

养殖污染水体生物控制技术的研究

郭萍, 田云龙, 刘雪, 叶婧, 李峰, 朱昌雄

(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:介绍了我国水资源环境的现状, 水体污染的来源及控制技术, 重点论述了来自农田和畜禽养殖粪便的富营养化污染和控制技术。我国水体中总磷、总氮的 43% 和 53% 来自于农田和畜禽粪便, 在经济发达的地区尤以畜禽粪便的贡献突出, 是水体富营养化的主要污染源。因此污染源的治理是控制水体富营养化的根本出路和手段。系统的论述了国外成熟的源头控制与循环利用技术以及我国的源头控制与循环利用技术的现状和发展趋势。

关键词:养殖; 水体; 污染; 控制技术

中图分类号: X5

文献标识码: C

文章编号: 0253-4320(2008)10-0010-04

Technology for bio-controlling water pollution from livestock waste

GUO Ping, TIAN Yun-long, LIU Xue, YE Jing, LI Feng, ZHU Chang-xiong

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

Abstract: The current situation of water environment in China, the reason of water pollution and the controlling technology for it are presented, focusing on water eutrophic pollution from agricultural production and livestock breeding. 43% of total nitrogen and 53% of total phosphorus in water come from farmland and livestock, and it is even more serious from livestock in developed areas in China. Controlling the pollution resource is the basic method to control the eutrophicated pollution in water body. The related technology available and developmental trends both in China and abroad are summarized.

Key words: livestock breeding; water; pollution; controlling technology

水是生命之源, 水资源是人类生存和国家经济建设生命线。随着全球经济的迅速发展和人口的急剧增长, 水资源短缺已成为世界备受关注的焦点问题之一。而对水域的破坏性开采、不合理利用及大量污染物肆意排放等, 导致淡水资源短缺和水环境污染问题日益严重。

1 我国目前的水体现状

水体的污染主要来源于工业、农业排放的污染物和生活中排放的废弃物。据统计, 在我国水资源环境中, 来自农田和畜禽养殖粪便中的总磷、总氮比重分别达到 43% 和 53%^[1], 有的地区更为严重, 如浙江省畜禽养殖场排放污染物已占全水体富营养物质来源的 60% 以上, 超过了来自工业和城市生活的点源污染, 不仅正成为我国水环境污染的主要因素, 并且成为我国水安全问题的重要隐患。近水域养殖场是造成农村水体和水源地污染的重要污染源。我国传统的畜禽养殖业以小规模、分散饲养, 农

牧区养殖为主, 对环境污染不大。近年来随着市场经济的发展和人民生活水平的提高, 对蛋、奶、肉等畜产品的需求量逐渐增多, 尤其是城市居民的增幅较大, 为了便于畜产品的产、供、销一条龙的配套, 畜禽养殖业的发展, 由农区、牧区逐渐向城镇郊区转移, 经营方式由粗放经营向集约经营方式转变, 出于降低养殖、运输和销售成本及便于加工的需要, 集约化畜禽养殖场大多建在人口稠密、交通方便和水源充沛的地方, 80% 以上大中型集约化畜禽养殖场分布在对畜禽产品需求较大的东部沿海地区及大城市郊区, 而西部地区大中型集约化畜禽养殖场仅占总量的 1% 左右, 其中约 30% 的集约化畜禽养殖场距离居民区或水源地不超过 100 m。其中相当数量的新建集约化畜禽养殖场系通过公司加农户形式集中发展起来的, 或由养殖专业户扩大规模发展而成, 因此许多养殖场配套设施不完善^[2-3]。饲养规模的快速扩大和粪尿处理技术的相对滞后发展, 造成产生的粪尿等排泄物大量积压和随意排放, 不能及时

收稿日期: 2008-09-04

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07425-002); 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: 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。

处理利用而造成环境污染。

我国养殖场每年产生畜禽粪便约30亿t,其中绝大部分未经任何处理就直接排放于环境,大多数养殖场缺乏相应的环保措施和废物处理系统,粪便未经处理直接大批量的露天堆放,造成了对家畜和环境的污染。采用水冲式清粪工艺的万头猪场,污水中的粪便多数未经沉淀、分离处理,常常经排污沟沿途渗漏后排入农田或直接、间接地排入沟渠河道,造成了地表水的严重污染。对养殖场附近地区的水、土、气造成了严重污染,其污染通过径流和渗透,影响到流域的水体;畜禽粪便进入水体流失率高达25%~30%,化学需氧量(COD)排放接近工业废水的COD排放总量,N、P流失量大于化肥流失量,过量的氮磷使水体富营养化,引起藻类疯长和水华,破坏水体的生态环境,严重时使水体变黑发臭,导致鱼类及水生物死亡,并影响沿岸的生态环境^[4]。畜禽粪便同时又是一种有价值的资源,它包含农作物所必需的氮、磷、钾等多种营养成分,经过处理后可作为饲料和肥料,具有很高的经济价值。

长期以来畜禽养殖业所造成的水环境污染问题没有引起人们足够的重视。上海市郊的集约化大中型畜禽场的畜禽粪尿年流失率至少为50%,畜禽粪便普遍流失致使92%的大中型畜禽场周围环境恶化,尤其对畜禽场密集地区地表及地下水水质造成污染危害,形成常年黑臭的数以百计的“小苏州河”。调查表明黄浦江流域禽畜粪便的COD、生化需氧量(BOD)、总P、总N年污染负荷量分别为6.86万、2.22万、3.41万t和0.31万t,约占黄浦江污染物总负荷的36%。其他城市禽畜粪便污染同样严重,1996年广州市禽畜粪便废水中COD占全市废水中COD总量的67%;北京市20世纪90年代初禽畜养殖业排放的BOD已相当于工业和生活污水BOD总量的2倍^[5]。

长期严重的水污染问题不仅影响到水资源利用和水环境生态系统的完整性,进一步加剧水资源供需矛盾,使有限的淡水资源更加匮乏,而且对公共健康造成了极大威胁。已经成为制约经济、社会可持续发展的重大瓶颈。

2 养殖污染水体控制技术的研究

养殖污染水体的控制从技术层面上包括养殖废弃物的源头控制和污染水体的末端治理。源头控制主要是使养殖废弃物通过达标排放减少对水体的污染,末端治理就是对污染水体通过净化技术与措施使其生态体系得到恢复。源头控制相对于末端治理

的效果和成本都较低,因此源头治理成为有效的控制水体污染的手段和方法。

2.1 国外成熟的源头控制与循环利用技术

养殖废弃物对水体的污染主要来源于畜禽粪便和污水,其中以集约化方式的畜禽养殖对水体的污染最为严重。发达国家和地区在这方面已经形成了各具特色的生产和控制工艺。

1950年日本开始推广集约化养殖,在各大城市郊区新建了大量集约化畜禽养殖场,致使大量含粪尿污水排入天然水体造成严重的环境污染,1960年后日本用“畜产公害”概念描述这一污染的严重性。这种情况德国和法国等发达国家也普遍出现。1970年后日本和德国等国相继制定了若干专项法规对养殖场污染进行强制治理。德国对集约化畜禽养殖场的管理要求甚至严于工厂,不仅在建设前设有较高的环境政策门槛,还通过限定每个畜禽养殖场每年产生的粪肥中N、P、S总量来控制其生产规模,甚至规定畜禽养殖场必须在冬季减少存栏量以适应环境容量的季节变化。即便是如此严格的环境管理,集约化畜禽养殖场污染物处理仍为发达国家难题。近年来随着环境安全意识和标准的提升以及水资源和能源的紧张,养殖粪便污水资源化利用替代技术引起了欧洲、美国和日本等发达国家的高度重视。德国联邦农业研究中心(FAL)开发了生产能力为1.5万t/a动物粪尿的多级处理工艺,即好气性嗜热技术结合氮再生和利用化学添加剂降低可溶性磷含量技术处理动物粪尿工艺^[5]。澳大利亚昆士兰州的一个种猪场利用3个大的单元塘(厌氧塘-兼性塘-好氧塘工艺)贮存1000头种猪废水并作为循环使用。这样不仅使废水得到了净化处理,而且减少了污水的排放量。日本和我国台湾地区对畜禽场污水采用膜生物处理工艺进行深度处理,同样使处理水达到回用标准,这一工艺在该地区进行了大面积推广应用。另外台湾1000多个养猪场的粪便废物采用三段系统组成的处理系统净化处理。这三段系统包括固液分离、一个厌氧阶段和一个好氧阶段,处理后出水达到排放标准,固体副产物用于制作堆肥,生物发酵产生的沼气作为能源进行利用^[6]。美国农业部资助建立了国家畜禽废弃物处理中心,每年投资近亿美元对废弃物的收集、处理、利用技术进行研究。为了使高浓度猪粪/废水的厌氧处理一体化,在热带和土地缺乏的美国夏威夷州,一种用于处理冲洗猪粪的原生污水和厌氧消化排出液的生物固定膜和水生植物(CBFFAP)组合处理工艺被系统地进行观察和研究。结果发现CBFFAP工艺能去除90%以上的总

COD、95%的总有机氮和 99%的总悬浮固体物。几乎不需任何能量输入就能维持系统的运转,节约了很多能量。卡塔卢尼亚是西班牙东北部养猪业高度密集的地区;据统计,由于养殖业产生的动物粪尿造成该地区每年至少有 1 710 t 氮和 730 t 磷过剩,2001 年该地区利用 VALPUREN 工艺,负责处理来自该厂 5.6 km² 范围内的 80 个养猪场的粪便,年处理能力为 11 万 t 动物粪尿,VALPUREN 工艺的特点是采用厌氧生物降解粪尿生产沼气技术与蒸发、干燥技术相结合。蒸发和干燥所需的热量来自用沼气和天然气混合气发电的电厂,年发电量为 13 000 kWh。共投资 1 680 万欧元,计划用 8 年时间收回全部投资^[7-8]。加拿大的一个 2 400 头猪场对稀猪粪采用完全废物管理系统。该系统由机械分离、高速率好氧反应器、曝气塘和利用处理后出水作为农田灌溉水源等组成,目的是为了使被处理废物的体积和环境影响最小化。瑞典农业工程研究所建立了一个厌氧处理工厂,处理由沉降池上清液、猪场废水甲烷发酵后稀液和来自乳酪制作场的废水三者共同组成的混合液。其过程是完全混合厌氧处理紧接着是浓缩池,最后用氧化沟作为好氧处理过程。荷兰的最新农业环境法规定,在养殖业密集地区,必须把过剩的动物粪尿运送到 200 km² 以外的地区。因此,为了减少动物粪尿的运输和储存费用,迫切需要能够在当地直接处理动物粪尿的新技术。荷兰从 1998 年开始,由 3 家研究机构和 6 家公司联合开发了一种小型的处理猪粪尿的工艺,能够在猪圈内对粪便直接处理,处理后的粪便制造成高浓度营养成分的有机高效肥料,便于运输、储藏和田间施用。该系统被命名为 HERCULES 工艺,作为样板系统对外开放。该工艺的核心是直接对猪圈内对粪便和尿液分别进行处理^[5,9]。它的固体粪便与 5%的麦秸进行混合,在一个 80 L 的堆沤处理器(生物反应器)中进行生物处理后,输出高效有机肥。而液体部分用硝酸溶液酸化后,在具有蒸发和气体洗涤功能的反应器中进一步处理,气体中的氨被酸液吸收,溶液被蒸发浓缩成液体氮肥。整个系统所需的热能由动物自身发出的热供给。由该工艺生产出的产品营养成分高,产品含水量低,减少了储存和运输费用。由于在荷兰和养殖业密集地区地表水磷富营养污染严重,降低粪便中可溶性磷的浓度是处理工艺要解决的问题之一。该工艺在堆沤处理过程中通过添加化学添加剂极大地降低可溶性磷的浓度,有效地控制了地表水的富营养化污染。

2.2 我国的源头控制与循环利用技术

我国在养殖水体源头控制方面虽然也开展了大量的研究工作,并且取得了一定的成效,但根据我国的污染源头分布量大,规模大小和地域环境各不相同的特点,仍然缺乏可以推广应用的有效控制工艺和方法。

目前我国 60% 以上的集约化畜禽养殖场粪尿是以与冲洗水混合方式外排的,其中少数建有废水处理设施的养殖场一般采用简单的沉淀加好氧生物处理工艺,只能初步处理污水;而对分离出的固态粪便则多采用无防渗、防淋失设施的露天晾粪场处理,粪便的理化特征改变较小。这种治理方式不仅难以控制粪便产生的气态污染物(氨气、硫化氢等)所带来的恶臭污染,对污水也只能起到初步甚至象征性的净化作用,出水不可能达标^[10]。畜禽养殖场含粪尿混合排水是含有大量 N、P 和病原微生物的高浓度有机污水,即使经过规范的污水 3 级处理也很难保证无害化,且 3 级处理的最小经济运行规模很大,即使对我国规模最大的 I 级养殖场而言经济上也是不可行的。更何况对我国普遍小而分散的集约化畜禽养殖场更是难以得到应用^[11-12]。香港理工大学利用好氧序批操作反应器(ASBR)处理接纳猪场废水的曝气塘出水。ASBR 进水中 BOD 和 SS 质量浓度分别为 2 881 mg/L 和 1 418 mg/L,出水平均 BOD 和 SS 质量浓度分别为 18.7 mg/L 和 12.3 mg/L。该工艺具有较高的基建投资和运行费用外,对于土地缺乏和地价昂贵的地区,ASBR 工艺是比曝气塘更具有吸引力的一种选择。

虽然我国在一段时间内推广沼气综合利用模式,但家庭作坊式的沼气发酵工艺其出水仍然含有较高的 N、P 和 COD,很难达到无害化排放标准。而含粪尿混合污水沼气综合利用工艺存在一次性投资大(基建费用较高,对沼液和沼渣利用还需再投资),沼气的商业化利用也因技术和成本等方面原因而无利可图,甚至出现入不敷出等问题,如常年存栏 3 000 头猪的大型养殖场建设沼气综合利用工程约需投资 100 万元,年运行经费高达 5 万元左右。副产品难以盈利也导致许多已建的沼气工程运行困难,甚至许多大型现代化沼气设施也处于闲置状态(如北京苇沟养猪场的沼气厂)^[13],该技术很难满足我国集约化养殖废弃物治理的需求。

由于我国幅员辽阔,各地气候条件、地理环境、土地负荷不相同,以及养殖场的规模、饲养模式、当地的经济状况以及环保要求不同,对粪污处理技术的需求也不同。如在广东家庭养殖中很少采用沼气

方式,因此需要进一步开展畜禽粪便污水处理新技术的研究,为畜禽养殖污染治理提供多元技术选择,尤其是进行畜禽粪便资源化新技术的探讨,既符合国内战略发展的需要,也符合国际发展的趋势。

2.3 水源地污染物生态净化与修复技术

1972年美国联邦水污染控制法(FWPC)首次明确提出控制面源污染,倡导以土地利用方式合理化为基础的“最优管理措施”(BMPs);1977年的清洁水法(CWA)进一步强调面源污染控制的重要性;1987年的水质法案(WQA)则明确要求各州对面源污染进行系统的识别和管理,并给予资金支持。从20世纪70年代起对饮用水源地面源污染进行系统研究。发达国家中以美国为例,在技术层面上,主要是完善污水管网体系,建人工沉积塘,采用湿地处理以及水体生态修复工程等;在经济层面上,以量化面源污染为基础,结合微观经济学方法开展费用效益分析,并进行政策手段的设计和有效性评价;在政策层面上,美国国会结合研究进展,积极立法。我国在这方面的研究起步较晚,始于20世纪80年代初,总体看来研究仍偏向于理论研究,管理实践研究较少,出现理论研究与管理实践的严重脱节。

生态工程技术成为国际上控制水源地面源污染的重要技术途径,可分为源头污染控制技术和径流污染控制技术。前者主要有生态农业和生态施肥技术、水土保持技术等,后者主要有人工水塘、植被缓冲带、湿地系统等。其中,人工水塘和人工湿地被认为是控制面源污染非常有效的方法,也是欧美等发达国家采用的主要生态方法。我国在农业面源污染控制方面也做了一些研究工作,如人工湿地、缓冲带、多水塘系统、生态农业、生态施肥技术和水土保持技术等,但这些研究工作仍处于“点”上的研究,不具有整体性和系统性,多数研究都停留在试验使用阶段,且成本投入高,处理过程相对比较复杂,很难得到规模推广应用。因此研究适合我国国情的操作简便、效率高、成本低的养殖污染物生态处理技术不仅必要,而且市场前景广阔,成为未来的发展趋势。

3 生物控制技术的前景

目前有关治理方法的研究主要侧重于各种畜禽粪尿处理方面,主要有物理处理法、物理化学处理法、化学处理法和生物处理法,物理处理法包括固液分离、沉淀和过滤等,化学处理法包括中和、絮凝沉淀和氧化还原等,如用甲醛、乙烯、NaOH、H₂SO₄等处理某些畜禽粪便后作为再生饲料,物理化学处理法

包括吸附、离子交换、反渗透、电渗析和萃取等,生物处理法包括好氧、厌氧、自然处理和综合处理等。由于物理处理法处理效率和去除率低,而化学处理法存在二次污染问题,故实际中应用较少,而目前研究最多、应用最广且最具发展前景的是以生物技术为主的多级处理技术。即主要通过微生物生命过程把废水中有机物转化为新的微生物细胞以及简单形式的无机物,从而达到去除有机物、N和P等目的^[14]。

能够形成处理效率高出水达标的畜禽粪便污水多采用混合处理法,即根据畜禽场废水多少和具体情况,设计出由好氧法、厌氧法和自然处理系统3种方法或以它们为主体并结合其他处理方法进行优化组合,共同处理畜禽场废水,处理成本低且效果佳。国内外成功的应用实例已经证明了生物处理技术是畜禽粪尿处理的必不可少的核心技术,该技术的开发和应用对于养殖污染水体的控制具有不可替代的作用和意义。

参考文献

- [1] 刘桂平,周永春,方炎,等.我国农业污染的现状及应对建议[J].国际技术经济研究,2006,9(4):17-22.
- [2] 贾玉霞.规模化畜禽养殖环境影响及主要防治问题[J].环境保护科学,2002(6):42-47.
- [3] 苏杨.我国集约化畜禽养殖场污染问题研究[J].中国生态农业学报,2006,14(2):15-18.
- [4] 杨朝飞.加强畜禽粪便污染迫在眉睫[J].环境保护,2001(2):32-35.
- [5] Burton C H, Turner C. Manure management [M]. Bedford, UK: Silsoe Research Institute, 2003:355-398.
- [6] 崔理华,朱夕珍,陈智营,等.国内外规模化猪场废水处理组合工艺进展[J].农业环境保护,2000,19(3):188-191.
- [7] Burton C H, Turner C. Manure management [M]. UK: Silsoe Research Institute, 2003:355-398.
- [8] Rodriguez J. TRACJ USA: Animal litter treatment plant producing biogas with an associated 16.3 MW cogeneration plant in Juneda (Lleida) [J]. Info Power Plant Report, 2001, 34:1935.
- [9] Ogink N W M, Willers H C, Satter I H G, et al. Integrated manure and emission control in pig manure reproduction [A]//The Dutch Japanese Workshop on Precision Dairy Farming [C]. Wageningen, 1998.
- [10] 朱能武,等.规模化畜禽养殖环境工程技术研究进展[J].农业工程学报,2001(增刊):17-20.
- [11] 贾玉霞.规模化畜禽养殖环境影响及主要防治问题[J].环境保护科学,2002(6):42-44.
- [12] 徐谦.北京市规模化畜禽养殖场污染调查与防治对策研究[J].农村生态环境,2002(2):24-28.
- [13] 李保明,等.我国规模化养殖场废弃物处理与畜产公害的防治:问题与对策[J].农业工程学报,1995(增刊):22.
- [14] 彭里.畜禽养殖环境污染及治理研究进展[J].中国生态农业学报,2006,14(2):19-22. ■