第21卷 第2期 桂 林 工 学 院 学 报 Vol.21 No.2
2001年4月 JOURNAL OF GUILIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY Apr. 2001

文章编号:1006-544X(2001)02-0191-04

环境生物技术的发展现状

解庆林,王敦球,李金城

(桂林工学院资源与环境工程系,广西桂林 541004)①

第15届国际环境生物技术学术会议于2000年7月19日在日本京都召开。来自日本、美国、中国、俄罗斯、法国、德国、英国和澳大利亚等38个国家和地区的近400名学者参加了会议。会议期间380多篇论文以大会专题演讲、分组报告和分组张贴等多种形式进行了充分交流,并出版了论文摘要集。本次会议讨论内容广泛,研究水平较高,代表了当今环境生物技术的发展潮流。现从生物监测、重金属污染研究、生物修复技术(Bioremediation)、固体废物处理、废水处理、有害气体固着(Fixation)和清洁技术与清洁能源等几个方面总结生物技术的发展现状,分析今后发展趋势。

1 生物监测

传统的环境监测以化学分析即用成熟的仪器和生物分析(如鱼的毒性测试)为主,当代生物技术的发展有望增加相关的新手段,如通过测定微生物的酶和细胞基团等监测环境的变化。目前研究较多的有生物发光菌(*Bioluminescent bacterium*)、氰菌(*Cyanobacteria*)、卤素呼吸菌(*Halorespiring bacterium*)、苯乙烯降解菌和兰贻贝(*Blue mussels*)等,主要监测水体中的有害物和海水藻类的爆发。Man Bock Gu和Geun Cheel Gil[1]应用生物发光细菌开发出了两阶段多频道毒性连续监测系统。每个频道含有一个两阶段生物反应系统,其中含有特定的生物发光菌株。使用该系统可连续监测同一样品和分别确定不同类型毒性。通过分析从每个频道获得的资料,可得到总体毒性和各类单项毒性的数据。

2 重金属污染研究

已分离出多种可去除重金属的细菌,如从土壤中分离出了去除石油中镍的细菌 *Pseudomonas azelaica* YA-1;从酸性矿山废水中分离出去除砷的细菌 *Acidiphilium multivorum* AIU301,并进行了多项细菌和藻类去除重金属汞、铜、铅、锌、镍、镉等的实验工作。对微生物去除金属元素的机理随着研究工作的深入也有了较深刻的认识。如:细菌之所以能去除汞,是因为有去毒酶和将有毒的汞化合物运移到酶的系统。酶使有机汞裂解,打断甲基汞、苯汞中的Hg—C键,将毒性大的有机汞化合物转化为毒性小的无机Hg^{2+},它再被第二种酶去除,即汞还原酶将可溶性Hg^{2+}转化为Hg,使汞重新转入自然循环过程[2]。汞的还原酶和有机汞裂解酶基因已被复制到植物上,因此,植物亦具转化汞污染物的功能。而铜、铅、镉等重金属元素的生物去除则是通过微生物细胞的吸附作用或蛋白质与金属紧密结合而实现的,或微生物产生大量H_2S,H_2S与金属离子形成硫化物沉淀而使废水得到净化的。

植物吸收提取重金属污染物,从而去除重金属污染,被公认为是可行的,但鉴于高度富集金属的植物相对稀少,种类可能很少,以及植物吸收又受到植物本身产生量的制约,因此现阶段工程性工作不多。将来的研究可能涉及到基因工程,将植物体快速生长和强烈吸收重金属的特性结合起来。

① 收稿日期:2000-12-11;修订日期:2001-02-20
作者简介:解庆林(1963-),男,山东巨野人,副教授,博士,环境工程专业。

3　生物修复技术

有毒化学品尤其是石油、有机氯化物、化学聚合物等造成的污染已成为世界性问题，在各种清除污染物的技术中，生物修复是最有前途的技术之一，因为它可彻底破坏污染物。

3．1　植物修复

近 20 年来，人们认识到植物吸收可以作为各种污染物的生存介质包括土壤、沤制物、排水和灌溉水等的净化技术开发。目前已有利用沙漠植物去除科威特石油污染土壤中的石油。用植物降解有机染料、有机氯化物、塑料、吸收土壤中的盐类和去除排水中的营养物等研究工作。

3．2　微生物修复

（1）石油污染。已分离出多种可降解石油污染物的微生物，并对微生物降解石油污染物的机理有了较清楚的认识。研究表明：可降解石油的微生物具多样性，包括细菌、真菌、酵母和菌团。真菌分解芳香族化合物主要是首先氧化甲苯分子的支链，形成苯甲酸盐，再进一步代谢成邻苯二酚，作为环状裂变基质。细菌分解烷烃时，有 2 种机制：①将 n – 烷烃末端氧化，接着是 β 氧化；②通过水解或去氢酶反应降解烷烃类或产生生物表面活性剂使长链碳氢化合物乳化、降解。

在科威特石油污染土壤进行的微生物修复工程表明，去除石油污染物效果明显，15 个月土壤中碳氢化合物可降解 85.6% ～94%。在另外一个固废收集点，水泥混凝土层下土壤受到矿物油污染，最大矿物油浓度为 30 000 mg/（kg 土壤），污染层扩展到地下 5 m，估计土壤总量约 500 m^3，但没有进入地下水。用水平钻探技术在混凝土层下打了 2 个水平井，分别有 11 m 和 13 m 长，注入空气的速度分别为 2.9 和 3.4 m^3/h，空气注入土壤的有效半径为 3.3 m，从监测井中观察到，土壤中氧浓度在注入空气 3 h 后增至 16.0%，停止注气 49 h，氧浓度又降低到原来的浓度 4.6%。同时，氧的消耗随土壤温度从 10℃增到 17℃，也相应从每天 5.9%增至每天 7.5%，表明生物降解在土壤中发生，且随温度增高而增大[3]。

（2）有机氯化物污染。具降解有机氯化物的微生物有细菌和真菌。有机卤化物酶的水解有不同机制。以两种可降解有机卤化物的细菌 *Pseudomonas* sp．Yl 和 *Pseudomonas* sp．113 为例[4]，前者可催化 L－2 卤化烃酸的水解，去卤产生对应的 D－2 羟基烷烃酸。其过程是羧酸盐类的 Asp10 亲核攻击基质 α－碳原子，以取代它的卤素原子，并生成脂的中间物，然后水解产生相应的 D－2 羟基烷烃酸，并重新形成 Asp10 的残留物。而后者 *Pseudomonas* sp．113 产生的 DL－2 卤酸去卤酶的催化反应一步完成，水分子直接攻击基质取代卤素原子，并形成 α－羟基烷烃酸。

日本 Kimitu 市开展了生物修复工作[5]，该市地下水受三氯乙烯（TCE）污染，浓度为 200 μg/L。将甲烷、氧气、硝酸盐和磷酸盐注入地下水，7 d 后，甲烷浓度逐渐降低到检出限，2 个月后观测到 TCE 去除率达 5% ～20%，而对照区 TCE 无明显减少，表明甲烷氯化菌可降解 TCE。

（3）聚合物污染。当前大量使用塑料，造成了污染，人们正从两个方面开展工作以解决污染问题：一是生产可降解塑料制品，如用淀粉废水消化生产可生物降解热塑塑料，应用基因工程生产可降解共聚－多脂，通过基因工程用氰菌将 CO 转变为生物可降解塑料。二是寻找能降解塑料的微生物，如已分离出可降解四亚甲基琥珀酸盐（Tetramethylene succinate）的高温菌[6]。

生物修复中主要涉及两大问题，即有效性和安全性评价。为提高有效性今后将应用分子微生物学分离、鉴别、制造更高效降解和聚集有害化合物的微生物。发展需氧和厌氧结合的降解系统、可渗透生物障系统、生物开孔（Biowenting）新技术等是今后的发展方向。为提高生物修复的安全性评价水平，需发展、鉴定、清点微生物的分子生物技术，以确定微生物在环境中的去留和基因。显然，有效生物恢复系统的建立需要生物化学家、地质学家、水文学家、化学家、微生物学家、工程师、野外技术人员和社会学家的良好合作。

4　固体废弃物处理

对含有有机质的固体废弃物如污泥、海岸沉积软泥、城市生活垃圾和海藻等，甲烷发酵仍是主要处理方法。为提高效率。有人借鉴 UASB 工艺处理城市固体废弃物，发展出半连续流动完全混合反应器[7]，适当加入矿物营养，在实验温度为 55℃，注入总悬浮物（TS）为 10%，水力停留时

间（HRT）为 7.5 d，COD_{Cr}负荷率为 20 kg/（m^3·d）条件下，TS 和 COD_{Cr}的去除率分别为 73% ~ 78%和 72% ~ 75%，1 kg 流入的 TS 产生约 0.75 m^3 含甲烷 57% ~ 59%的消化气。

5 废水处理

污泥微生物种群分析和分子生物学的大量研究表明：在处理废水过程中降解有害物的机理也各不相同。如细菌 *Nocardioedes* sp. 和 *Rhodococcus* sp. 均能降解 2，4 - Dinitrophenol（2，4 - DNP），但前者可直接降解 2，4 - DNP 和苦味酸（Picric acid），并将它们作为基质；而后者要求 2，4 - DNP 作为降解2，4 - DNP 和苦味酸的诱发者（Intuder），而苦味酸不能做[8]。

去除染料颜色方面，已分离出多种可去除颜色的微生物，包括细菌和真菌，如分离出的两种中温兼性厌氧菌，25 ~ 30℃条件下，水力停留时间 24 ~ 54 h，对 8 种染料的颜色去除率可达 67% ~ 88%[9]。

用计算机系统模拟、管理水处理工程系统可能是今后的发展方向之一。根据监测分析资料，利用反馈控制、预测，可避免废水污染峰值负荷的出现，使系统在最佳条件下运行，实现低成本、高效率的目标。

6 有害气体的固着

固定 CO_2 菌的分子生物学研究表明，微生物有 4 种固定 CO_2 的途径，在一般环境条件下，主要方式是还原戊糖磷酸循环（Reductive pentose phosphate cycle）即 Calvin - Benson 循环，而极端条件下，象地热地区，其方式有还原 TCA 循环（Redyctive TCA Cycle），乙酰—CoA 途径（the Actyl CoA pathway）和 3 - 羟基乙炔化合物循环（3 - hydroxypropionate cycle）。

从海相环境中分离出的固着 CO_2 的微藻（microalgae）DCB - T1 在最佳生长温度 30℃，最佳光强 6 000 lx，盐度 0.2%的条件下，在 150 L 光反应器中培养，可固定 $CO_2$2 g/（g 生物量·d）[10]。另外，绿藻在光照条件下，可长期连续地去除 NO。

7 清洁技术与清洁能源

利用生物技术将废弃物循环利用一直是重要的课题之一，在许多方面均有试验性工作，如：用城市固废堆肥，利用污泥生产生物肥料。将苹果渣利用微生物固态发酵生产柠檬酸，由生产维生素的废弃化学品 D - 泛酰内脂（D - pantoyl lactone）通过微生物催化生产 D - 泛酸（D - pantothenic acid）。

氢燃烧后不产生任何有害环境的气体，因此如何通过生物技术廉价获得氢吸引着科学家们的注意力。研究表明：生物产氢有 2 种类型。第一是光合作用菌（photosynthetic bacteria），如利用 *Rhodobuter sphaeroides* RV 在光照射条件下产氢，从而将太阳能转变为氢。在最佳条件下，氢的转化率可达 1.4%[11]。另一种是氰菌（*Cyanobacteria*），利用氢酶将碳氢化合物转化成氢气。如一种厌氧中温甲壳质细菌 *Clostridium paraputrificum M* - 21，当它用 N - 乙酰葡糖胺（N - acetylglcosamine GLCNAC）或壳多糖作碳源时，平均产氢率可达 1.9 molH_2/（mol GLCNAC）[12]。

另外，在生物菌团特征、环境风险评价、政府法律制订、国际间合作等方面也开展了许多研究工作。

参考文献：

[1] Man Bock Gu，Geun Cheol Gil. A two - stage and multi - channel continuous toxicity monitoring system using recombinant bioluminescent bacteria [A]. Fifth International Symposium on Environmental Biotechnology Abstracts（Fifth ISEBA）[C]. Kyoto：Kyoto International conference Hall，2000. 55.

[2] Silver S. Toxic metal ions ：from molecular biology of microbial resistances to the potential for bacterial and phytoremediation [A]. Fifth ISEBA [C]. Kyoto：Kyoto International conference Hall，2000. 62.

[3] Byoung - In Sang，Jae - keun chae，Jae - Eul Song，*et al*. In situ bioremediation of cutting and grinding oil - contaminated soil using bioventing technology with injection by the horizontal Wells [A]. Fifth ISEBA [C]. Kyoto：Kyoto International conference Hall，2000. 239.

[4] Kurihara T，Ichiyama S，Li YF，*et al*. Mechanism of Enzymatic hydrolysis of organohalogen compounds [A]. Fifth ISEBA [C]. Kyoto：Kyoto International conference Hall，2000. 225.

[5] Eguchi M，Sasaki，Miyake Y . A field evaluation of in situ biodegradation of trichloroethylene through methane injection [A]. Fifth ISEBA [C]. Kyoto：Kyoto International confer-

ence Hall，2000．105．

[6] Tomita K，Hayashi N，Kuroki Y．Isolation of thermophiles degrading some aliphatic polyesters [A]．Fifth ISEBA [C]．Kyoto：Kyoto International conference Hall，2000．207．

[7] Li YY，Sasaki H，Seki K，*et al*．high－solids thermophilic methane fermentation of the organic fraction of municipal solid waste [A]．Fifth ISEBA [C]．Kyoto：Kyoto International conference Hall，2000．81．

[8] Kimura N，Shinozaki Y，Suna Y，*et al*．Diversity of 2，4－dinitrophenol degrading bacteria isolated from contaminated soil and wastewater [A]．Fifth ISEBA [C]．Kyoto：Kyoto International conference Hall，2000．250．

[9] Singh D，Nigam P，Banat IM，*et al*．Microbial decolorization of dyes present in textile industries effluent [A]．Fifth ISEBA [C]．Kyoto：Kyoto International conference Hall，2000．137．

[10] Leu JY，Chang Ch．Reduction of carbon dioxide using microalgae fixation system [A]．Fifth ISEBA [C]．Kyoto：Kyoto International conference Hall．2000．201．

[11] Wskayama Y，Miyake J．Photobioreactor for the improvement of solar hydrogen production efficiency by Rhodobactertia Sphaeroides RV [A]．Fifth ISEBA [C]．Kyoto：Kyoto International conference Hall，2000．117．

[12] Morimoto K，Evvyernie D，Karita S，*et al*．Hydrogen gas production from N－acetylglucosamime by chitinolytic bacterium clostridium paraputrificum and characterzation of its chitinase genes [A]．Fifth ISEBA [C]．Kyoto：Kyoto International conference Hall，2000．118．