

## “农业生物资源与环境调控”专题报道导读

农业生物资源在自然界的环境调控中具有重要的作用。生物资源在环境的自然净化和保护中具有悠久的历史。目前,因为工农业的快速发展,带来了严重的环境问题,人类赖以生存的环境包括土壤、大气和水体等都面临严重的污染问题。发掘自然界中与环境调控相关的自然资源,包括微生物资源、植物资源和动物资源,以及研究这些自然资源在环境调控中的作用,对于减少环境修复中的二次污染和维护自然环境的可持续发展具有重要的价值和长远的意义。“2008 年第二届农业生物资源与环境调控学术研讨会”上,来自全国各地的相关专家对这一主题进行了深入探讨和交流,现从中选出 3 篇大会报告:农业源污染与微生物修复技术;糖业产业节能减排和循环经济新模式;养殖污染水体生物控制技术的研究,安排在本期同时刊出,希望引起从事农业生物资源与环境调控的读者的。

——本期责任编辑:朱昌雄

## 专论与评述

# 农业源污染与微生物修复技术

朱昌雄,郭萍

(中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所,北京 100081)

**摘要:**介绍了我国土壤、水体两方面的污染现状,着重阐述了农业生产引起的水体富营养化污染和土壤农药、肥料、重金属等污染,并结合我国的污染现状论述了微生物修复技术在国内外的发展历史,以及未来的发展趋势和前景。

**关键词:**水体;土壤;污染;微生物;修复

中图分类号:X501

文献标识码:C

文章编号:0253-4320(2008)10-0001-06

## Pollution from agricultural practice and bioremediation of mirebe

ZHU Chang-xiong, GUO Ping

(Agricultural Environment and Sustainable Development Institute, Chinese Academy of Agriculture Science, Beijing 100081, China)

**Abstract:** The situation of soil and water body pollution in China is presented, with highlighting on the eutrophic pollution in water body and pesticide, fertilizer and heavy metal as well in soil from agricultural production. The development steps of bioremediation with microbe in China and overseas are summarized, and future trend of its utilization in environmental remediation is previewed.

**Key words:** water body; soil; pollution; microbe; remediation

所谓环境污染是指人类活动所引起的环境质量下降而有害于人类和其他生物正常生存和发展的现象。就造成环境污染成因而言,可以把环境污染分为面源污染和点源污染两种类型。点源污染主要包括工农业和城市生活废水、污水和其他废弃物,通常有固定的排污口和污染地,集中排放,集中堆积;面源污染也称非点源污染,是指液体的和固体的污染

物从非特定的地点,以不同的形式对大气、土壤和水体(包括河流、湖泊、水库和海湾等)等环境形成污染。随着对工业源污染控制能力的提高,农业源污染的严重性逐渐显现出来。在美国即使对工业源污染的控制达到零排放,仍然不能有效控制水体污染,而我国 2000 年底国家环保总局的报告显示,在“九五”期间我国工业污染物排放总量比 1995 年下降了

收稿日期:2008-09-04

基金项目:水专项计划支持项目(2008ZX07425、2008ZX07103-002);国家科技支撑项目(2006BAD17B02);中央级公益性科研院所基本科研业务费(养殖污染水体控制与生物修复技术的研究)资助项目

作者简介:朱昌雄(1963-),男,硕士,研究员,博士生导师,从事微生物研究工作,zhucx120@163.com;郭萍(1967-),女,博士,副研究员,研究方向为环境评价与修复,010-82109561,guoping@cjac.org.cn。

15%；全国 23.8 万家有污染的工业企业中，90% 以上实现了达标排放。这些数字说明，“九五”期间工业污染源排放得到了有效控制，而与此相对应的是水质应当出现好转，但实际情况却并没有达到预期的结果。“三河”（淮河、辽河、海河）流域水质没有明显好转；“三湖”（太湖、滇池、巢湖）仍是呈富营养化状态；滇池的水质仍然很差，太湖湖体监测指标评价均属劣 V 类水质<sup>[1]</sup>。农业生产中过量使用的肥料、农药、畜禽粪便、农业废弃物和农村生活污水等给土壤、水体和空气等环境造成了巨大的不良影响，以水体为例，调查显示农业源氮、磷的污染贡献率已占到 59%<sup>[2]</sup>。

长期以来我国对于工业生产产生的点源污染较为重视，并有目的地开展研究。但是对于以农业生产为主的面源污染问题认识不足，重视不够，研究缺乏系统性。环境污染的控制包括以清洁生产为核心的污染源头控制和以环境恢复为主的末端污染修复。污染环境的修复技术包括物理方法、化学方法和生物方法等三大类。生物修复是利用生物的生命代谢活动减少环境中的有毒有害物质的浓度或使其完全无害化，使污染了的环境能部分或完全恢复到原始状态的过程<sup>[3]</sup>。在污染环境中，微生物是最活跃的生物因子，特别是一些特殊微生物在特定条件下的作用更是十分显著。一般在污染条件下，污染物进入环境后，一些敏感微生物种类被淘汰，能够适应的种类则继续生存下来。保留下来的种类虽然减少了，但它能够与变化了的环境条件发生物质和能量交流，而且没有别的微生物同它竞争，所以保留下来的物种很快繁殖起来成为优势菌。污染环境的生存微生物是环境微生物修复技术发展的基础。

微生物修复是以一种或多种微生物为主体来降解环境中对生物体有毒或有害的物质，如石油烃类和有机磷、有机氯农药等，使这类物质转化为无毒无害的物质，或最终形成二氧化碳、水和氮气。利用微生物技术处理污染物通常能在原位处理，一步到位，避免了污染物的多次转移，正如美国环保局（EPA）在评价以微生物为主体的环境生物技术时所指出的“生物治理技术优于其他新技术的显著特点在于其是污染物消除技术而不是污染物分离技术”<sup>[4]</sup>。利用微生物修复技术可修复用其他方法难以处理的环境介质，使受污染的宝贵水、土壤资源等得以重新利用；微生物修复的另一大特点就是可通过优势菌群和微生态的调整强化环境的自净能力，因此如何利用微生物修复污染环境，降解和转化环境中的各类

污染物，从大气、水体、土壤各个方面受到了广泛的关注和研究，该类技术不仅成功地用于治理工业源的污染，而且在治理农业源污染方面的尝试研究也取得了一定的进展和应用。

## 1 水体污染的现状

长期以来对工业污染源的治理虽然在环境保护方面取得了一定的成效，但并没有遏制江河、湖泊等水体污染状况的进一步恶化。20 世纪 70 年代中期，发达国家经过调查普遍发现，仅靠治理城市污染并不能从根本上解决水质污染问题，1985 年美国进行了迄今最广泛的面源污染调查，调查结果显示：受农业面源污染的河流和湖泊中，农业面源污染贡献率分别为 64% 和 57%。其中水肥流失、农药不合理使用和畜禽粪尿流失是农业面源污染的主要组成部分。化学肥料的大量和过量使用，使土壤营养盐高度富集，导致并加剧了营养元素向水体的流失。1994 年美国“国家水质评价”报告指出，农村面源污染不仅是导致河流、湖泊、口岸地区地表水污染的主要原因，也是造成地下水污染和湿地生态环境退化的主要原因。2000 年，美国对本国的河口富营养化调查发现：65% 的水面达到了中营养和富营养化，最为显著的地带是在墨西哥海湾到大西洋的中部地带<sup>[5]</sup>。2004 年，英国环境署对本国河流状况调查表明：53% 河流中的磷质量浓度已超过了 0.1 mg/L，29% 河流中的氮质量浓度已经超过了 30 mg/L<sup>[6]</sup>。我国根据《2004 年中国环境状况公告》，在评价的 27 个重点湖泊中，IV 类、V 类或劣 V 类水质湖库 20 个，占 74%，其中“三湖”水质均为劣 V 类；在评价的 10 个大型水库中，有 8 个水库都属于中营养<sup>[7]</sup>。过量施用化肥、农药以及规模化畜禽养殖产生的大量禽畜粪便、农村污水已成为中国水环境污染的“元凶”。目前，我国水体氮、磷污染物中来自农业面源污染的比例大约占到 60%，我国在不到世界 1/10 的耕地氮肥的使用量却占全世界的近 30%，而其平均利用率却很低，氮肥的平均利用率在 20% ~ 50%，每年有超过 1 500 万 t 的废氮流失到了农田之外，使湖泊、池塘、河流和浅海水域生态系统营养化，导致水藻生长过盛、水体缺氧、水生生物死亡<sup>[2]</sup>。预计到 2010 年，我国村镇污水排放量约 270 亿 t<sup>[8]</sup>。中国科学院南京土壤研究所的研究显示，我国每年有 123.5 万 t 氮通过地表水径流到江河湖泊，49.4 万 t 进入地下水，299.0 万 t 进入大气。长江、黄河和珠江每年输出的溶解态无机氮量达到 97.5 万 t，其中 90% 来自

农业,而氮肥占了50%。我国每年产生的畜禽粪便量约30亿t,目前畜禽粪便处理技术的产业化程度比较低,只有5%的畜禽粪便经过处理排放,大多数未经任何处理直接排放到环境中。调查显示,一些畜禽养殖发达地区,畜禽养殖业排放的N、P量已经超过农田径流,成为最主要的面源污染和环境污染的重要来源。畜禽粪便进入水体流失率高达25%~30%,化学需氧量(COD)排放接近工业废水COD排放总量,N、P流失量大于化肥流失量,是农村面源污染的主要污染源之一<sup>[9]</sup>。1997年杭州湾一项研究表明,海水中COD 88%来自农业:来自畜禽粪便、化肥、工业和生活废水的无机氮比例分别为35%、40%和25%;总磷比例则分别为20%、65%和15%<sup>[10]</sup>。农业源污染水体对人类健康的影响也不容忽视。据调查报道,累积于饮用水源特别是井水中的化肥氮磷和农药对至少13个省数以百万计居民的健康构成威胁。

## 2 土壤污染的现状

土壤污染最早受到关注的是石油污染,随着石油工业飞速发展,在石油生产、运输、加工及使用过程中,由于事故等原因使土壤被石油污染的面积迅速蔓延。几十年来,关于利用微生物修复土壤中的石油烃以及研究微生物代谢石油的机理,已经积累了比较多的文献。随着集约化农业的发展和农用化学物质种类、数量的增加,土壤重金属、有机污染、亚硝酸盐等污染也日益凸现,污染的程度和污染的面积也在不断加剧和扩大。据我国农业部进行的全国污灌区调查,在约140万 $\text{hm}^2$ 的污水灌区中,遭受重金属污染的土地面积占污水灌区面积的64.8%,其中轻度污染的占46.7%,中度污染的占9.7%,严重污染的占8.4%。我国每年因重金属污染而减产粮食1000多万t,被重金属污染的粮食每年多达200万t,合计经济损失至少200亿元<sup>[11]</sup>。

近几年,世界各国大约使用1500万t的各种农药引起土壤、地下水和海洋的严重污染,破坏了生态平衡,影响了人类健康<sup>[12]</sup>。目前农药施用的有效利用率很低,一般农药喷施中只有10%~20%的农药落于植物体上,其余部分约有40%~60%降落于地面,5%~30%飘浮于空中;而作用于目标的比例大约只有0.3%<sup>[13]</sup>。另外化学农药还通过拌种和根施等各种途径进入土壤,又通过水分循环进入水体,同时经过挥发、代谢、气体交流等进入大气,从而造成了日趋严重的污染问题,其中最为严重的是土壤污

染。虽然有机氯农药已经禁用了近20年,土壤中的残留量已大大降低,但检出率仍很高。据有关部门的调查显示,广州、上海、南京等大城市郊区农田土壤的六六六、DDT的检出率都非常高,局部区域蔬菜地的检出率甚至达到了100%。据统计,我国被污染的土壤面积已达到1300万~1600万 $\text{hm}^2$ ,经济损失达10亿元之巨<sup>[14-15]</sup>。土壤是人类生活和生存的重要资源,又是不可取代的环境。土壤的农药污染,不仅会改变土壤的正常结构和功能,影响植物的生长发育,而且可通过食物链影响人体健康,农产品尤其是蔬菜中农药残留量超标而引发的食物中毒事件频频发生,据2000年国家质检总局数据,全国47.5%的蔬菜农药残留超标,因农残超标被退回的出口农产品金额达74亿美元。

未被植物利用的化肥和废弃农膜也是重要的农业污染源。据统计,我国化肥的使用量从建国初期的0.6万t提高到1995年的3594万t,平均化肥使用量为378 $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,到2001年发展到400 $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,成为世界上施用化肥最多的国家。研究表明,我国氮肥利用率仅为30%~50%,磷肥为10%~20%,钾肥为35%~50%,仅1995年我国氮、磷、钾化肥损失就分别达到1314.5万t、506.0万t和1343.0万t。未被利用的养分通过径流、淋溶、反硝化、吸附和侵蚀等方式进入环境,污染水体、土壤和大气。农膜的原料是人工合成的高分子化合物,一般情况下,残膜在土壤中可存留200~400年<sup>[16]</sup>。中国农膜使用量一直保持持续的增长态势,使用量从1991年31.9万t增加到2004年的93.1万t,地膜覆盖面积从1981年的1.5万 $\text{hm}^2$ 增加到2004年的1200万 $\text{hm}^2$ ,增加了近3倍<sup>[17]</sup>。目前有约40万t地膜废弃在农田里,每年农膜残留量高达45 $\text{kg}/\text{hm}^2$ 左右。

针对日益严重的环境污染,世界各发达国家纷纷制定环境修复计划,如荷兰在20世纪80年代已投资15万美元进行土壤污染的修复;德国1995年投资60亿美元净化土壤污染;英国、法国、日本、俄罗斯等国家相应投巨资进行环境污染的修复。

## 3 微生物修复技术研究进展

微生物修复技术分为异位生物处理和原位生物修复两类。异位生物处理主要用于土壤修复,是指将受污染的土壤挖掘出来,在地面建造的处理设施内进行生物处理,主要有地面堆肥和泥浆生物反应器等。原位生物修复是在基本不破坏土壤和地下水自然环境的条件下,将受污染的土壤和地下水原位

进行修复。在原位生物修复工程技术中,一种途径是提供微生物生长所需要的营养,改善微生物生长的环境条件,从而大幅度提高野生微生物的数量和活性,提高其降解污染物的能力,这种途径称为生物强化修复;另一种途径是投加实验室培养对污染物具有特殊亲和性的目标微生物,使其能够降解土壤和地下水中的污染物,称为生物接种修复。由于土壤中遭到各种各样污染物的侵入,不同污染物也会由不同微生物产生的酶进行降解。因此,许多研究机构热衷于从基因工程着手,将分解不同有毒污染物的微生物基因转入一种微生物中,这一构思甚佳,但终因稳定性和环境适应性差和所消耗人力、物力过大等困难而使得产品尚未见诸于世。现有的微生物环境修复产品大都是多种微生物的复合体。

微生物在环境治理方面最早的应用就是水处理。微生物处理污水的工艺很多,主要有活性污泥法、生物转盘法、厌氧发酵法、活细胞固定法,酶处理法等。它同物理或化学的净化方法相比,不仅简便、经济,而且具有很高的净化效率。欧美发达国家 20 世纪六七十年代对水环境污染的治理主要集中于点源污染治理。20 世纪 60 年代率先利用降解力强的光合细菌处理粪尿、食品、淀粉、皮革、豆制品、焦化、染料等废水。美国 1976 年共建了 22 600 个污水处理厂,其中使用生物处理法的占 68%;1973 年,英国 5 000 家污水处理厂,全部采用生物处理法,其中比较广泛采用的是活性污泥法和厌氧发酵法。据不完全统计,我国有近 3 000 家规模较大的污水处理厂。我国城市污水处理技术研究工作从 20 世纪 70 年代末起步,经过近 30 年的不懈努力,取得了较大的成就,同时也不断引进国外新的工艺技术<sup>[18]</sup>。目前采用比较多的是 SBR 法和氧化沟法,SBR 法就是间歇式厌氧发酵法。氧化沟实际上是活性污泥法的一种变形,废水和活性污泥的混合液在环状的曝气渠道中不断地循环流动,又有人称其为循环曝气池。

微生物原位修复技术的应用范围最初仅限于试验阶段,1984 年,针对美国密苏里州西部石油运输泄漏事件,采用了添加氮磷营养物质、人工曝气的方法进行原位生物修复,经过 32 个月的运行,苯、甲苯和二甲苯的质量浓度从 20 ~ 30 mg/L 降低到 0.05 ~ 0.10 mg/L,得到了良好的环境修复效果;1989 年大规模利用生物修复技术成功地修复了受石油污染的阿拉斯加海滩,这一事件因此也成为生物修复技术史上的里程碑。几乎是同时,密执根州立大学的 Ja-

mesTiedje 的实验室首次从污染的河泥中分离出了具有脱氯功能的厌氧微生物,命名为蒂氏脱硫念珠菌 (*Desulfomonile tiedjei*),后来又提出了还原脱氯反应与微生物的能量代谢是结合在一起的理论<sup>[19]</sup>。1991 年 3 月在美国的圣地亚哥召开了第一届“原位与就地生物修复”国际会议,这一会议的召开标志着以生物修复为核心的环境生物技术进入了一个全新的发展时期。目前这一技术在发达国家已取得了良好的生态效益和社会效益,尤其是微生物修复技术已经被广泛地应用于石油、重金属、有机化合物等造成的立体污染修复领域。

最早的农业源污染研究是对有机农药的降解。由于持久性有机化合物对野生动、植物和人类的潜在毒性,发达国家早在 20 世纪 50 年代末和 60 年代初,就开始了对农药环境污染物降解的研究工作。美国康奈尔大学 Martin Alexander 实验室最早开展了农药在土壤中可降解性的研究<sup>[20]</sup>。有机氯农药毒性大,残留期长,在好氧条件下很难分解,厌氧还原脱氯就为此类化合物在自然条件下的分解提供了一条途径,也为人们对微生物代谢途径的了解增加了认识,后来许多科研工作者从世界各地的不同环境中分离出了大量的能分解不同种类氯代有机物的微生物细菌。由于我国有机磷杀虫剂的大量使用,所以我国有关农药生物修复的研究主要集中在有机磷化合物的降解方面,而国外近年来因大量使用了除草剂,环境污染问题也随之产生,因此可降解除草剂的微生物的分离和利用便成为国外近期研究的热点。目前,世界上许多国家已经禁止生产和使用。2001 年联合国环境规划署(UNEP)通过的《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》列出了 12 种优先控制的持久性有机污染物(POPs),其中农药占了 9 种(艾氏剂、六氯代苯、氯丹、灭蚁灵、狄氏剂、毒杀芬、DDT、异狄氏剂、七氯);另外,农药也占据了 20 种被列为潜在持久性有机污染物中的大部分。

由于我国不断爆发的水华现象,对水体造成了严重的危害。因此水体富营养化修复技术的研究近年来得到了有关部门的关注。发达国家在水体富营养化修复方面已有比较成熟的技术,并有许多成功的案例可以借鉴。如美国 Alken-Murry 公司利用酶和光合细菌的功能研究开发的 Clear-Flo 系列菌剂产品,专门用于湖泊和池塘生物清淤(bio-dredging)、养殖水体净化、河流修复及污泥去除。1992 年,美国 Moulin Vert 水渠使用 Clear-Flo 1200 产品 3

个月,  $\text{NH}_4^+$  质量浓度从 0.020 mg/L 降为 0.004 mg/L, COD 降低了 84%, 生物需氧氧 (BOD) 降低了 74%, 无毒性检出, 由于污泥的不断矿化, 水渠的自净容量大大提高, 经过连续几年的处理完成了河流的修复工作。针对城市内陆河的有机污染, 美国 CBS (Central Biological System) 公司的科学家开发研制了 CBS 水体生物修复技术, 在流动水体中, 无固定设备和完全自然状态下, 用喷洒微生物的方法把被污染河道水体中有机物转化为无机物, 这种 CBS 微生物生态系统主要包括光合细菌、乳酸菌、放线菌和酵母菌等含有多个属、几十个具备各种功能的微生物, 构成了降解功能强大的微生物菌群, 它不仅可以去掉水体中有机污染物、消除恶臭和解决水体富营养化问题, 而且对底泥有一定的消化作用<sup>[21-24]</sup>。EM 是由日本琉球大学比嘉照夫教授多年潜心研究开发出的一种新型复合微生物活性制剂, 国内外的应用实验表明 EM 菌剂在合适的条件下可以很好地降低污水的 COD 和 BOD<sup>[25]</sup>。1993 年, 用 Clear-Flo-7018、1 200 和 7 000 净化中国昆明的一条河流。这条河由于接纳农家肥、动物粪便、渔场副产品、化粪池渗滤液、工业废水和倾倒的垃圾, 悬浮有机废弃物负荷很高, 导致该河流臭气熏天, 富营养化严重。治理后,  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{H}_2\text{S}$  降低, 污泥被分解, 并随着鱼副产品所含的  $\text{H}_2\text{S}$  的氧化, 游离氧开始增高。

中国科学院淡水渔业研究中心采用光合细菌修复鳊鱼养殖池水取得了良好的试验效果, 经处理后水中氨氮下降 57.1%, 溶解氧增加 54.6%, 对虾养殖池投放光合细菌后, 氨氮去除率达 58%, 硫化氢去除率为 50%, 溶解氧增加 13.6%。天津科技大学材料科学与工程学院的庞金钊、杨宗政利用微生物对富营养化的城市河湖水体进行生物修复, 使水中的污染物降解成  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$  或转化成无害物质; 研究表明, 该微生物制剂对去除水体中的有机物、叶绿素 a、氨氮和提高溶解氧等均有显著效果。中国农科院环境与可持续发展研究所养殖水体污染治理方面独辟新径, 该所与福建诏安绿洲生物技术公司合作, 利用农业废弃物生产的活性腐植酸, 与功能微生物形成了固定化的高效水体修复剂, 利用微生物和腐植酸的协同作用机理逐步建立水体的健康生态环境, 恢复水体的自净能力, 最终达到水体修复的目的; 该项技术不仅在修复养殖水体污染中取得了明显的效果, 达到了农业增产增收效果, 而且有效地利用了工业生产废弃物, 达到了资源化利用的

目的。

微生物环境修复技术从实验室的研究到环境的应用不是一个简单的放大过程, 环境的温度、pH、养分状况、水分含量等都会影响到生物技术应用的效果。因此, 我国环境微生物修复技术距离大规模的实际应用还有相当多的工作要做。

#### 4 微生物环境修复技术发展趋势

发达国家不仅可以应用生物修复来恢复健康的生态环境, 而且由于他们的农业生产压力比较小, 可以通过限制化肥、农药的施用量及附加环境税收等措施来减轻或消除农业源污染。但在中国控制农业面源污染则要艰巨得多。因此研究和开发环境修复技术对于治理我国的环境污染, 改善我国的环境现状, 促进农业的可持续发展具有重要的意义。传统的污染防治技术和手段已远远不能满足我国经历快速的农业发展后所带来的污染问题和人类对生存环境质量的要求, 因此迫切需要生态型的快速环境修复技术和方法。环境修复是在目前污染问题日益突出的状况下恢复资源和健康生态重建的唯一出路。

微生物在环境的物质循环尤其是污染物的降解和转化中起着决定性的作用。例如地表上动植物之类的有机残留物, 每年总产量约达 5 000 亿 t, 其中大部分被微生物分解, 变成无机物, 又返回自然界。土壤和水体的自净功能, 主要源于微生物的作用。实践结果表明, 微生物修复技术由于资源丰富、代谢快速, 在治理环境污染方面具有显著的优越性。

自 20 世纪 70 年代以来, 发达国家就十分重视微生物技术在环境领域的应用, 90 年代随着生物技术的快速发展, 微生物在环境领域的研究和应用得到了蓬勃的发展。发达国家相关部门在政策和资金方面对微生物环境技术都给予了高度的关注。美国国家环保局、国防部、能源部在继 1990 年启动“人类基因组计划”, 1994 年启动“微生物基因组计划”和 1998 年推出“国家植物基因组计划”后, 积极推进生物修复技术的研究和应用, 美国国家科学和技术委员会从 1992 年起接连发表了题为《21 世纪生物技术》、《21 世纪生物技术: 实现诺言》和《21 世纪的生物技术: 新的方向》等发展战略报告和蓝皮书, 指出生物技术在经历了第 1 次浪潮 (医药和健康) 后, 在继续重视和推动第 1 次浪潮向纵深发展的基础上, 迎来了第 2 次浪潮, 包括农业生物技术和环境生物技术。为此, 美国政府将在农业、环保等产业方面加

大研究与开发力度,并在税收、经费预算、专利保护期等方面制定了大量特殊优惠政策,为环境生物修复技术的发展构建了良好的外部条件。各国研究人员开展了大规模的科研活动,已开发了一系列的微生物技术及其产品,并在世界上广泛应用于污水处理、大气净化及污染环境介质治理等诸多方面。据《21 世纪生物技术:新的方向》一书介绍,美国在 20 世纪 90 年代中,每年都投资几百亿美元进行污染环境的修复,该书分析:如果采用传统的修复方法(物理和化学方法)来治理美国本土陆地上的环境污染,就需要投资 1.7 万亿美元,而如果采用生物修复技术,只需 3 400 亿~6 000 亿美元的投资,也就是传统方法所需投资的 1/5~1/3。我们的国土面积比美国略大,且环境污染更为严重,对全国范围的污染环境进行修复,若采用传统方法,即使考虑劳动力相对便宜的因素,其投资规模将仍然非常庞大,如采用微生物修复技术,不仅其投资规模大为缩小,而且还没有二次污染。随着全球范围内对环境保护的高度重视和越来越严厉的环境法规,市场对环境微生物技术的需求越来越广泛<sup>[26]</sup>。

我国的微生物环境修复技术处于刚刚起步阶段。尤其是农业源污染问题还没有得到足够的重视,农业源污染的微生物治理技术的进一步开发需要得到政府、社会和同行的广泛支持,大力开展以农业源污染控制技术为主体的微生物修复技术的研究,在推进微生物环境修复技术发展的同时,促进和带动整个环境生物修复技术的发展,解决我国目前和未来面临的严峻的土壤和水体污染问题,为环保市场提供高品质的环境保护高技术和产品。

综上所述,环境污染的微生物修复技术是我国今后治理环境污染的发展方向,具有广阔的市场和发展前景。

### 参考文献

- [1] 刘婷.关于农业水污染防治的方法研究[EB/OL].[2008-08-20] [http://agripollute.nstl.gov.cn/MirrorResources/345/wenzhang\\_detail.aspx?id=48604](http://agripollute.nstl.gov.cn/MirrorResources/345/wenzhang_detail.aspx?id=48604).html
- [2] 董学清.中国农业大规模推广绿色环保化肥减少环境污染[EB/OL].[2008-08-20] <http://www.china.org.cn/chinese/huanjing/695185.htm>
- [3] Alexander M. Biodegradation of chemical of environmental concern[J]. Science, 1981, 211: 132-138.
- [4] Loppman Abbey, Philip L. Biotechnology Newswatch[D]. New York: Oxford University Press, 1993.
- [5] Integrated Assessment of Hypoxia in the northern Gulf of Mexico[EB/OL]. <http://oceanservice.noaa.gov/>
- [6] Pretty J N, Mason C F, Nedwll D B, et al. A preliminary assessment of the environmental costs of the eutrophication of fresh waters in England and Wales [EB/OL]. <http://www.Environment-agency.gov.uk>. 2002-11-03.
- [7] 国家环保总局网站.2004 年中国环境状况公报淡水环境[EB/OL]. <http://www.epirc.org.cn/tjsj-gb-detail.asp?id=6640>. 2005-05-25.
- [8] 沈东升,贺永华,冯华军.农村生活污水地理式无动力厌氧处理技术研究[J].农业工程学报,2005,21(7):111-115.
- [9] 刁治民,高晓杰,熊亚.畜禽粪便微生物处理及资源化工程的研究[J].青海草业,2004,13(1):13-20.
- [10] <http://www.51hp.net/Article/wrfz/fsc/200704/6906.html>
- [11] 高翔云,汤志云,李建,等.国内土壤环境污染现状与防治措施[J].环境保护,2006(2B):50-53.
- [12] 李树文,孟文芳,巩学敏,等.污染环境生物修复技术的应用前景[J].河北建筑科技学院学报,2005,22(2):7-9.
- [13] Pimentel D. Amounts of pesticides reaching target pests: Environmental impacts and ethics[J]. J Agric Environ Ethics, 1995, 8: 17-29.
- [14] 周东美,郝秀珍,薛艳,等.污染土壤的修复技术研究进展[J].生态环境,2004(2):234-242.
- [15] 国家环境保护总局.我国农药污染现状、存在问题及建议[J].环境保护,2001(6):23-24.
- [16] 王频.残膜污染治理的对策和措施[J].农业工程学报,1998,14(3):185-188.
- [17] 严昌荣,梅旭荣,何文清,等.农用地膜残留污染的现状与防治[J].农业工程学报,2006,22(11):269-272.
- [18] 朱智飞,郑敏,熊绪杰.我国城市污水处理的现状和研究进展[J].广东化工,2006,156(33):75-76.
- [19] Zehnder A J B. Biology of Anaerobic Microorganisms[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1988: 872.
- [20] Alexander M. Biodegradation and Bioremediation[M]. 2nd. San Diego California: Academic Press, 1999: 453.
- [21] Gibson D T. Microbial Degradation of Organic Compounds[M]. New York: Marcel Dekker, Inc, 1984: 535.
- [22] Omenn G S. Environmental Biotechnology: Reducing Risks from Environmental Chemicals through Biotechnology[M]. New York: Plenum Press, 1988: 505.
- [23] Young L Y, Cerniglia C E. Microbial Transformation and Degradation of Toxic Organic Chemicals[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1995: 654.
- [24] Atlas R. Bioremediation. Environmental Biotechnology: Reducing Risks from Environmental Chemicals through Biotechnology//Chemical & Engineering News[M]. 3rd. New York: Plenum Press, 1988: 505.
- [25] 林静,谢冰.复合微生物制剂在环境保护中的应用[J].上海化工,2004(12):7-11.
- [26] 国际新能源网.环境保护与生物技术[EB/OL].[2008-08-20] [http://www.in-en.com/newenergy/html/newenergy-1335133593131394\\_4.html](http://www.in-en.com/newenergy/html/newenergy-1335133593131394_4.html)