

光合细菌在废水处理中的应用及菌体的综合利用

史家梁 翁稣颖 徐亚同

(华东师范大学生物学系, 上海)

利用光合细菌净化高浓度有机废水, 是废水生物处理法中的一个新发展。它具有有机负荷高、占地面积小、投资费用少、动力消耗低、除氮效果好和耐盐能力强等优点, 而产生的菌体又有可能作为重要的原料进行综合利用。因此近年来用光合细菌处理废水, (简称 PSB 处理法) 正受到人们的重视。

光合细菌是一大类在厌氧条件下进行不放氧光合作用的细菌的总称。目前用于有机废水净化的光合细菌主要是红螺菌科 (*Rhodospirillaceae*) 中的红假单胞菌属 (*Rhodopseudomonas*)。因为这类光合细菌在厌氧光照、好氧光照或好氧黑暗条件下都能利用低分子有机物迅速增殖, 所以应用潜力很大。近年来已在人粪尿、家畜粪尿、食品、纤维、皮革、有机化学工业等废水的高负荷处理中获得很高的评价^[1]。

一、光合细菌在废水处理中的应用

1. 利用光合细菌净化废水的作用原理: 六十年代日本科学家观测了高浓度的粪便污水自然放置时的菌数变化^[1], 见图 1。

他们发现在 BOD 值高达 10000 毫克/升以上的污水中, 异养细菌首先大量繁殖, 把高分子的碳水化合物、脂肪、蛋白质分解, 产生低级脂肪酸等低分子物质。接着异养细菌渐渐减少, 光合细菌则利用低级脂肪酸等小分子有机

物而迅速增殖, 使污水的 BOD 值逐渐降到 1000 毫克/升以下。约二星期后, 光合细菌渐渐减少, 由活性污泥微生物和绿藻所代替, 并进一步把污水净化到 BOD 值 30 毫克/升以下。

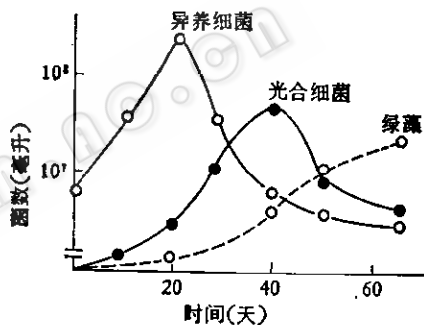


图 1 高浓度粪便污水自然放置时的菌数变化
1. 绿藻; 2. 光合细菌; 3. 异养细菌。

这一发现, 揭示了自然界的高浓度有机污水是通过微生物的生态学演替而被净化的。

光合细菌中红螺菌科(通称非硫紫细菌)的一些种, 多见于有机物污染的水中, 其细胞内具有能营光合作用的载色体, 它是由细胞膜分化而成的, 直径约 600—1000 埃的球状体或胞状体。载色体颗粒中密集地包含着细菌叶绿素和类胡萝卜素, 进行着光合磷酸化反应和光氧化还原反应。在好氧条件下, 非硫紫细菌缺少这种载色体, 但只要把它们置于厌氧光照条件下就

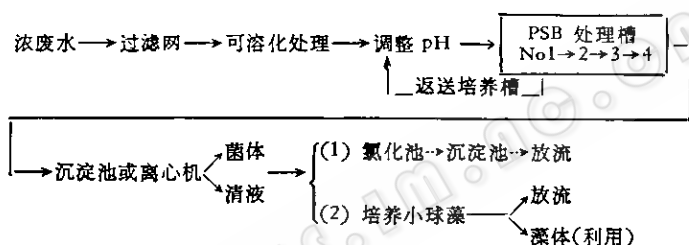
能很快地形成。这就从细胞结构上为非硫紫细菌灵活地进行物质、能量代谢提供了可能。研究表明,当非硫紫细菌处于好氧黑暗条件下时,它们能与好氧微生物一样地通过三羧酸循环来进行有机酸的代谢。但在厌氧光照条件下,这一循环被抑制时,它们便迅速转换代谢通路,并能把有机酸异化与同化的氧化还原反应跟光氧化还原反应紧密地联结起来。这种随生长条件的变化而灵活地改变代谢类型的特性,乃是这类生物能够在自然环境净化过程中担当重任的主要原因^[3,4]。

非硫紫细菌所喜欢的营养物质,主要是低分子的有机酸、氨基酸和糖类。除了油脂可直接被利用外,其他营养物质必须是低分子有机物才能被利用。用光合细菌处理有机污水的反

应过程,其第一阶段与沼气发酵的产酸阶段本质相同,先由异养细菌把复杂的有机物降解,生成低级脂肪酸等小分子有机物。

而在好氧条件下,酸发酵的速度可比厌氧时增加几倍。在酸发酵之后,甲烷细菌或活性污泥细菌均难以生长。这是因为可溶化的有机废水中往往含有一定量的丙酸,它对一般细菌有很强的抑制作用。而光合细菌却能在醋酸与丙酸以 5:1 共存时,达到最大增殖率^[5]。无论在好氧还是厌氧条件下,它们都能生长,耐受相当高的有机浓度,降解有机物的速率也远比甲烷发酵为快。所以在酸发酵之后,培养光合细菌最有利。

2. 利用光合细菌净化废水的方法:一般处理流程如下图所示^[1]。



PSB 处理法应用成功的关键在于基质的可溶化和保持处理系统中光合细菌的优势。还要注意加大接种量,经常补充菌体和适当加入锰、铁等重金属离子。由于光合细菌对紫外线不敏感并能耐受 1 毫克/升浓度的余氯^[1],尽可能地减少处理过程中的杂菌量,是十分必要的。

3. 运转实例:目前利用光合细菌来净化有机废水的试验,少数已进入工业化运转,大量工作则仍处在试验研究阶段,已有许多专利发表^[6]。已见到用 PSB 法处理有机废水的报道有数十例。废水的 BOD (或 COD) 值除少数在 2000 毫克/升左右外,大多高达 10000 毫克/升以上。经可溶化处理进而培养光合细菌后,废水的 BOD (或 COD) 去除率除青霉素和红霉素发酵废水在 75—84% 左右外,大多数可达 90% 以上,甚至可高达 98%。其中已成功投产的有豆腐加工、浓粪便、水产加工、制氮工业和酵母工业的废水。试验中取得显著成效的有养

猪、羊毛洗涤、淀粉工业、染料工业、罐头工业、面粉加工、豆酱工厂、啤酒厂、生活污水、屠场、油脂工业等废水^[1,2,8,9]。

用 PSB 处理法净化高浓度有机废水,具有活性污泥法所不及的许多长处,但也有缺点,一是需要不断地添加新鲜菌体;二是菌体细胞自然沉降困难,需用离心机或混凝沉淀法来采收;三是有效的最终 BOD 值在 200 毫克/升左右,还需用活性污泥法或培养藻类等方法加以进一步处理。

二、光合细菌菌体的综合利用

1. 用作饵料和饲料:光合细菌菌体富含营养物质^[1,10,11],见表 1。

光合细菌菌体中 B 族维生素的种类与含量不低于酵母,见表 2。

(1) 养鱼的效果:利用 PSB 作为浮游动物(微小甲壳类)的发生饵料,作为鱼苗和一般养鱼的饵料或添加剂,对增加鱼的抗病性等均

表 1 光合细菌菌体组成

不同菌体	结 果 项 目	粗蛋白质 (%)	粗 脂 肪 (%)	可溶性糖类 (%)	粗 纤 维 (%)	灰 分 (%)
非硫紫细菌		65.45	7.18	20.31	2.78	4.28
小 球 藻		53.76	6.31	19.28	10.33	1.52
米		7.48	0.94	90.60	0.35	0.72
大 豆		39.99	19.33	30.93	7.11	5.68

表 2 光合细菌的 B 族维生素组成

维生素名称	结 果 项 目	非硫紫细菌 (微克/克)	圆酵母 (微克/克)	啤酒酵母 (微克/克)
B ₁		12	2—20	50—360
B ₂		50	30—60	36—42
B ₆		5	40—50	25—100
B ₁₂		21	—	—
菸 酸		125	200—500	310—1000
泛 酸		30	30—200	100
叶 酸		60	—	3
生 物 素		65	—	—

有显著效果^[1,10,12]。

有人用处理鱼肉加工废水所生产的 PSB 菌体, 作饲养鱼苗试验^[8]。处理组与对照组的饵料相比多添加 0.1% 的 PSB 细胞, 结果 4000 尾一周鱼龄的鲤鱼, 一个月后的存活率为 96.3%, 对照组为 69.3%。

(2) 养鸡的效果: 有人取 200 只母鸡, 于开始产蛋后 3 个月用有机废水处理中获得的 PSB 菌体作饲养母鸡试验^[8]。结果表明, 饲料中添加 0.01% 的 PSB 菌体对母鸡产蛋有很好的影响。在 6 个月内处理组较对照组母鸡多产 3708 只蛋, 产蛋总重增加了 16.3%, 达 243 公斤。

据报道^[12], 用光合细菌的纯培养物制成添加剂, 在许多养鸡场分别以 2000—10000 只鸡进行长期试验, 处理组的饲料中加 3% 的 PSB 添加剂, 结果使产蛋率增加了 3—7%, 平均蛋重增加 5—6%。

2. 光合细菌色素的利用: 近年来食品工业

中采用的着色剂已越来越趋向于天然色素。与其他生物相比, 光合细菌菌体内积累的类胡萝卜素浓度要高得多, 迄今已分离出 30 种以上的类胡萝卜素, 而且提取容易, 色调丰富, 同时又可得到分泌于菌体外的水溶性卟啉系色素。加之对影响色素生成的种种条件已有较多的了解, 生物合成的通路也已基本清楚。这就有可能通过控制培养条件来影响色素的生成, 从而达到人工的选择和增加生成量^[1,13,6]。

3. 作为辅酶 Q 等重要活性物质的来源^[1,6,13]: 光合细菌中辅酶 Q 的含量很高, 分别为酵母、菠菜叶和玉米幼芽的 13、94 和 82 倍。红硫细菌属的 D 菌株还含有多量的维生素 K, 其含量分别为菠菜叶和玉米幼芽的 58 和 49 倍。

国外光合细菌应用的研究从六十年代开始有了迅速发展, 已取得了引人瞩目的成果。我们也应迅速发展自己的研究工作。

参 考 文 献

- [1] 小林正泰: 発酵と工業, 36 (9): 753—766, 1978.
- [2] Kobayashi, M. and Haque, M.Z.: Plant and soil, special Volume: 433—456, 1971.
- [3] 星野八洲雄: 発酵と工業, 36 (7): 552—562, 1978.
- [4] 北村博: 発酵と工業, 36 (8): 659—673, 1978.
- [5] 澤田晴南: 発酵と工業, 36 (9): 744—752, 1978.
- [6] 富金原孝: 発酵と工業, 36 (11): 941—945, 1978.
- [7] 小林達治: 発酵と工業, 36 (7): 574—583, 1978.
- [8] Kobayashi, M. and Tchan Y.T.: Water Research, 7: 1219—1224, 1973.
- [9] 矢木修身: 用水と廃水, 19 (8): 949—951, 1977.
- [10] 荻野珍吉: 発酵と工業, 36 (10): 836—841, 1978.
- [11] 金森正雄: 発酵と工業, 36 (11): 934—946, 1978.
- [12] 母中亮太郎: 発酵と工業, 36 (10): 842—848, 1978.
- [13] 平山修: 発酵と工業, 36 (7): 563—573, 1978.