桥有利,絮凝效率高,但因为架桥过程中也会发生链段间的重叠,从而产生一定的排斥作用;若分子量过高,则会削弱架桥作用,使絮凝效果变差。另一方面,如果 MBF 的带电符号与微粒相反,则絮凝剂的离解程度就大,电荷密度越高,分子越易扩展,越有利于架桥。

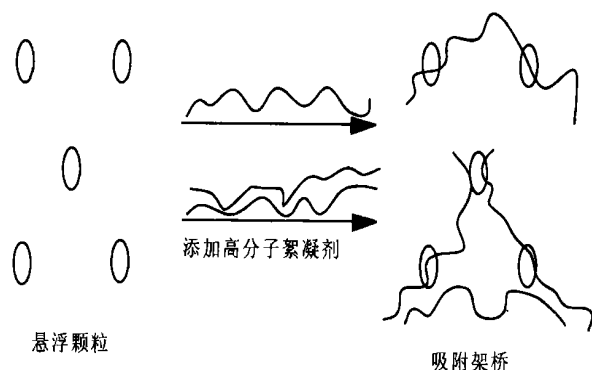


图 1 高分子絮凝剂的吸附架桥过程

Fig. 1 The adsorption bridging effect of macromolecule flocculants

(2) 电性中和机理:水中胶体一般带有负电荷,当带有一定正电荷的链状生物大分子絮凝剂或其水解产物靠近它时,就中和其表面部分电荷,使胶

体脱稳,胶粒之间、胶粒与絮凝剂分子之间互相碰撞,通过分子间作用力凝聚而沉淀。许多实验中加入金属离子或调节 pH 值即可影响其絮凝效果,这主要通过影响其带电性而起作用^[11]。

(3) 化学反应机理:生物大分子中某些活性基团与被絮凝物质相应的基团发生了化学变化,聚集成较大分子而沉淀下来,通过对生物大分子改性、处理,使其添加或丧失某些活性基团,絮凝活性将大受影响^[12]。有些学者认为这些絮凝剂絮凝活性大部分依赖于活性基团,温度影响絮凝效果,主要是通过影响其化学基因的活性来影响其化学反应的^[13]。

1.3 影响微生物絮凝剂絮凝作用的因素

微生物絮凝性主要由遗传因素决定,絮凝剂的基因控制是一个复杂的过程,涉及到调节基因与抑制基因的相互作用,结构基因的表达、絮凝剂的合成和分泌^[13]。迄今人们已发现十几个絮凝基因。值得注意的是,凡具有絮凝性的酵母菌体细胞中均可分离到分子量为 37 000 的多肽,凡具有 FLO_{cl} 基因与絮凝性细胞中均有 121 个氨基酸,分子量为 12 900 的多肽,而非絮凝性的细胞中均无这两种多肽。不过,含有分子量为 37 000 与 12 000 的多肽细胞未必有絮凝性^[14]。这可能是由于生物絮凝性受分子结构、分子量、活性基团等多种因素影响所致。

一般地讲,絮凝剂的分子量越大,絮凝活性越高,线性分子比非线性分子絮凝性高,分子交联越多或支链越多,絮凝性越差。絮凝性还与细胞表面的疏水性有关^[15]。指数生长后期的细胞表面疏水性强,使絮凝性增强。聚合阳离子因可增强细胞表面的疏水性而提高了细胞的絮凝性;化学处理因为降低了絮凝生物表面的吸水性而引起絮凝性下降。絮凝物质是存在于细胞表面的机能性蛋白和多糖类化学物质,有明显的乳化作用,使胶体脱稳,这反映出细胞在具有明显疏水性的同时,也具有高絮凝性的特征。

由絮凝基因表达的相关酶水平控制的絮凝素中暴露的羧基数量较多,水体中的阳离子,尤其是 Ca^{2+} 能显著改变胶体中的 ζ 电位,降低其表面电荷,促进大分子颗粒和胶体颗粒的吸附和架桥。由于絮凝基因编码的多肽在细胞壁上能发挥这类酶的功能,增加羧基的暴露量,就能增大活性,而且高浓度的 Ca^{2+} 还能保护絮凝剂不受降解酶的作用^[16]。

另外,胶粒的表面结构也会对絮凝效率产生影响^[17]。尽管生物絮凝剂对胶体颗粒有广泛絮凝作用,但对于不同的颗粒表现出不同的絮凝活性。伴

刀豆球蛋白 A 处理 Bakers 酵母细胞后丧失絮凝活性的原因,在于豆球蛋白与细胞表面的甘露糖结合,覆盖了细胞表面,阻止了细胞与 F-1 的结合^[18]。

有的生物絮凝剂因高温而破坏了结构变性和功能。Kurane^[19]报导 S-1 产生的含蛋白质的絮凝剂在开放条件下,100 °C下加热 1 s 使活性下降 50 %。不过也有的生物絮凝剂不含高温变性成分或所含的高分子对高温不敏感。

影响絮凝性的因素很多。目前的“架桥”机理还不完善,絮凝剂的吸附机理也可能不是单一的,这些问题都有待进一步研究。

2 微生物絮凝剂的实际应用

微生物絮凝剂具有如下特点:1) 高效性。同等用量下,处理效率明显高于传统絮凝剂。2) 安全无毒性。经小白鼠安全试验证明,微生物絮凝剂完全能用于食品、医药等制品的发酵后处理。3) 无二次污染。微生物产生的絮凝剂成分复杂多样,且随菌种的不同而异。迄今已报道的微生物产生的絮凝物质为糖蛋白、粘多糖、纤维素、DNA^[5]等高分子物质,分子量多在 10^5 以上,具有可生化降解性,因而不会带来二次污染。4) 用途广泛、脱色效果特好。如 NOC-1 是以红平红球菌为主体^[7],在有 Ca^{2+} 存在时对大肠杆菌、酵母、泥浆水、畜产废水、染料废水等有极好的絮凝和脱色效果^[13]。5) 投放量相对少。使用少量 MBF,就能实现大面积污水的净化作用。

微生物絮凝技术涉及最早的领域是废水处理。将其与好氧厌氧发酵处理废水工艺相结合,是目前废水处理的发展趋势。它主要包括水解-好氧生物处理法(H/O 法)、生物除磷脱氮技术和间歇式活性污泥法(SBR 法)^[20,21]。为了提高常规活性污泥法(AS 法)的处理能力和降解效果,对其进行微生物强化处理已成为环境微生物技术发展的一个主要方向。主要的强化方法有高浓度活性污泥法、微生物-铁法和微生物-活性炭法^[22]。采用微生物强化技术处理废水,能有效地脱磷脱氮和解毒。目前欧美约有 70 % 的污水处理采用微生物膜反应器法。这种方法管理方便、运行费用低,但造价很高。加拿大、丹麦、美国已先后开发出新型生物膜反应器,其发展的总趋势是最大限度地增加反应体系中的微生物量和微生物类群,尽可能发挥微生物降解污染物的活性^[23,24]。由于微生物絮凝剂具有降解性能好、应用广泛、成本低、操作简单及不会导致二次污染等优

点,已日益引起人们的关注^[25]。下面着重介绍微生物絮凝剂在污水处理方面的应用。

(1) 高浓度有机废水处理:畜产废水是 BOD 值较高的难处理的一类废水,用合成高分子絮凝剂处理时会有二次污染,用 NOC-1 微生物絮凝剂加 Ca^{2+} 处理 10 min 后,上清液接近透明,TOC(总有机碳)、OD₆₆₀ 值均显著降低,浊度去除率达 94.5 %。在鞣革工业废水中加入 C-62 菌株产生的絮凝剂,浊度去除率可达 96 %^[26]。

(2) 染料废水的脱色:由于染料废水难以生物降解,而一般的化学絮凝剂处理效果又不佳,使用微生物絮凝剂则可达到理想的效果。李智良等^[26]从活性污泥中分离出产碱假单胞菌(*Pseudomonas alcaligenes*),该菌株产生的絮凝剂在实验室对纸浆黑液和氯霉素等颜色较深的废水进行脱色处理,脱色率分别可达 95 % 和 98 % 以上。宋文华^[27]用 NX1 微生物絮凝剂在 4 h 内使 100 mg/L 蒽醌染料 KNR 的脱色率达 93 %。

(3) 高浓度无机物悬浮废水处理:微生物絮凝剂可用于高岭土、泥水浆、粉煤灰等水样的处理。用生物絮凝剂处理 100 mL 中高达 15 g 的黄土浊水时,沉降率是阳离子聚丙烯酰胺絮凝剂处理效果的 2.5 倍,是阴离子聚丙烯酰胺絮凝剂的 4 倍^[28]。陶瓷厂废水添加 NOC-1 后 5 min,釉药废水 OD₆₆₀ 从 17.2 下降到 0.35,浊度去除率 97.9 %,坯体废水 OD₆₆₀ 从 1.4 降到 0.043,浊度去除率达 96.6 %。

(4) 膨胀活性污泥的处理:不少工业废水在采用活性污泥法处理过程中,形成的活性污泥容易膨胀,从而影响处理效率,若在活性污泥中加入微生物絮凝剂,污泥容积指数能很快下降,从而消除污泥膨胀状态,恢复活性污泥的沉降能力。如甘草制药废水生化处理过程中形成的膨胀活性污泥^[29],添加 NOC-1 微生物絮凝剂后污泥沉降性能 SVI 很快从 290 mL/g 降到 50 mL/g,消除了污泥膨胀,恢复了活性污泥的沉降能力。

(5) 化工废水的净化处理:用常规的细菌分离方法从废水、土壤、活性污泥中分离出多株细菌,将单株菌培养于特殊的絮凝剂液体培养基中,培养物离心后上清液对高岭土悬液絮凝效果作为指标来衡量其絮凝活性及产絮凝剂能力,由此获得微生物絮凝剂产生菌 I-23、I-24、I-4 等 6 株,其发酵离心上清液对造纸、皮革、偶氮染料、硫化染料、电镀、彩印制板、石油化工、造币等废水及蓝墨水、碳素墨水等

具有良好絮凝效果。试验表明,废水固液分离明显、COD_{Cr}去除率 55 %98 %,悬浮物、色度、浊度去除率为 90 %以上^[26]。

(6)城市污水的处理:从城市污水及工业废水中分离选育出的高效多功能混合菌群,包括具有絮凝作用的芽胞杆菌 7 株(同时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,最适 pH 7.8,最适温度为 32 ℃,最适碳源为果糖,有机氮源优于无机氮源,利用上述多功能混合菌对城市污水处理效果表明,当细胞浓度达 20 mg/mL 时只需通气 20 min 就能完全去除污水中 580.64 mg/L COD_{Cr}和 376.26 mg/L BOD₅^[30]。

目前对微生物絮凝剂的应用研究多处于实验室阶段,大规模的工业化应用还比较少。表 1 为目前已有的部分微生物絮凝剂的主要应用范围。

表 1 部分生物絮凝剂的主要应用范围

Table 1 The applied areas of biofloculants

絮凝剂名称	絮凝剂产生菌	应用范围
NOC-1	<i>Rerythropolist</i> S-1	微生物细胞(<i>E. coli</i> 、 <i>Sacchramyces</i> sp. 等)、泥浆水、活性污泥、河底沉积物、电厂煤灰水与活性炭粉末等
	<i>Asp. sp.</i> J-42 ^[31]	微生物细胞、纤维素粉、硅胶、活性炭、氧化铝、河底污泥
	<i>Asp. sojae</i> AJ7002	啤酒酵母、活性污泥
	<i>Alcaligenes latus</i> B-16 ^[32]	钢厂废水除浊,造纸厂废水脱色,油浊液除油
PF101	<i>Paecilomyces</i> sp. I-1	微生物细胞(枯草芽孢杆菌、大肠杆菌、啤酒酵母)、红血细胞、活性污泥、纤维素粉、羧甲基纤维素、活性炭、硅藻土、氧化铝等
MF-3	<i>Sporolactomyces</i> sp.	果汁、血细胞悬液、菌悬液、泥浆水、屠宰水、碳素墨水与染液等的脱色等
	<i>P. alcaligenes</i> 8742	纸浆黑液与含氯霉素废水的脱色处理
	C-62	猪粪尿废水、红豆加工厂废水等
	<i>Oscillatoria</i> sp. ^[33]	去除水中的金属离子(Mn ²⁺ 、Pb ²⁺ 、Cd ²⁺ 、Cr ³⁺ 等)。

3 微生物絮凝剂研究展望

(1)随着微生物絮凝剂研究和应用的不断深入,降低絮凝剂的生产成本是其应用的首要条件,关键是要制备价格低廉的培养基。R. Kurane^[8]对红平红球菌的优化培养中选用了多种自然界中广泛存在的物料作培养基的成分,获得很好的效果。在以豆饼、生产废水和牛血取代酵母浸膏后,培养基的价格下降了 2/3 以上^[22]。

(2)随着微生物技术的飞速发展,微生物絮凝剂形成的分子生物学研究也逐步深入。目前,已经认识到从自然环境中分离筛选出的菌种降解污染物的能力往往有限,必须通过基因工程等方法,创建降解能力高的菌株,才能大幅度提高微生物的降解能力,以适应废水处理的要求^[3436]。这些方面的研究已有一些突破性进展,如对部分酵母菌中和絮凝有关的基因的研究,发现了至少 14 个絮凝基因,其中 FL01、FL05 絮凝基因在 1 号染色体上,FL08 在 8 号染色体上,这 3 个基因分子已被成功克隆^[23]。把 *Saccharomyces cerevisiae* 396-9-6V 菌株的 FL01 基因导入一株无絮凝性菌株的 URA3 位点上,获得了

絮凝性(FSC27 菌株)^[37]。通过杂交方式把絮凝基因引入无絮凝菌株已获成功^[38]。一旦对微生物基因认识成熟时,就可以瞄准各种废水对絮凝剂的不同要求,研制出针对性较强的高效、低成本微生物处理剂。如将有关遗传因子引入能产生絮凝剂的假单胞菌细胞中,就可提高它在活性污泥中分解甲苯的能力,得到既有絮凝性又有降解能力的新菌株^[39]。

(3)新研制的微生物絮凝剂种类还在不断增加。美国生物细菌控制系统公司从高等海藻和芦荟中分离出了能释放激素的微生物絮凝剂,处理生活废水效果良好^[14]。多个菌株的混合培养也是获得可以产生絮凝剂混合菌的一种方法。如由 4 种菌组成既能同化酞酸酐又能产生具有高絮凝活性物质 APR-3,尤其是培养基中含有淀粉和葡萄糖的时候^[8]。

(4)研究絮凝剂的新手段。C. R. Thomas 认为显微技术可以测量细胞的变形及破裂等,可以比较清楚地观察和研究絮凝过程、生物细胞的凝结和自絮凝过程。有人^[41]用计算机模拟絮凝过程来确定胶体中直链结构,及其在整个絮凝胶体分子中所占比例对絮凝效果都取得了一定的成果。

目前,微生物絮凝剂的研制和应用方兴未艾,为水处理技术的发展开拓了广阔的前景。无庸讳言,微生物絮凝剂将取代或部分取代传统的无机高分子和合成有机高分子絮凝剂。我国的微生物絮凝剂研究起步较晚,水平较低,生产成本较高,我们的目标是采用生物成分,降低生产成本。

参考文献(Reference):

- [1] 马青山,贾瑟,孙利珉.絮凝化学和絮凝剂[M].北京:中国环境科学出版社,1990.
Ma Qingshan, Jia Se, Sun Limin. Floccular chemistry and flocculants [M]. Beijing: Chinese Environmental Science Publishing House, 1990. (in Chinese)
- [2] 余荣升,徐龙君.微生物絮凝剂的现状与前景分析[J].环境污染与防治,2003,25(2):77-79.
Yu Rongshen, Xu Longjun. Progress of the microbial flocculants in wastewater treatment [J]. Environ. Pollution and Protection, 2003, 25 (2): 77 - 79. (in Chinese with English abstract)
- [3] 王镇.微生物絮凝剂的研究概况[J].微生物学通报,1993,20(6):362-367.
Wang Zhen. Progress of microbial flocculant studies [J]. Bulletin of Microorganisms 1993, 20 (6): 362 - 367. (in Chinese)
- [4] 辛宝平,庄源益,李彤.生物絮凝剂的研究和应用[J].环境科学进展,1998,6(5):57-61.
Xin Baoping, Zhuang Yuanyi, Li Tong. Progress of microbial flocculant studies and application [J]. Environ. Sci. Progr., 1998, 6 (5): 57 - 61. (in Chinese with English abstract)
- [5] 王镇,王孔星,谢裕敏.几株絮凝剂产生菌的特性研究[J].微生物学报,1995,35(2):121-127.
Wang Zhen, Wang Kongxing, Xie Yumin. Study on bioflocculant-producing microorganisms [J]. Microorganisms Journal, 1995, 35 (2): 121 - 127. (in Chinese with English abstract)
- [6] 黄民生,程永前,张国莹.白腐真菌对染料的脱色与降解[J].上海环境科学,2000,19(3):128.
Huang Minsheng, Cheng Yongqian, Zhang Guoyin. Decolorization and degradation of dyes by white rot fungi [J]. Shanghai Environmental Science, 2000, 19 (3): 128. (in Chinese with English abstract)
- [7] 辛宝平,庄源益,宋文华.优势菌株对溴氨酸脱色的实验[J].研究环境与开发,1999,14(4):72-73.
Xin Baoping, Zhuang Yuanyi, Song Wenhua. Study on decolorization of 1-amino-4-bromo-2-anthraquinonesulfonic acid by a superior strain [J]. Research Environment and Develop, 1999, 14 (4): 72 - 73. (in Chinese with English abstract)
- [8] Kurane R, Toeda K, Hatamochi K, Kahuno T. Culture conditions for production of microbial flocculant by *Rhodococcus erythropolis* [J]. Biosci. biotech. Biochem., 1994, 58(11):1589-1594.
- [9] 连宾.硅酸盐细菌的解钾作用研究[M].贵阳:贵州科技出版社,1998.
- Lian Bin. Study on the potassium releasing from minerals by silicate bacteria [M]. Guiyang: Guizhou Science and Technology Publishing House, 1998. (in Chinese)
- [10] Levy N. Physico-chemical aspects in flocculation tonite suspensions by a cyanobacterial bioflocculant [J]. Water Research, 1992, 26(2):239-254.
- [11] Zhen Wang. Screening of flocculant-producing microorganisms and some characteristics of flocculants [J]. Biotechnology Techniques, 1994, 8(11):831-836.
- [12] 邵青.高效脱色絮凝剂脱色絮凝机理浅探与其应用[J].工业水处理,2000,20(2):831-836.
Shao Qing. Study of high-effective decolor flocculation ' flocculation mechanism and application [J]. Water Treat. of Industry, 2000, 20(2):831-836. (in Chinese with English abstract)
- [13] Jarkko Hantuta, Bamford D H. The efficiency of the protein-dependent flocculation of *flavobacterium* sp. Is sensitive to the composition of grown medium [J]. Appl. Microbial, 1991, (36):100-108.
- [14] Junji Watari, Masayoshi Kudo, Norio Nishikawa. Construction of flocculent yeast cells by mating or protoplast fusion using a yeast cell containing the flocculation gene FL05 [J]. Agri. Biol. Chem., 1990, 54(7):1677-1681.
- [15] 程树培,崔益斌,杨柳燕.高絮凝性微生物育种生物技术研究与应用进展[J].环境科学进展,1995,3(1):65-69.
Cheng Shupe, Cui Yibin, Yang Liuyan. Progress in biotechnique for breeding of high flocculating microorganisms [J]. Environmental Science Progresses, 1995, 3 (1): 65 - 69. (in Chinese with English abstract)
- [16] Nocio Shimizu. Flocc-forming Bacteria Isolated from Activated Sludge in High-BOD Loading Treatment [J]. Ferment Technol., 1995, 63(1):67-71.
- [17] 翁酥颖,戚蓓静,史家良.环境微生物学[M].北京:科学出版社,1985.
Weng Suying, Qi Beijing, Shi Jialiang. Environmental microbiology [M]. Beijing: Science Publishing House, 1985. (in Chinese with English abstract)
- [18] 张本兰.高效、新型、无毒水处理剂——微生物絮凝剂的开发与应用[J].工业水处理,1996,16(1):7-8.
Zhang Benlan. High-effective, new —microbial flocculant studies and application [J]. Water Treatment of Industry, 1996, 16(1):7-8. (in Chinese with English abstract)
- [19] Kurane R, Toeda K, Toead K. Screening for and characteristics of microbial flocculants [J]. Agric. Biol. Chem., 1986, 50(9):2301-2313.
- [20] 刘德绍,郑强.关于环境生物技术在水污染治理中的研究与应用[J].重庆环境科学,2001,23(1):56-58.
Liu Deshao, Zheng Qiang. Study on environmental biological technology and its application to water pollution control [J]. Chongqing Environmental Science, 2001, 23(1):56-58. (in Chinese with English abstract)

- [21] 胡勤海,管丽莉,庄秋松. SBR 法处理磺胺废水的试验研究[J]. 环境污染与防治,2002,24(1):19-20,25.
Hu Qinghai, Guan Lili, Zhuang Qiusong. Research on treatment of sulfanilamide wastewater by means of SBR[J]. Environmental Pollution and Protection, 2002, 24(1):19-20, 25. (in Chinese with English abstract)
- [22] 全向春,刘佐才,范广裕. 生物强化技术及其在废水治理中的应用[J]. 环境科学研究,1999,12(3):22-27.
Quan Xiangchun, Liu Zucai, Fan Gangyu. Bioaugmentation and its application in wastewater treatment[J]. Research of Environmental Sciences, 1999, 12(3):22-27. (in Chinese with English abstract)
- [23] Brindle K, Stephenson T. The application of membrane biological reactors for the treatment of wastewater[J]. Biotechnology and Bioengineering, 1996, 49(6):601-610.
- [24] 王庆生,李捍东,席北斗. 利用白腐菌处理含硝基苯类化工废水的研究[J]. 环境科学研究,2002,15(2):19-21.
Wang Qingsheng, Li Handong, Xi Beidou. Study on treatment of nitrobenzene wastewater by using white rot fungus[J]. Research of Environmental Sciences, 2002, 15(2):19-21. (in Chinese with English abstract)
- [25] 游映玖. 微生物絮凝剂的研究现状和成果[J]. 环境科学与技术,2002,25(1):53-45.
You Yingjiu. Advances in studying and producing of microbial flocculant[J]. Environmental Science and Technology, 2002, 25(1):53-45. (in Chinese)
- [26] 李智良,张本兰. 微生物絮凝剂产生菌的筛选及相关废水絮凝效果试验[J]. 微生物学报,1997,3(1):67-70.
Li Zhiliang, Zhang Benlan. Screening of microorganisms which produce flocculants and their flocculation effect experiment[J]. Microorganisms Journal, 1997, 3(1):67-70. (in Chinese with English abstract)
- [27] 宋文华,胡国臣,严慧. 蒽醌染料及其中间体絮凝菌的特性[J]. 环境与城市生态,1999,12(1):22-24.
Song Wenhua, Hu Guochen, Yan Hui. The properties of anthraquinone dye and intermediate of flocculent microorganisms[J]. Environment and City Zoology, 1999, 12(1):22-24. (in Chinese with English abstract)
- [28] 孟琴,吕德伟,张国亮. 新型生物絮凝剂——生物材料效果评价[J]. 环境化学,1998,17(4):355.
Meng Qin, Lu Dewei, Zhang Guoliang. Study on the application of bioflocculant-biomaterial[J]. Environmental Chemistry, 1998, 17(4):355. (in Chinese with English abstract)
- [29] 李兆龙,虞杏英. 微生物絮凝剂[J]. 上海环境科学,1991,10(9):45-46.
Li Zhaolong, Yu Xingying. Microbial flocculants[J]. Shanghai environmental Science, 1991, 10(9):45-46. (in Chinese with English abstract)
- [30] 庄源益,李彤,宋文华. 生物絮凝剂除浊脱色作用的初步研究[J]. 城市环境与城市生态,1997,10(4):5-8.
Zhuang Yuanyi, Li Tong, Song Wenhua. Study on the removal of turbidity and colority from aqueous samples[J]. City Environment and City Zoology, 1997, 10(4):5-8. (in Chinese with English abstract)
- [31] Nam J S, Kwon G S, Lee S O, Hwang J S, Lee J D, Yoon Bo. Bioflocculant produced by *Aspergillus* sp. JS-42[J]. Biosci Biotechnol Biochem, 1996, 60(10):325-327.
- [32] Ryuichiro Kurane, Yasuhiro Nohata. microbial flocculation of waster liquid and oil emulsion by a bioflocculant from *alcaligenes latus*[J]. Agric. Boil. Chem., 1991, 55(11):1127-1129.
- [33] Bender J, Archibold E R, Ibeanuis V, Gould J P. Lead removal from contaminated water by a mixed microbial ecosystem[J]. Water Sci Technol., 1989, 1:1661-1665.
- [34] 徐斌,王竞. 微生物利用废弃物产生絮凝剂的研究与应用[J]. 工业水处理,2000,20(5):1-3.
Xu Bin, Wang Jing. Research and application of flocculant produced from microorganisms by using wastes[J]. Water Treatment of Industry, 2000, 20(5):1-3. (in Chinese with English abstract)
- [35] 程树培. 环境生物技术[M]. 南京:南京大学出版社,1994.
Cheng Shupe. Environment biology technology[M]. Nanjing: Nanjing University Publishing House, 1994. (in Chinese)
- [36] 龚莉萍,张甲耀,罗宇焯. 微生物在环境保护中的应用现状及发展趋势[J]. 重庆环境科学,2001,23(2):71-74.
Gong Liping, Zhang Jiayao, Luo Yuxuan. Review on applications and prospects of microorganisms in environmental protection[J]. Chongqing Environmental Science, 2001, 23(2):71-74. (in Chinese with English abstract)
- [37] Ishida-Fujii K, Kurana. Breeding of flocculant Industrial alcohol yeast strains by self-cloning of the flocculation gene FLO1 and repeated batch fermentation by transform ants[J]. Journal of General and Applied Microbiology, 1998, 44(5):347-353.
- [38] Shinohara T, Marniya S, Takeda K. Introduction of flocculation property into wine yeasts by hybridization[J]. Journal of Fermentation and Bioengineering, 1997, 83(1):96-101.
- [39] 李和平,郑泽根,朱柱. 微生物絮凝剂[J]. 重庆环境科学,2000,22(2):18-21.
Li Heping, Zheng Zegen, Zhu Zhu. Microbial flocculant[J]. Chongqing Environmental Science, 2002, 22(2):18-21. (in Chinese with English abstract)
- [40] Thomas C R. Micromanipulation measurements of biological materials[J]. Biotechnology Letters, 2000, 22(7):531-537.
- [41] Serge Stoll, John Smith. Computer Simulation of Flocculation Processes: The roles of chain conformation and chain/colloid concentration ratio in the aggregate structures[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 1998, 205(2):290-304.

Progress of Microbial Flocculant Study and its Application

CHEN Ye¹, LIAN Bin^{1,2}

1. Chemistry and Bioengineering College, Guizhou of University Technology, Guiyang 550003, China;

2. Biology Sciences College, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China

Abstract: Microbial flocculants is a kind of metabolite produced by microorganisms, which has flocculability. Microbial flocculants are widely used in wastewater treatment and some industrial separating processing. They have better flocculability properties than that of inorganic and organic macromolecule flocculants. In this paper, a review on the microbial flocculant's study and its application is presented. Some examples of the microbial flocculants application in wastewater treatment and other fields are given as well. Finally, the application market and developing trends of microbial flocculants was discussed.

Key words: microbial flocculants; flocculability; wastewater treatment; application progress

学术动态 ·

2004 年部分国际地学学术会议

1. 第 5 届亚洲海洋地质学国际会议, 1 月 1416 日, 泰国曼谷;
2. 国际海洋科学会议, 1 月 2630 日, 美国俄勒冈州 Portland(波特兰);
3. 地学-工业合作与创新国际会议, 2 月 47 日, 美国佛罗里达 Orlando(奥兰多);
4. 第 12 届活性炭国际会议, 3 月 12 日, 墨西哥墨西哥城;
5. 第 4 届模拟可渗透岩石国际会议, 3 月 294 月 1 日, 英国 Southampton(南安普敦);
6. 第 10 届国际实验矿物学、岩石学和地球化学会议, 4 月 47 日, 德国法兰克福;
7. 约旦地质学家协会第 8 届国际会议——天然资源与环境保护, 4 月 67 日, 约旦安曼;
8. 第 5 届地质技术工程案例史国际会议, 4 月 1317 日, 美国纽约;
9. 第 12 届威林斯顿盆地水平井与石油会议, 5 月 24 日, 美国北达科他州迈诺特;
10. 美国与加拿大地球物理联合会联席会议, 5 月 1721 日, 加拿大蒙特利尔;
11. 北极地质学——能源资源与环境挑战国际会议, 5 月 2426 日, 挪威特诺姆斯;
12. 戈尔德施密特会议, 6 月 511 日, 丹麦哥本哈根;
13. 地质模拟国际会议——模拟与试验从山脉到沉积盆地的地质过程, 6 月 911 日, 瑞典埃默顿;
14. 第 7 届国际纳米结构材料会议, 6 月 2024 日, 德国 Wiesbaden(威斯巴登);
15. 第 11 届水——岩相互作用国际会议, 6 月 277 月 2 日, 美国纽约;
16. 第七届承作为全球污染物国际学术会议, 6 月 277 月 2 日, 斯洛文尼亚卢布尔雅那;
17. 第 11 届国际孢粉学大会, 7 月 49 日, 西班牙 Granada(格拉纳达);
18. 第 7 届国际湿地会议, 7 月 2530 日, 荷兰 Utrecht(乌得勒支);
19. 第 30 届国际地理学大会, 8 月 1520 日, 英国 Glasgow(格拉斯哥);
20. 第 32 届国际地质学大会, 8 月 2028 日, 意大利佛罗伦萨;
21. 第 10 届国际微型浮游生物协会会议, 8 月 299 月 4 日; 葡萄牙里斯本;
22. 第 8 届全球大气化学国际会议, 9 月 49 日, 新西兰克里斯其奇;
23. 活动大陆边缘构造、岩浆和成矿国际会议, 9 月 1119 日, 俄罗斯符拉迪沃斯托克(海参崴);
24. 国际沉积学协会第 23 届沉积学年会, 9 月 1517 日, 葡萄牙科姆布拉;
25. 第 8 届国际应用矿物学大会, 9 月 1922 日, 巴西圣保罗;
26. 第 7 届国际滨海研究会议, 9 月 2022 日, 英国 Aberdeen(阿伯丁);
27. 第 2 届中欧粘土国际会议, 9 月 2024 日, 匈牙利 Miskolc(米什科尔茨);
28. 国际有机岩石学会第 21 届年会, 9 月 27 日 10 月 1 日, 澳大利亚悉尼;
29. 第 9 届河流沉积作用国际会议, 10 月 1821 日, 中国宜昌;
30. 国际环境毒理学与化学协会第 4 届世界大会, 11 月 1418 日, 美国俄勒冈州;
31. 南安第斯、斯科迪亚弧和南极半岛地质与地球物理国际研讨会, 11 月 2123 日, 阿根廷布宜诺斯艾利斯。

(文 薇 供稿)