

④

16-20

光合细菌的应用现状与前景 The Current State and Perspective of the Application of PSB

Q939.1

王桂文 周兴[✓] 刘晖 李海鹰
Wang Guiwen Zhou Xing Lui Hun Li Haiying

X703

(广西科学院生物研究所 南宁市大岭路2号 530003)

(Biology Institute, Guangxi Academy of Science, 2 Daling Road, Nanning, 530003)

A

摘要 光合细菌具有多重代谢方式,其应用前景广阔,尤其在对高浓度有机废水的净化处理中,表现出负荷和效率高及投资少的优点;在禽畜和水产养殖方面,光合细菌可提供单细胞蛋白及多种生理活性物质,并有改善水质,预防鱼病的作用,对产量和成活率均有显著的提高。光合细菌在农业及生物能源开发方面亦有着相当的应用潜力。

关键词 光合细菌 应用 综述 废水处理, 红螺菌科, 着色菌科, 绿硫菌科,

Abstract Photosynthetic Bacteria (PSB), With multi-metabolism, has broad application sprospects. It shows advantages heavy organic load, high efficiency and low cost in the practice of purifying hyperorganic waste water. On the aspect of livestock raising and fishery, PSB could provide not only SCP as a protein source of feed and varied bio-competent nutrient but also improve the water quality and prevent aquatic diseases, consequently leading to a marked increase in the output and survival rate. Besides, the application of PSB to agriculture and the development of bio-energy resources shows high potential.

Key words Photosynthetic Bacteria, application, review

光合细菌(Photosynthetic Bacteria, 简称PSB)是自然界中广泛存在的比较古老的细菌类群,是具有原始光能合成体系的原核生物,能在厌氧下行不放氧的光合作用,它包括有红螺菌科(*Phodospirillaceae*)、着色菌科(*Chromatiaceae*)、绿硫菌科(*Chlorobiaceae*)、绿色丝状菌科(*Chloroflexaceae*)等4科。近年来,随着对PSB的形态、分类、生理生化、生态等特性认识的不断深入,特别是日本学者发现PSB在自然界高浓度有机污水的自净过程中担当着主要的角色后,便被迅速应用到高浓度有机废水处理中,并因其菌体富含蛋白质和胡萝卜素,可作单细胞蛋白(简称SCP)应用于养禽业和渔业。PSB还是研究植物光合作用、生物固氮机理的理想材料。其固有的放氢活性,可提供生物能源而引起研究者的兴趣。目前PSB

1994-12-06 收稿。

1994-12-15 修回。

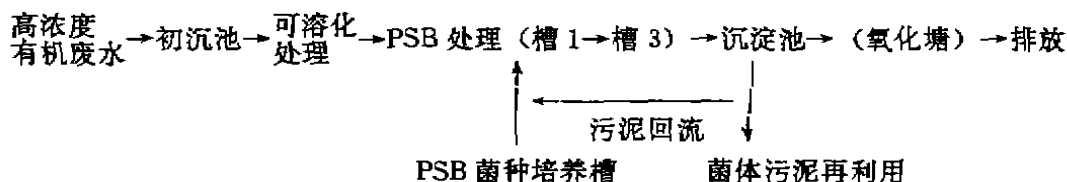
多式多样的生理类群及重要的碳、氮代谢途径和光合作用机制正吸引着人们对其进行发掘和研究。

1 PSB 在高浓度有机废水处理中的应用

1.1 应用原理

本世纪 60 年代日本学者小林正泰观测到高浓度粪便污水在自然放置时,生物类群在污水中交替变化。在生物需氧量 (BOD) 高达 1 万 mg/L 的污水中,首先是异养微生物的大量生长,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有机物质,异养菌逐渐减少;接着利用低级脂肪酸等低分子有机物的 PSB 迅速增殖, BOD 逐渐降至 1000 mg/L,约两周后 PSB 减少,由绿藻类所代替,并进一步把 BOD 降到 30mg/L 以下。这一发现揭示了自然界高浓度有机污水是通过微生物的生态学演替而被净化的,其中 PSB 担当了主要角色。

PSB 之所以能担当主要角色,是与它的结构、物质及能量代谢特征分不开。PSB 细胞内具有细菌叶绿素和类胡萝卜素,能利用光能进行不放氧的光合作用,特别是红螺菌科的某些种具有在厌氧光照时进行光合磷酸化和光氧化还原反应;在好氧黑暗时进行三羧酸循环,以有机物为呼吸基质进行好气异养生长。这种具有多重代谢方式的特性,使得 PSB 既不像好氧菌那样受溶解氧的限制,它自身可利用光能进行高效的基质代谢;又不像厌氧甲烷细菌对 O_2 那样敏感,即使生境中 O_2 增加,其降解活性不受影响,可通过氧化磷酸化取得能量。PSB 在厌氧、好氧条件下均可降解有机化合物的特性正是其应用于处理污水的原因。PSB 污水处理法(简称 PSB 法)正是基于上述原理而建立的一个高浓度有机废水处理的人工生态系统。一般流程如下:



在这系统中各类微生物在不同的阶段有效地发挥着作用,从而使高浓度有机废水能不加稀释而高效率地得到解决。

1.2 应用效果

自 60 年代后期首例 PSB 法在豆腐加工厂的废水处理中被实际应用以来,据报道目前 PSB 法能有效处理的废水有:羊毛加工、淀粉加工、染料工业、生活污水、啤酒厂、油脂工业及有机酸发酵工业等废水。国外最早应用的是日本、南朝鲜,日本现至少有 PSB 法处理厂 10 家。1981 年一个日处理 600t, BOD 高达 3 万 mg/L 的大型 PSB 处理厂在南朝鲜大邱市投入运行。国内应用得最多的是华东地区。上海豆制品厂的中试规模的 PSB 法处理装置于 1987 年通过技术鉴定后投入正常运行。浙江轻工研究所在对高浓度合成脂肪酸废水,上海交大在对豆制品、洗毛、牛粪尿、柠檬酸发酵等废水用 PSB 法处理方面取得了不少成绩。表 1 列出了国内外应用 PSB 法处理一些主要工业废水的结果。从结果中可见, PSB 法处理浓度不同的有机废水,在微好氧条件下,其去除率一般均在 90% 以上,并且容积负荷有的高达 $4\text{kgCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 以上, PSB 法高负荷、高效性能得到了证实。

表1 国内外应用光合细菌法处理部分有机废水的效果^[1]

废水类型	指标	原水浓度 (mg/L)	PSB 处理后出水 浓度(mg/L)	去除率 (%)	备注
豆制品废水	BOD	8260	340	95.9	国外应用
浓粪便水	BOD	13500	<500	96.3	国外应用
水产加工废水	COD	2100	125	94	国外应用
制氨工厂废水	COD	12600~15500	230~430	97~98	国外应用
生活废水	COD	3556	326	90	国外应用
甜菜制糖废水	COD	2620	268	89.7	国外应用
合成脂肪酸废水	COD	10000	700~1200	>85	国内应用
洗毛废水	COD	16685	1630	90.2	国内应用
柠檬酸发酵废水	COD	25000	1450	94.2	国内应用
豆制品废水	COD	17490	817	93.2	国内应用

现有的 PSB 法大多采用悬浮生长的活性污泥法,最近吴国庆应用固定的 PSB 细胞来处理印染废水^[2]、史家梁则应用两级 PSB 生物接触氧化工艺处理豆制品废水^[3],发现具有很多的优越性。

PSB 法处理高浓度有机废水与生物好氧法和厌氧发酵相比,具有一定的优势,一是可以直接处理高浓度(BOD 可达几千甚至几万 ppm)的有机废水;二是不存在污泥处理问题,PSB 可综合利用作词(饵)料和肥料均可;三是所需场地少费用低。但也存在处理后的出水菌体自然沉降困难;PSB 在处理槽中的优势较异养菌低及出水尚未达到排放标准等问题^[1]。尽管如此,PSB 法仍是一种经济,高效的高浓度有机废水处理技术。在未来的污水处理中,PSB 法将与活性污泥法和厌氧发酵法处于同样重要的地位。

2 PSB 作为词(饵)料添加剂在畜禽、水产业上的应用

许多研究证明,PSB 菌体无毒,营养丰富,其蛋白质含量高达 60%以上,并含有多种 B

表2 紫色非硫细菌的菌体组成

成分	含量	成分	含量
蛋白质	66%	维生素 B ₂	50μg/g
脂肪	7%	维生素 B ₆	5μg/g
碳水化合物	23%	维生素 B ₁₂	21μg/g
灰分	4%	烟酸	125μg/g
维生素 B ₁ (μg/g)	12μg/g	泛酸	30μg/g

族维生素及泛酸、叶酸、辅酶 Q 等生理活性物质,含有丰富的氨基酸,从而具有与动物蛋白相似的性质,因而具有很高的词(饵)料价值^[4]。表 2 为紫色非硫细菌的菌体组成。目前市场上已经有光合细菌和酵母混合的高生物活性蛋白粉上市,据称其可以替代秘鲁鱼粉、饲料酵母、SCP,而且生物活性高于鱼粉和酵母。

PSB 的菌体蛋白掺拌饲料喂养禽

畜，能使体重明显增加（一般在10%左右），产蛋率提高8%，卵黄色度明显加强，维生素A含量增多，还能改善羽毛光洁度。林志新^[5]用PSB作为饲料添加剂饲养肉用仔鸡，除能明显提高成活率、增重率和饲料报酬率外，对鸡中 γ -球蛋白和对病毒的特异性抗体的水平均有升高。

PSB作为饵料添加剂用于水产养殖业，已取得显著效果。日本学者小林等报道，孵化后第二天的鲤鱼苗，只投给PSB的冻结品和活菌饲养，2周后体长增加了12~17mm，约为投喂干松鱼和面粉组的3倍^[4]。张道南等^[6]用PSB育虾苗19天，投喂菌液140mL和100mL试验组，虾苗由骚状幼体变为幼体的变态率分别为94.1%和91.4%，成活率为63.7%、53.9%，而对照组变态率为77%，成活率为44%，结果表明PSB菌液添加在虾类育苗水体中，具有提高变态率、成活率，促进生长发育的效果。

另外，PSB用于某些成鱼饵料效果也佳，言世贤等^[7]把它作为饲料添加剂用于养鱼试验，夏花亩产两年中提高率分别是24.1%和9.9%，而饲料系数降低率分别是26.0%和20.7%；鱼种亩（1/15hm²）产两年中提高率分别是23.9%和91.8%，其经济效益明显。日本静冈高知县养鳊场发现，加入PSB的池塘养成鳊体色好、增重率高，起捕率也高。

从报道的有关资料中分析：在PSB作为饲（饵）料添加剂的试验中，大多数按其干菌体占投料量的0.01%~3%左右进行添加，如此低量的PSB所含蛋白质质量甚小，其作用主要是富含的维生素，叶酸、泛酸等生理活性物质可改善原饲料营养结构，另外PSB的特殊代谢方式，使鱼类排泄物及残留的饵料而污染的水质净化，使失调的生态环境恢复平衡。例如，刘天国等经过几年的实践认为，养虾业存在的严重问题之一是富营养化引起的水质败坏，水体变黑，溶解氧降至0.2mg/L左右，导致对虾浮头和其它疾病，以致大量死亡。特别是七、八月尤为严重。实践证明，适时地投入高效PSB活菌液可解决及缓和水质腐败这一严重问题。一般每亩水面施用1000mlPSB制剂，便可取得满意的效果。

PSB还具有防病的效果，有人曾用PSB进行鲤鱼烂鳃病、金鱼和鳊鱼的霉菌防治试验，均取得满意的效果。

3 光合色素的应用

PSB菌体细胞含有丰富的菌绿素和类胡萝卜素，是天然食用色素的新资源。与其他生物相比，光合细菌细胞中类胡萝卜素的含量高得多，而且这类色素容易提取，色调丰富，同时又可得到分泌于胞外的水溶性卟啉系色素。其色素用溶剂萃取法提取，离心收集菌体后用甲醇、丙酮反复抽提，再经减压浓缩或真空冷冻干燥即可。其红色类胡萝卜素一般为脂溶性的，很适于黄油、冰淇淋、干酪、乳酸饮料、糕点等着色。

4 光合细菌的固氮活性及其农业应用

自从1949年在对深红螺菌（*Rhodospirillum rubrum*）的放氢研究中发现该菌有固氮活性之后，多数光合细菌在厌氧、缺氮下具有固氮活性已是众所周知。而且，由于PSB特殊的生物学特性使PSB成为研究光合作和生物固氮很好的材料。

光合细菌在土壤中的广泛分布，它在改善植物营养、增加土壤肥力，明显促进土壤细菌和放线菌的增殖，抑制病原微生物生长等方面均有重要作用。应用于水稻试验中，可使水稻增加穗重和结粒数；应用蔬菜中，比如蕃茄，则根系发达，生长旺盛，因而茎叶与根的比值

小,表现为果实的产量增加,维生素 B₁ 和 C 的含量也增加^[8]。因此处理有机废水后的 PSB 菌泥可以作为优质肥料资源进行开发利用,增加综合经济效益。

5 光合细菌的放氢与能源开发

据目前所知,PSB 中的许多红螺菌和某些绿硫菌在代谢过程中都能产氢,它的产氢率可达 20ml/(h·g)(干菌体)。其机理为:利用光能分解无机物或有机物,将其质子和电子还原 CO₂ 来进行光合作用或其它还原反应。当还原反应受到限制或能量过剩时,质子和电子即以 H₂ 的形式放出。对沼泽红假单胞菌的研究表明该菌体内的氢转化由固氮酶催化的,与氢酶无关^[9]。PSB 可利用的底物范围较广,包括多种有机酸、糖、氨基酸、硫化物等,特别是谷氨酸作底物效果极佳,但成本太高。利用工业,生活有机废水和农副产品为底物进行培养,大有前途,在产氢的同时进行废物处理并获得 SCP。当然要阐明光合产氢的可行性和合理性,仍需进行大量的研究工作,包括菌体的筛选、研究产氢机制、所需条件及其系统的稳定性等。

综观上述,可以设想,若将 PSB 法处理有机污水与光合产氢结合起来,在降解 BOD 的同时产能,菌体污泥作 SCP 或提取色素或作有机肥料,一举三得。随着生物技术的进步和研究的深入,PSB 的多方面开发利用研究必将有一个新的飞跃。这一古老的细菌类群将更造福于人类。

参考文献

- 1 徐向阳等. 光合细菌在有机废水处理中的应用现状与前景. 环境污染与防治, 1990, 12 (5): 32~37.
- 2 吴国庆等. 我国几种工业废水治理技术研究. 见: 国家环保局主编. 纺织印染废水第二分册. 北京: 化工出版社, 1988, PP72~73.
- 3 史家梁等. 光合细菌接触氧化工艺的研究. 环境科学, 1989, 10 (2): 16~19.
- 4 刘如林等. 光合细菌及其应用. 北京: 中国农业科技出版社, 1991, 169~180.
- 5 林志新. 光合细菌作为饲料添加剂在肉鸡饲养中的应用. 上海农业学报, 1991, 7 (3): 10~15.
- 6 张道南等. 红螺菌科光合细菌的分离. 培养及其作为鱼虾类饵料添加剂的初步研究. 水产学报, 1988, 12 (4): 367~369.
- 7 言世贤等. 利用光合细菌作为鱼饲料添加剂的养鱼试验. 上海交大科技, 1989, (2): 15~17.
- 8 韩静淑. 光合细菌的开发和应用. 应用微生物, 1983, (6): 1~5.
- 9 Miyake, J. et al. J. Ferment. Technol. 1982, 60 (3): 199~203.

(责任编辑 莫鼎新)

广西计算中心研究员刘连芳荣获广西“十大女杰”称号

1995年2月28日,历时4个多月的广西“十大女杰”评选活动揭晓,广西计算中心研究员、广西新技术实验室主任刘连芳光荣入选,她是“十大女杰”中唯一的科技人员。

(摘自《广西科学院简报》)