

· 农业生态 ·

# 我国农田和水体污染及微生物修复前景\*

孙建光, 姜瑞波, 任天志, 王立刚, 徐晶

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 中国农业微生物菌种保藏管理中心,  
农业部植物营养与养分循环重点实验室, 北京 100081)

**摘要** 重金属以及化学农药(除草剂)残留和多化芳烃等有机污染是造成我国农田复合污染的主要污染物,是影响我国农业可持续发展和粮食安全、农业生态环境安全的重要问题。水体氮磷污染和富营养化也是我国目前的主要环境问题之一。微生物在农田污染治理和水体富营养化修复中显示出越来越重要的作用。该文分析了我国农田的重金属污染和有机污染,以及我国水体富营养化的严峻形势,讨论了微生物资源在农田与水体污染修复中前景。

**关键词** 微生物资源 重金属 有机污染 水体富营养化 生物修复

2006年7月,国家环保总局在全国土壤污染状况调查及污染防治专项工作会议上发布的最新统计数据显示,目前全国受污染的耕地约有1000万 $\text{hm}^2$ ,污水灌溉污染耕地216.7万 $\text{hm}^2$ ,固体废弃物堆存占地和毁田13.3万 $\text{hm}^2$ ,合计约占耕地总面积1/10以上,全国每年因重金属污染的粮食达1200万t,其中多数集中在经济较发达地区。一些地区土壤污染严重,对生态环境、食品安全和农业发展都构成威胁,每年因为土壤污染造成的经济损失达200亿元<sup>[1]</sup>。我国耕地质量<sup>[2]</sup>和农业生态环境安全<sup>[3]</sup>引起农业专家的广泛关注。

## 一、我国农田重金属污染状况及其生物修复前景

污染土壤环境的重金属主要是指生物毒性显著的镉、汞、铅以及类金属砷,其次是指毒性一般的重金属铜、铬、镍、锌、钴、锡等,当前最引起人类关注的是汞、镉、铅、铬、砷等。我国农田重金属污染现象已经十分严重,近10%的耕地和多数城市近郊农田土壤都受到了不同程度的污染。北京市通惠河污灌区土壤铅含量近年来升高,凉水河污灌区的锌、镉、汞也有明显上升,一些点的汞、锌已超过国家土壤环境质量标准(GB15618-1995)的极限值,长期的污水灌溉已经引起了土壤以及稻米、小麦等粮食作物中镉等重金属元素的积累,局部地区蔬菜重金属的含量已超标<sup>[4]</sup>。天津市土壤重金属污染已经形成环境问题,东丽、西青和津南菜田土壤的重金属污染均为3级,属于轻度污染水平,北辰菜田土壤的重金属污染为4级,达到了中度污染水平<sup>[5]</sup>。此外,在重庆<sup>[6]</sup>、香港<sup>[7]</sup>、贵州<sup>[8]</sup>、福建<sup>[9]</sup>、河北<sup>[10]</sup>、广西<sup>[11]</sup>、江西<sup>[12]</sup>、海南<sup>[13]</sup>、珠江三角洲<sup>[14]</sup>、北方河套地区<sup>[15]</sup>等许多省市地区都发现了不同程度的铬、汞、铅、镉、砷、铜、锌、镍土壤重金属污染。此外,我国的一些主要水域如淮河、长江流域<sup>[16]</sup>、太湖流域<sup>[17]</sup>、胶州湾<sup>[18]</sup>等也发现了重金属污染。调查表明工矿企业的污水排放、污水灌溉、污泥、垃圾肥料、畜禽粪便以及化肥的大量使用是农田土壤重金属污染的来源<sup>[19]</sup>。污水灌溉是我国农田重金属污染的主要原因之一。我国是一个缺水的国家,特别是北方地区采用污灌比较普遍。我国的大型污灌区主要集中在部分大中城市的近郊县,普遍出现了重金属污染问题,除镉、汞外,重金属污染比较明显的还有铅、砷、铬和铜<sup>[20]</sup>。北京东南郊污灌区是全国五大污灌区之一,长期的污水灌溉已经引起了土壤以及稻米、小麦等粮食作物中

收稿日期:2006-10-08 孙建光为副研究员 姜瑞波为研究员 任天志为研究员 王立刚为副研究员 徐晶为研究员

\* 国家自然科学基金资源平台项目(2005DKA21201)、农业生态环境科技推广项目、教育部留学回国人员基金、农业部植物营养与养分循环重点实验室基金资助。

镉等重金属元素的积累,局部地区蔬菜重金属的含量已超标<sup>[21]</sup>。

重金属污染不仅使农田土壤肥力退化,农产品的产量和品质降低,而且促使水环境恶化,并且通过食物链最终危及人类的生命健康。和其他类型的污染物相比,重金属污染具有隐蔽性、长期性、不能被降解、易积累、毒性大等特点,是影响生态系统安全的一类重要污染物质,一旦进入农田,对其进行治理十分困难。国外学者提出了多种物理的、化学的方法如热处理、电循环、excavation、capping等来修复被重金属污染的农田土壤,但由于成本高和引入二次污染的问题,这些方法在实际中很少采用。生物修复是利用植物对重金属的富集作用从土壤中吸收去除重金属,这种方法不仅廉价而且改善环境,是目前最有前景的治理农田重金属污染的方法。目前国内在这方面的研究进展也较快,已陆续发现了镉超富集植物宝山堇菜(*Viola baoshanensis*)、砷超富集植物蜈蚣草(*Pteris vittata*)和大叶井边草(*P. cretica*)、铜超富集植物海州香薷(*Esboltzia splendens*)和鸭跖草(*Commelina communis*)、锰超积累植物商陆(*Phytolaccaceae*),以及锌超富集植物东南景天(*Sedum alfredii*)等<sup>[22]</sup>。

近年来随着研究工作的深入,人们发现微生物及其抗性基因在重金属污染土壤的生物修复方面也显示出越来越大的作用和潜力。研究发现抗重金属细菌在植物根际活动,可以促进重金属在植物体内的积累,从而可以加强植物修复过程<sup>[23]</sup>。科学家还发现某些微生物耐受重金属的能力极强,通过生物技术手段将微生物的耐重金属基因克隆到植物体中,得到的转基因植物可以数十倍地提高植物耐受和富集重金属的能力。如细菌抗汞的相关基因分布在一个被称为mer的操纵子上,该操纵子的merA基因编码汞离子还原酶,催化离子汞转化为单质汞。merB基因编码有机汞裂解酶,催化甲基汞转变为离子汞。Rugh等人将基因merA导入白杨中,结果该转基因白杨对单质汞的富集能力提高了10倍,抗汞能力也提高了4倍<sup>[24]</sup>。Bizily等人将基因merA和基因merB同时导入拟南芥并且成功表达,转基因拟南芥对甲基汞的耐受能力提高了50倍<sup>[25]</sup>。中国学者何玉科等人将人工改造后的细菌merA基因和merB基因分别导入烟草中,获得了能够将汞离子挥发的转基因烟草和高有机汞抗性烟草<sup>[26]</sup>。微生物资源及其耐重金属基因在农田重金属污染的生物修复中显示出越来越大的应用价值。

## 二、我国农田有机污染状况及其生物修复

化学农药(包括杀虫剂、杀菌剂、除草剂等)残留,以及多化芳烃等是目前造成我国农田有机污染的主要污染物,也是环境中持久性有机污染物的主要组成,它们严重污染农业生态环境,影响到我国农业的可持续发展和粮食安全。化学农药的发明和使用极大地提高了农业生产力,但同时也带来了食品安全和环境问题。目前我国的农药污染已经相当严重,据统计,我国农药施用面积总计超过2.8亿hm<sup>2</sup>,每年用药量50万~60万吨,全国平均用药量为2.34kg/hm<sup>2</sup>,而上海和浙江用药量最高达到10.80kg/hm<sup>2</sup>和10.41kg/hm<sup>2</sup>。目前农药的施用方法仍以药液喷洒和粉剂喷洒为主,研究表明所施用的农药仅有1%~2%的药作用于防治对象本体,有10%~20%附着在作物本体上,其他80%~90%的农药主要散落在农作物的周边环境,如农田、土壤或漂浮于大气,与尘埃吸附形成气溶胶,造成环境污染<sup>[27]</sup>。约有87万~107万hm<sup>2</sup>的农田土壤受到了农药污染,作物从污染土壤吸收累积农药不但影响正常生长发育,而且还会在植物体内形成积累,最终通过食物链进入人体。国家质检总局2001年对23个大中城市的大型蔬菜批发市场进行了农药残留调查,结果显示有47.55%的蔬菜农药残留量超过国家允许标准<sup>[28]</sup>。

我国食品中有机氯农药的残留量一直高于世界水平,这与1983年以前我国平均施药水平高、禁用时间晚有直接关系。有机氯农药是含有氯的有机化合物,大部分是含一个或几个苯环的氯衍生物。最主要的品种是DDT和六六六,其次是艾氏剂、狄氏剂、异狄氏剂和氯丹、七氯等。我国于20世纪50年代开始使用有机氯农药,20世纪60~80年代初,有机氯农药的生产及使用量一直占全国农药总产量的一半以上。1983年,我国停止生产和大规模使用六六六(HCH)和滴滴涕农药,晚于西方发达国家10~15年。30多年来,我国累计使用六六六(HCH)约490万吨,比同期国际上多3倍以上;累计使用滴滴涕约40万吨,占国际用量的20%<sup>[29]</sup>。有机氯类农药的特点是化学性质稳定,在环境中残留时间长,不易分解,如DDT在土壤中自然分解95%所需时间长达4~30年,六六六为3~20年,狄氏剂为5~25年。这些农

药长时间残留在土壤和植物体内,在茎叶、种子、果实内积累,通过食物链造成人、畜的慢性中毒。我国早在 1985 年禁止生产和使用,但有机氯农药在农田土壤环境中残留量很大,是造成环境污染的主要农药类型,目前仍然是急需解决的主要农业环境问题之一。

我国化学除草剂的使用面积约 6 000 万  $\text{hm}^2$ ,其中长残留除草剂占总面积的 30%。2004 年黑龙江省大豆、玉米、油菜、小麦、亚麻等作物使用长残留除草剂面积超过 333.3 万  $\text{hm}^2$ ,占总播种面积的 30% 以上。内蒙古呼盟等地近 10 年来在大豆、小麦、油菜田多年连续使用长残留除草剂,占总播种面积的 80% 以上<sup>[30]</sup>。吉林、辽宁、华北地区等地玉米田使用长残留除草剂也占有很大的比例。长残留除草剂指对后茬作物造成药害的除草剂,主要品种有普施特、氯嘧磺隆、莠去津、胺苯磺隆、绿磺隆、甲磺隆、咪唑乙烟酸等。这类除草剂的优点是除草效果好、杀草谱宽、用药量少、使用方便、用药成本低,但它们在土壤中残留时间长,一般可达 2~3 年,长的可达 4 年以上,在连作或轮作农田中使用极易造成后茬作物药害、减产,甚至绝产,并严重影响了农业种植业结构的调整。长残效除草剂使后茬作物受药害减产、绝产事件时有发生。在黑龙江、吉林、内蒙古表现为:一是一些地方把大豆田改为水田,在使用过氯嘧磺隆、咪唑乙烟酸的豆田种植水稻受害严重,甚至绝产。二是甜菜对氯嘧磺隆、咪唑乙烟酸、莠去津、胺苯磺隆、甲磺隆、绿磺隆等敏感,除草剂施后 3~4 年仍有药害,导致甜菜种植业下滑。三是经济作物发展受影响,白瓜子、向日葵、马铃薯、亚麻和蔬菜等受到伤害,严重者基地受毁。内蒙古东北部几年前就想调整种植业结构,因小麦、大豆田多年使用长残效除草剂氯嘧磺隆、咪唑乙烟酸、绿磺隆、甲磺隆,使种植马铃薯、亚麻、白瓜子、芸豆等经济作物未能实现,严重制约了本地经济发展。四是玉米、高粱、谷子等作物受害,矮化减产或绝产<sup>[31]</sup>。此外,华北地区麦田多年使用苯磺隆,对后茬作物药害逐年增加,玉米田使用莠去津对下茬小麦有药害。长江流域油菜田过量使用胺苯磺隆对后茬水稻造成药害。吉林省出现普施特、甲磺隆等药害和“癌症田”(指农田施药后,下茬无法轮作,甚至出现栽培作物多年死亡)现象,后果非常严重。

化学农药的大量施用不仅污染农田环境,而且还污染水环境和大气环境。进入土壤中的农药随水淋溶、或通过气体挥发在环境中扩散迁移。调查显示农田中的农药随雨水或灌溉水向水体转移,目前我国地表水域中基本上找不到一块未受农药污染的水体,在江苏、江西以及河北等地的地下水中已经检测到了六六六、阿特拉津、乙草胺、杀虫双等农药残留,农药污染已成为我国影响范围最大的有机污染。

耕地质量和农业环境安全问题一直受到国内外农业专家的高度重视和研究<sup>[32-33]</sup>,发达国家对农田有机污染的修复问题进行了大量研究,目前的修复技术有物理修复、化学修复、生物修复等。生物修复主要指微生物修复,常用的方法有两种:一是筛选能够分解农药的微生物菌种,接种到受农药污染的土壤,利用微生物的代谢作用将农药分解,最终转化为二氧化碳和水;另一种方法是向污染农田投加营养物质,通过改善土壤的环境条件,特别是营养条件,满足污染环境中具有降解农药功能的土著微生物的生长需要,达到降解农田残留农药的目的<sup>[34-35]</sup>。微生物修复不形成二次污染或导致转移,可将农药的残留浓度降到很低,是目前切合农业生产实际、具有广泛应用前景的农田污染修复方法。

目前国内外对微生物降解农药的研究主要集中于细菌上,并且对于细菌代谢农药的机理已经比较清楚<sup>[36-37]</sup>。机理之一是细菌降解农药的酶促反应,即农药化合物通过一定的方式进入细菌体内,然后在各种酶的作用下,经过一系列的生理生化反应,最终将农药完全降解或分解成分子量较小的无毒或毒性较小的化合物的过程。细菌降解农药的酶类包括水解酶类和氧化还原酶类。水解酶类,如磷酸酶、对硫磷水解酶、酯酶、硫基酰胺酶、裂解酶等;氧化还原酶类,如过氧化物酶和多酚氧化酶(酪氨酸酶、漆酶)。目前细菌通过酶促反应对多种农药的降解途径已经比较清楚,其主要途径主要有以下几种:①水解作用。在微生物作用下,酯键和酰胺键被水解,使得农药脱毒,如对马拉硫磷、敌稗等的降解。②脱卤作用。卤代烃类农药在脱卤酶的作用下其取代基上的卤元素被氢、羧基等取代从而失去毒性,如微生物使 DDT 降解变为 DDE 即属此类反应。③氧化作用。微生物通过合成氧化酶使分子氧进入有机分子,尤其是带有芳香环的有机分子中插入 1 个羟基或形成 1 个环氧化物,如微生物对多菌灵和 2,4-D 的降解。④硝基还原。

在微生物的作用下,农药中的 $-NO_2$ 转变为 $-NH_2$ ,如2,4-二硝基酚经微生物转化后成为2-氨基-4-硝基酚和4-氨基-2-硝基酚,对硫磷被转化为氨基对硫磷。⑤甲基化。有毒酚类被加入甲基使其钝化,如微生物对五氯酚、四氯酚的甲基化。⑥去甲基化。含有与N、O、S相连的甲基或其他烃基的农药,被微生物脱去这些集团后即转为无毒,如微生物对敌草隆的降解即为脱去两个N-甲基。⑦去氨基。脱氨基后变为无毒,如微生物对醚草通的降解。⑧耦合作用。生物体内的中间代谢产物与异生素进行合成反应。通常微生物对农药的降解不以单一方式进行,而是在多种酶的共同作用下以多种方式进行。迄今为止各国研究人员已从土壤、污泥、污水、天然水体、垃圾场和厩肥中分离到降解不同农药的活性微生物。美国密执安州立大学的James Tiedje实验室就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,我国学者也分离到了有机氯和有机磷农药的降解菌,并且有微生物菌剂产品应用于污染农田的生物修复<sup>[38]</sup>。降解农田有机污染的微生物及其基因资源在治理农田污染生物修复中发挥出越来越重要的作用。

### 三、我国的水体污染现状及其生物修复前景

随着我国农业和农村经济的发展,农药化肥等农用化学品的不合理施用、污水灌溉、农村生活废弃物、水产养殖、乡镇企业的“三废”以及规模化畜禽养殖的粪便污染等问题,造成我国农区水体环境质量日趋下降,污染形势严峻。2002年的环境检测数据显示,我国七大流域的地表水有机污染普遍,各流域干流70%以上的断面为IV类、V类或劣V类水质;主要湖泊的氮、磷污染严重,富营养化问题突出,五大淡水湖中,太湖、洪泽湖、巢湖已达富营养程度,鄱阳湖、洞庭湖目前虽维持中营养水平,但磷、氮含量偏高,正处于向富营养过渡阶段<sup>[39]</sup>,我国水产品产地环境质量下降<sup>[40]</sup>。根据世界银行和中国有关专家的研究,水污染在中国造成的经济损失约占GDP的1.46%~2.84%。“十五”期间国家用于包括水污染治理的环境整治的投资规划为7000亿元,已达到中国GDP的1%<sup>[41]</sup>。云南省滇池是我国第六大淡水湖,是著名风景区和旅游胜地,在历史上曾经山青水秀、水质达到地表水II级,但近年来随着昆明工业化的发展,滇池水质迅速恶化。如今,滇池水质已为异常富营养化超V类,是目前我国污染最严重的湖泊之一。

首都北京水体富营养化形势日益严峻<sup>[42]</sup>,官厅水库位于北京市西北的永定河上游,建于1954年,设计总库容为41.6亿 $m^3$ ,现蓄水4.2亿 $m^3$ ,是北京重要的水源地之一。在20世纪50~60年代,官厅水库水质一直良好,进入20世纪90年代中期,水库有机污染使富营养化趋势日益突出,枯水期水库水质甚至劣于地面水V类标准,1997年被迫退出了北京市生活饮用水源地的位置。近年来,许多研究者和库区的管理者对官厅水库的水质进行了实地监测,整个库区氮、磷污染非常严重,总氮含量高达3.12mg/L,超出地面水V类水质标准(1.2mg/L)1.6倍;总磷含量为0.47mg/L,超出地面水V类水质标准(0.12mg/L)3倍,库区水体已处于严重的富营养化状态<sup>[43-44]</sup>。北京市水利局1997~2001年对全市河湖的水体质量进行了调查,结果表明全市IV和V类水体所占比例在逐年缩小,而大于V类水体的比例在逐年上升。城区河湖21个水体中,11个中等富营养,2个严重富营养。21个水体平均氨态氮为0.797mg/L,总氮为1.644mg/L,达到国家V类标准;总磷为0.217mg/L,达到国家IV标准<sup>[45]</sup>,就连北京的饮用水源密云水库也达到了中营养水平<sup>[46]</sup>。

城市地下水是重要的饮用水资源,目前集约化种植的菜果花农田主要集中于人口密集的城市周边地区,地下水硝酸盐污染已经对这些城市的饮用水安全造成了威胁。如北京市约50%的饮用水资源取自地下水,据北京市环保局对205眼水源井的抽样监测,地下水硝酸盐超标率23.4%,硝酸盐超标面积146.8 $km^2$ ,硝酸盐已经成为北京地区地下水主要污染物<sup>[47]</sup>。北京市环保部门1995年对全市280眼监测井的水质监测结果显示:总硬度检出值大于或等于450mg/L的井有111眼,其中朝阳区垡头井总硬度由1981年的144mg/L上升到543mg/L;氯化物超出饮用水卫生标准250mg/L的井有10眼;亚硝酸盐氮检出大于0.02mg/L的井有5眼;氨氮检出超标井5眼;溶解性总固体检出超过国家标准1000mg/L的井有26眼。全部监测井中较差、极差井占46%<sup>[48]</sup>。中国农业科学院在北京、山东、陕西、河北、天津等地

20 个县 600 多个点位的抽样调查显示,在北方集约化的高肥用量地区 20% 地下水硝酸盐含量超过  $89\text{mgNO}_3^-/\text{L}$  (中国饮用水硝酸盐含量限量标准),45% 地下水硝酸盐含量超过  $50\text{mgNO}_3^-/\text{L}$  (主要发达国家饮用水硝酸盐含量限量标准),个别地点硝酸盐含量超过  $500\text{mgNO}_3^-/\text{L}$ <sup>[49]</sup>。江苏、云南、山西等地也报道在高化肥用量农区地下水硝态氮含量超标。

水是基础性的自然资源和战略性的经济资源,水资源污染与水资源短缺已经成为制约世界和我国社会进步和经济发展的重要因素。我国政府近年来对水污染防治问题高度重视,采取了一系列治理措施,取得了一定成效,但因污染源面广,水体污染总体呈渐进加重的态势。目前,污染水体的处理一般采用人工湿地、稳定塘、土壤渗滤以及净化沼气池等以工程措施为主的处理技术,在一定程度上对控制水体污染起到了作用,但是还存在着有机物去除率低、治理效果不稳定等问题。近年来以微生物技术为核心的污染水体生物修复技术日益显现出其优越性和光明前景。

水体生物修复技术主要包括生物调控与生物修复两种类型,是指利用植物或微生物的生命活动对水中污染物进行转移、转化或降解,从而使水体得到净化<sup>[50]</sup>。目前对生物调控与生物修复尚无明确的定义,两者都突出强调生物在环境治理中的作用,差异是两者在概念上所指生物的侧重点不同,生物调控所基于的生物主要是指相对于微生物动物或植物,生物修复其主体生物大多是微生物,但近来也涌现出具有不同功能的活性生物物质如酶制剂等,依赖这些生物的降解活动和生物活性使自然的生物降解能力和速度加强、加快。近几年,生物修复因其低投资、高效益、便于应用等优点,尤其在污水处理方面具有很大的应用潜力成为水污染治理的研究热点之一。

氮是富营养水体的主要污染元素,过量氮素淋溶后对水体的污染巨大。污染水体当中的含氮有机物如蛋白质、多肽、氨基酸、尿素等在氮循环细菌的作用下,通过氨化作用、硝化作用和反硝化作用完成氮素循环,使氮素以气体的形式排出水体外。污水处理越来越多的采用这种经济、有效的微生物处理方式进行脱氮。在生物脱氮技术上的新进展主要有:短程硝化反硝化、同时硝化反硝化和厌氧氨氧化,这些技术是近年来的研究热点<sup>[51]</sup>。磷也是污染水体的主要元素之一,主要来源于农村生活污水、畜禽粪便和过量的化肥,因其不能以气体的形式离开水系统,所以微生物在去除磷素方面的作用与去除氮素相比略显逊色,但科学家们已经发现具有除磷能力的微生物。近几年又发现了有些除磷菌具有反硝化功能,在特定条件下反硝化能力很强。这些新的生物除磷技术成熟以后用于污染水体治理上,势必是一项既经济又有效的处理方法。

光合细菌是一大类能进行光合作用的原核生物的总称。光合细菌利用光能将污水中的有机碳源及其他营养物质转化为菌体,从而净化水质。有关光合细菌在有机废水处理中的作用和改善水产养殖池塘水质方面的研究,国内外已有不少报道。根据北京动物园水禽湖光合细菌净化水体的效果试验结果表明,光合细菌对于富营养化水体中浮游植物的数量和形成水华的铜绿微囊藻有一定的调控作用<sup>[52]</sup>。投加光合细菌是目前较为广泛的一种生物修复方法,但投加菌种所需费用较高,在  $1\text{hm}^2$  的水禽湖中,夏季半年的时间里,共喷洒光合细菌 12 次,用量达 750kg。同时由于光合细菌属光能自养菌,不含有硝化及反硝化菌种,因此,光合细菌对微污染水或废水中的有机污染物的去除率较高,但对氮、磷等植物营养物只能以  $\text{CO}:\text{D}:\text{NP}=100:5:1$  的比例去除,氮、磷去除率相对较低。有效微生物群是将好氧和厌氧性微生物采用独特的工艺加以混合发酵而制成的微生物活菌制剂,是由 10 个属 80 多种微生物复合培养而成的多功能群,主要包括:光合细菌、放线菌、乳酸菌、酵母菌、醋酸杆菌等。各种微生物在生长过程中产生的有用物质及其分泌物,成为微生物群体相互生长的基质和原料,通过相互关系,形成复杂而稳定的微生物系统,发挥多种功能。据李雪梅等人<sup>[53]</sup>1998 年 4~6 月在华南植物园对重度污染的人工湖投加有效微生物群制剂试验研究,投加的制剂达到湖水菌剂浓度  $187\text{mg}/\text{L}$ ,均匀投加 60 个固定了高浓度这种泥球,从投菌之日起经 2.5 个月,湖水透明度、叶绿素、总氮、总磷都有大幅度下降,停止投菌 45 天后,各项指标有所反弹,但再未见水华发生。

## 参考文献

- 1 邵泽慧. 北京晚报, 2006-07-18
- 2 陈印军, 张维理, 龙怀玉. 论农田质量预警. 中国农业资源与区划, 2002, 23(5): 28~31
- 3 邱建军, 张士功, 李哲敏等. 农业生态环境安全与生态农业发展. 中国农业资源与区划, 2005, 26(6): 42~46
- 4 朱桂珍. 北京市东南郊污灌区土壤环境重金属污染现状及防治对策. 农业环境保护, 2001, 20(3): 164~166
- 5 李雪梅, 王祖伟, 邓小文. 天津郊区菜田土壤重金属污染环境质量评价. 天津师范大学学报(自然科学版), 2005, 25(1): 69~72
- 6 李其林, 刘光德, 赵中金, 等. 重庆市菜地土壤重金属污染现状及防治对策. 农业环境与发展. 2004(1): 30~32
- 7 Li X, Poon C, Liu P S. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong. Applied Geochemistry, 2001, 16: 1361~1368
- 8 宋春然, 何锦林, 谭红, 等. 贵州省农业土壤重金属污染的初步评价. 贵州农业科学, 2005, 33(2): 13~16
- 9 郑海峰. 福建省耕地重金属污染状况调查. 福建农业科技, 2003, (6): 14~16
- 10 谢建治, 刘树庆, 王立敏, 等. 保定市郊土壤重金属污染现状调查及其评价. 河北农业大学学报, 2002, 25(1): 38~41
- 11 宋书巧, 梁利芳, 周永章, 等. 广西刁江沿岸农田受矿山重金属污染现状与治理对策. 矿物岩石地球化学通报, 2003, 22(2): 152~155
- 12 孙华, 孙波, 张桃林. 江西省贵溪冶炼厂周围蔬菜地重金属污染状况评价研究. 农业环境科学学报, 2003, 22(1): 70~72
- 13 赵志忠, 毕华. 海南岛砖红壤中重金属元素的分布特征及其环境效应. 矿产与地质 2005, 19(1): 70~11
- 14 陈玉娟, 温琰茂, 柴世伟. 珠江三角洲农业土壤重金属含量特征研究. 环境科学研究, 2005, 18(3): 75~77
- 15 张辉. 中国河套地区的重金属污染与人群砷中毒. Ambio. 2004, 33(3): 122~124
- 16 刁维萍, 倪天华, 倪吾钟, 等. 水环境重金属污染的现状及其评价. 广东微量元素科学, 2004, 11(3): 1~5
- 17 成新. 太湖流域重金属污染亟待重视. 水资源保护, 2002, (4): 39~41
- 18 徐晓达, 林振宏, 李绍全. 胶州湾的重金属污染研究. 海洋科学, 2005, 29(1): 48~53
- 19 丛艳国, 魏立华. 土壤环境重金属污染物来源的现状分析. 现代化农业, 2002, (1): 18~20
- 20 张健, 孙根年. 土壤重金属污染与植物修复研究进展. 云南师范大学学报, 2004, 24(2): 52~57
- 21 周国华, 黄怀曾. 北京市东南郊自然土壤和模拟污染影响下镉(Cd)赋存形态及其变化. 农业环境科学学报, 2003, 22(1): 25~27
- 22 杨肖娥, 龙新亮, 倪吾钟, 等. 2002. 东南景天(*Sedum alfredii* H.)——一种新的锌超积累植物. 科学通报 47, (13): 1003~1006
- 23 Garbisu C and Alkorta I. Phytoextraction: a cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. Bioresour. Technol. 2001, 77: 229~236
- 24 Rugh CL, Senecoff JF, Meagher RB, Merkle SA. Development of transgenic yellow-poplar for mercury phytoremediation. Nature Biotech. 1998, 33: 616~621
- 25 Bizily SP, Rugh CL, Meagher RB. Phytodetoxification of hazardous organo mercurials by genetically engineered plants. Nature Biotech. 2000, 18: 213~217
- 26 He YK, Sun JG, Feng XZ. Differential mercury volatilization by tobacco organs expressing a modified bacterial merA gene. Cell Research. 2001, 11(3): 231~236
- 27 何丽莲, 李元. 农田土壤农药污染的综合治理. 云南农业大学学报, 2003, 18(4): 430~434
- 28 国家环境保护总局. 我国农药污染现状、存在问题及建议. 环境保护, 2001, 6: 23~24
- 29 赵玲, 马永军. 有机氯农药残留对土壤环境的影响. 土壤, 2001, 33(6): 309~311
- 30 刘延, 刘波, 王险峰, 等. 中国化学除草问题与对策. 农药, 2005, 44(7): 289~293
- 31 康岭生, 王广祥, 张伟, 等. 吉林省玉米、大豆田化学除草的现状与发展对策. 吉林农业大学学报, 2004, 26(4): 455~457
- 30 李顺鹏, 蒋建东. 农药污染土壤的微生物修复研究进展. 土壤, 2004, 36(6): 577~583
- 31 杨小红, 李俊, 葛诚, 沈德龙. 微生物降解农药的研究新进展. 微生物学通报, 2003, 30(6): 93~96
- 32 王伟东, 牛俊玲, 崔宗均. 农药的微生物降解综述. 黑龙江八一农垦大学学报, 2005, 17(2): 18~22
- 33 Chen W, Mulchandani A. The use of live biocatalysts for pesticide detoxification. Trends in Biotechnology, 1998, 16 (2): 71~76
- 34 丁海涛, 李顺鹏, 沈标, 等. 拟除虫菊酯类农药残留降解菌的筛选及其生理特性研究. 土壤学报, 2003, 40(1): 123~129
- 35 国家环境保护总局. 2001年中国环境状况公报. 2002
- 36 曲格平. 关注生态安全之二: 影响中国生态安全的若干问题. 环境保护. 2002, 7: 3~6
- 37 杜桂森, 王建厅, 张为华, 等. 官厅水库水体营养状况分析. 湖泊科学, 2004, 16 (3): 277~281
- 38 梁涛, 王浩, 丁士明, 等. 官厅水库近三十年水质演变时序特征. 地理科学进展, 2003, 22(1): 38~44
- 39 杜桂森, 王建厅, 张为华. 北京城市河湖的营养状态分析. 北京水利, 2002, (6): 25~28
- 40 刘晓端, 葛晓立, 杜桂森, 等. 密云水库内湖富营养化现状分析. 湖泊科学, 2002, 14(4): 331~336
- 41 邱化蛟, 程序, 常欣等. 北京市水资源状况分析. 北京农学院学报, 2004, 19(40): 4~9
- 42 张为华, 姚大莲, 房铁飞. 浅谈北京市平原区地下水开发利用及保护. 地下水, 1998, 20(2): 50~52

- 43 王立刚,任天志,王迎春,等.海藻提取物 EClean 生物工程技术处理富营养型地表水的效果研究.环境污染治理技术与设备,2005,6(12):73~76
- 44 王国祥.湖泊藻型富营养化控制—技术、理论及应用.湖泊科学,2002,14(3):273~282
- 45 于明,周云龙.从浮游植物的变化看光合细菌在治理富营养化水体中的作用.北京师范大学学报(自然科学版).2001,37(5):679~684
- 46 李雪梅,杨中艺,简曙光,等.有效微生物群控制富营养化湖泊蓝藻的效应.中山大学学报,2000,39(1):81~85

## PROSPECT FOR FARMLAND AND WATER POLLUTION AND MICROORGANISM REPAIR IN CHINA

Sun Jianguang, Jiang Ruibo, Ren Tianzhi, Wang Ligang, Xu Jing

(Institute of Agricultural resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences,

China Microorganism Fungus Preservation and Management Center,

Key Laboratory for Plant Nutrition and Nutrient Element Circulation, Ministry of Agriculture, Beijing 100081)

**Abstract** The residue of heavy metal and chemical pesticide (herbicide) and organic pollution caused by hydrocarbon are the major contaminations for the repeated pollution of farmland in China. This is an important issue, which has greatly influenced the sustainable agriculture development, grain safety and agriculture ecological environment safety in China. The nitrogen and phosphorus pollution in water and over nourishment of water is also one of the major environmental issues at present. Microorganism has played a more and more important role in managing farmland pollution and repairing over nourishment of water. This paper analyzes the serious situation of heavy metal and organic pollution in farmland of China, as well as over nourishment of water; and discusses about the prospects of using microorganism resources in repairing the farmland and water pollution.

**Keywords** microorganism resource; heavy metal; organic pollution; over nourishment of water; biological repair

### · 征订启事 ·

## 欢迎订阅《农业科研经济管理》

《农业科研经济管理》(季刊)是以农业科研单位、农业院校及有关农业的政府决策、咨询部门的管理、科研、开发等人员为主要读者对象的综合性专业刊物。

《农业科研经济管理》的主要栏目有:宏观论坛、本刊特稿、本期专题、改革聚焦、视角与思路、论苑、院所巡礼、行政后勤、财务与会计、资产管理、科技产业、热点透视、科技开发、审计监督、劳资人事、新技术、重大成果等。本刊基于“突出实践,致力于理论创建”的用稿理念,博采众长,广纳言论,以质取文,从而形成了本刊独有的“开启思路,广布经验,引领实践,构建理论”的特色。由此,受到了农业科研单位、农业高等院校广大管理者和读者的欢迎,也得到了有关领导及专家的认可,被称为勇于开拓新学科、新领域的较高技师的学术期刊。为把本刊办得更好,本刊恭请志士同仁不吝赐稿(本刊不收版面费),来稿敬请围绕以下主题:国家重大农业科技政策及其动态;农业科研机构转制的途径、方法、规则及其管理结构与模式;转制过程中的资产剥离界定及其权益保护;农业科研单位改革新举措与实践经验总结;农业科技与区域经济及其产业化;科技与经济的热点问题。

《农业科研经济管理》为国内公开发行的刊物,季刊,国际标准开本(大16开),48页,读者范围广,影响面大,全国各地均有订阅。每册定价3.50元,全年定价14.00元。欢迎广大读者踊跃订阅《农业科研经济管理》。

编辑出版:《农业科研经济管理》编辑部

电 话:(010) 68919647 68919637 68919628 68919632 传 真:(010) 68919628 (010) 68919637

地 址:北京海淀区中关村南大街12号 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所 邮 编:100081