

污泥土地利用的风险与控制

占达东 (琼州学院化学系, 海南五指山 572200)

摘要 介绍了污泥土地利用中重金属污染、病原体和寄生虫污染、有机物污染和氮磷污染的各种风险及控制, 提出了污泥土地利用中存在的问题和解决的对策。

关键词 污泥; 土地利用; 风险; 控制

中图分类号 F301.24 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)10-04619-03

Study on the Risk and Control of Sludge Land Use

ZHAN Da-dong (Department of Chemistry, Qiongzhou University, Wuzhishan, Hainan 572200)

Abstract The risk and control of heavy metal pollution, pathogen and parasite pollution, organic pollution and nitrogen and phosphor pollution in sludge land use were summarized. The existing problems and their countermeasures on sludge land use were put forward.

Key words Sludge; Land use; Risk; Control

据统计,截至2007年底,全国投运的城镇污水处理设施共1178座,设计处理能力7206万t/d,平均日处理水量5320万t/d,污水处理厂年排放污泥量(干重)约520万t,而且逐年增长。如果我国的城市污水全部得到处理,则将产生污泥(干重)1500万t^[1]。污水污泥的成分很复杂,它是由多种微生物形成的菌胶团及其吸附的有机物和无机物组成的集合体,除含有大量的水分外,还含有用资源,如大量的氮、磷和钾等植物营养元素,对植物生长有利的微量元素,如硼、钼、锌和锰等;污泥中含有的有机质和腐殖质对土壤的改良也有很大的帮助。污泥中难降解的有机物、重金属和盐类以及少量的病原微生物和寄生虫卵等对环境构成了威胁。因此,污泥处理要以“减量化、稳定化、无害化”为目的,在“资源化”利用的同时要加强风险意识,科学合理地进行污泥土地利用,控制减少其负面效应,使污泥重新进入自然环境的物质、能量循环中。认识和控制污泥土地利用的风险非常必要。

1 重金属污染的风险与控制

1.1 重金属污染的风险 污泥中含有多种重金属,而且其含量差别很大,表1的数据是国内外部分城市污水厂污泥重金属含量及我国农业部所规定的《农用污泥中污染物控制标

准》(GB4284-84)^[2]中的重金属含量。《农用污泥中污染物控制标准》中规定:在污泥中只要一种重金属超标,污泥就不能农用。由表1可知,我国多数污水厂污泥中重金属含量超标,这是污泥农用率不高的主要原因之一。

重金属对植物生长和环境都能产生影响。李国学对青菜的研究结果表明,随着污泥施用量的增加,青菜中的重金属(包括铜、镉、锌、镍和铅)含量也呈增加趋势^[4]。当污泥施用量>5%时,青菜中的铜、锌超过国家允许标准;当施用量在10%以上时,镉超标。重金属在植物体内的积累规律大致为:根系>茎叶>籽粒和果实。欧阳喜辉等研究表明,施用污泥的农田,虽然土壤有机质明显增加,土壤酸度基本无变化,但土壤中的汞和镉污染严重,已经引起小麦、玉米的污染^[5]。庞金华在上海的调查研究发现,在其研究的土地上连续施用污泥达10年以上时,土壤中镉、锌和铜含量均很高,种植的水稻、蔬菜受到严重的污染,而且,污泥施用越多,污染情况越严重^[6]。方海兰等对高羊茅草地、红花酢浆草地、美人蕉地的试验表明,施用污泥后重金属含量有所增加,施用污泥对绿地土壤的铜和锌含量影响比较大,铅、铬、镉和镍含量增加,但增加幅度不大,基本在国家关于土壤环境质量标准中规定的二级土壤或一级土壤的要求范围^[7]。

表1 城市污水厂污泥重金属成分及含量(干污泥)

Table 1 Heavy metal components and contents in municipal sewage treatment plants sludge

mg/kg

污水处理厂 Sewage treatment plant	土壤类型 Soil type	锌 Zn	铜 Cu	镍 Ni	汞 Hg	砷 As	镉 Cd	铅 Pb	铬 Cr
上海曲阳污水厂 Quyang sewage plant in Shanghai		3 740.0	350.0	34.8	1.22	5.68	0.85	9.95	15.77
广州大坦沙污水厂 Dadang sewage plant in Guangzhou		3 394.0	1 225.0	693.1	1.96	57.12	2.56	120.00	1 550.00
西安污水厂 Xi'an sewage plant		2 803.0	605.8	266.0	2.37	23.80	1.30	374.00	1 423.00
太原古交污水厂 Gujiao sewage plant in Taiyuan		261.2	28.4	32.9	0.61	9.18	0.05	42.30	49.10
杭州四堡污水厂 Shibao sewage plant in Hangzhou		4 205.0	367.1	467.6	1.86	12.95	3.55	135.50	537.20
农用污泥标准(GB 4284-84)	酸性 Acidity	500	250	100	5	75	5	300	600
Agricultural sludge standard(GB 4284-84)	中性与碱性 Neutrality and alkalinity	1 000	500	200	15	75	20	1 000	1 000

注:表1数据参考文献[3]。

Note: The data refers reference 3.

当过量的重金属施用到土地时,重金属不能完全被消纳,土壤受到重金属污染后难于消除,甚至产生永久性的污

染。污泥中的重金属进入土壤后,由于迁移性较差,大部分在土壤表层累积。张天红等研究表明,污泥施入土壤后,一般重金属存在于表层0~20cm范围内^[8]。李香真等研究表明,污泥中94%的水性铜以带负电荷的螯合物存在,而且主要是小分子量有机物。这种螯合作用,可提高铜的迁移能

基金项目 海南省教育厅基金项目(HJKJ200630)。

作者简介 占达东(1963-),男,海南海口人,副教授,从事环境分析研究。

收稿日期 2009-02-01

力;施入污泥后,显著增加了铜、镍和锌从土柱中的淋出量^[9-10]。鲁艳兵认为,进入土壤的重金属,在不同的土壤类型和不同的土壤条件下,形态分布各不相同,不同形态的重金属对植物的有效性和毒性也不相同,其中以交换态与植物吸收关系最密切^[11]。但 Harri. R 等根据污泥施用于林地 15 年后的养分监测发现,NO₃⁻、SO₄²⁻、Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 等有很大的移动性,可移至较深层^[12]。

1.2 重金属污染的风险控制 控制污泥中重金属含量可以从控制污染源开始,如城市工业污水与城市生活污水分别处理。一般来说,重金属超标主要是工业污水引起的,而纯城市生活污水中重金属不超标,因此,加强污水排放管理,严格区分工业污水与城市生活污水,避免工业污水进入城市的污水管网中,从而有利于处理处置不同性质的污泥。污泥中的重金属进入土壤后,由于迁移性较差,大部分在土壤表层累积。某些重金属(如铜、锌)在较大浓度下才会对植物有毒;另一些重金属(如汞、镉和铅)在很低的浓度下也会影响植物生长;还有极少量的重金属能被雨水淋溶或自行迁移到土壤深层,对表层地下水系统产生影响。重金属在土地中过度积累,会对环境造成污染。去除污泥中的重金属有化学方法(氯化法、螯合法、酸化法)和生物法等。

另一方面,在污泥农用时一定要严格控制污泥的施用量和施用年限。我国《农用污泥中污染物控制标准》中规定,施用符合农用标准的污泥时,一般每年每亩用量不超过 2 000 kg(以干污泥计)。污泥中无任何一项无机化合物含量接近于本标准时,连续在同一块土壤上施用不超过 20 年。含无机化合物较少的石油化工污泥,连续施用可超过 20 年。以重金属土壤环境质量标准或最高允许限量控制污泥施用量,以防止有毒金属污染食物链和地下水,一直是世界各国普遍采用的方法。许多国家对污泥的施用量和施用年限做了限制。

2 病原体和寄生虫等污染的风险与控制

2.1 病原体和寄生虫等污染的风险 城市污水处理厂污泥中含有大量的病原微生物和寄生虫。Gaspard 等对法国 89 个污水处理厂污泥中的病原物进行调查,结果表明,在所有被调查的污泥样品中,每 100 g 样品中寄生虫卵平均为 464 个,最高为 898 个,其中 47% 的样品小于 60 个,38% 的样品为 60~240 个,有 15% 的样品高于 240 个^[13]。当利用污泥土地时,病原体可能污染土壤、空气和水源,并通过皮肤接触、呼吸和食物链危及人畜健康,也能在一定程度上加速植物病害的传播。我国《农用污泥中污染物控制标准》中没有提供污泥的病原微生物和寄生虫的控制指标,而美国等国家有相关的标准^[14]。2002 年国家环境保护总局和国家质量监督检验检疫总局发布了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)^[15],标准中对城镇污水厂的污泥稳定化处理后的污泥中蠕虫卵死亡率和粪大肠菌群值做出了规定。尽管如此,我国还应加强这方面的标准制定。

2.2 病原体和寄生虫等污染的风险控制 污泥在进入环境以前要对其进行灭菌预处理。常用的灭菌方法有好氧堆制法、厌氧法、石灰消毒法、辐射处理法和巴氏灭菌法等。

消化是污泥稳定的重要方法之一,消化后的污泥恶臭减

少,如果高温条件存留一定时间,可以有效杀死绝大多数病原物。Haruki 等在对日本 17 家污水处理厂污泥中病原物进行调查研究时发现,原始的生污泥粪大肠杆菌平均为 105 MPN/g,消化后的污泥平均为 103 MPN/g,与低温(35℃)消化相比,高温(55℃)消化可以明显降低污泥中粪大肠杆菌和沙门氏菌的含量,二者均降到 103 MPN/g 水平^[16]。

污泥堆肥化是一种无害化、减量化、稳定化的污泥综合处理技术,污泥的土地利用应经过污泥堆肥化处理。污泥堆肥化是在一定控制条件下,利用微生物将有机物分解和转化成较为稳定的腐殖质的过程。这一过程可以杀灭污泥中的病原菌、寄生虫卵、病毒和蝇蛆等,并迅速形成大量腐殖质,提高污泥的肥分。堆肥按堆制过程对氧气的需要程度不同可分为好氧法和厌氧法。好氧堆肥系统中空气与堆肥原料充分接触,温度一般为 50~65℃,最高可达 80~90℃,堆肥的周期短,一般在 1 个月内,也称为高温快速堆肥;厌氧堆肥系统,空气与堆肥原料隔绝,堆制温度低,工艺比较简单,成品堆肥中氮素保留比较多,但堆制周期过长,需 3~12 个月,异味浓烈,分解不够充分。现代化堆肥工艺一般是好氧堆肥。在有条件的大中型污水处理厂,首先利用厌氧消化工艺对污泥进行稳定化处理,以减少含固率和杀死部分病原菌、寄生虫卵、病毒和蝇蛆等。

碱性稳定指污泥与足够数量的碱性物料混和,pH 值 > 12 的时间持续 2 h 以上的过程。稳定过程中添加的碱性物料包括粉煤灰、炉渣、生石灰和熟石灰等,有利于污泥脱水、降低恶臭、使重金属沉淀、杀死和降低病原物的活性等。

辐射处理可以降低污泥中有害物质的毒性,杀死污泥中存在的各种病原物,达到无害化要求。

高温可以使微生物的蛋白质变性、酶类失活、新陈代谢紊乱,最后直至死亡。巴氏灭菌是一种通用的高温灭菌方法,对污泥进行巴氏灭菌处理可以有效杀死污泥中的病原微生物,实现污泥的卫生化、无害化。

3 污泥中有机污染物和氮、磷的污染风险与控制

废水中的有害有机物在污水处理和污泥处理过程中得到一定程度的降解,但污泥中有害有机物无法完全消除,对环境可能产生污染。污泥中有机污染物可能对环境 and 人类食物链安全造成危害。根据调查显示,城市污水厂污泥中有机污染物的浓度很低,也没有充分的实测数据表明土壤中的有毒有机物会被植物吸收进入生物体。因此,可认为污泥土地施用不会因有机污染物引起显著的环境风险。但最终的情况还待科学实验的验证。

由于盲目过量使用氮肥,我国每年农田氮肥平均总损失率在 60% 左右。污泥或污泥制成的各种有机肥含有大量的氮、磷营养元素,当有机肥施用于土地,并且这些营养元素不能被植物及时吸收时,营养元素会随雨水流入江河湖泊,造成水体的富营养化,也可能进入地下水引起地下水的硝酸盐污染。

采取测土配方施肥的方式是有效控制氮、磷等营养元素过量施用的方法。土地中各种元素的负荷量受到多种因素的制约。目前植物生长需要的各种元素的量、各种元素矿化速率、各种元素形态氮转化等数据还非常缺乏。氮是重要的

限制性参数,污泥的施用量也可通过氮负荷来确定污泥的负荷量。氮的年负荷可根据下面 3 个因素确定:根据植物生长的需要量,如林木对氮的吸收值为 $112 \sim 303 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{年})$;根据污泥中有机氮的矿化速率,确定逐年施用污泥中当年可提供的氮量;根据污泥中各种形态的氮转化为硝酸盐氮的量,确定污染地下水的限量^[15]。

4 污泥土地利用中存在的问题和对策

4.1 建立有效的监控制度 我国与污泥处理处置相关的规定有《农用污泥中污染物控制标准》、《城镇污水处理厂污染物排放标准》、《城市污水处理厂污水污泥排放标准》(GJ3025-93)^[17]、《城市污水处理及污染防治技术政策》(建成[2000]124号 2000-05-29 实施)^[18]。《农用污泥中污染物控制标准》于 1984 年实施,距今已有 20 多年,而且没有修订过,并且其中有机污染物指标明显不足,没有列出病原菌指标,重金属指标也存在重新研究的可能性。另外,污泥的农田施用量和施用期限也需深入探讨。因此,国家要加强相关学科研究,尽快制订更科学的标准。

污泥一般要制成各种有机肥或复合肥,由此存在监管归口的问题。生产由工业部门管理、施用由农业部门管理、污染由环境部门管理,最终可能出现“三不管”。政府要协调各部门,明确责任主体,使污泥利用得到有效监控。

4.2 建立长期的监控和有效的应急措施 污泥施用于农田的范围广、周期长。污泥中各种重金属污染物和难降解有机物有累积效应,并且一旦受到污染,就难于消除。目前我国这方面的监测还不能到位,只能开展少量研究性的监测。因此,需要建立长期的监控和预警措施,加强土壤生态环境的保护。当出现各种污染,如病原体传播、土壤受重金属污染时,要有有效的应急措施控制污染。

4.3 建立污泥的评价体系和施用技术规范 不同泥的污泥质,其各种成分及含量不同,不同泥质的污泥对植物生长和环境的影响也完全不同。如某些元素在一定含量时,对某种植物有促进生长的作用,而对另一种却是抑制作用。污泥农用要考虑到土地的承受能力、植物的敏感程度、食物链风险等要素。因此,不同泥质的污泥要有选择性的施用在与之相适应的土地和作物上。另外,地形、气候、土壤的参数、地下水位、施用量和施用方法也会对植物和环境产生影响。从我国污泥农用的现状看,大多数施用者对污泥的施用方法存在着盲目性和任意性,不仅没有达到安全有效处置污泥的目

的,反而引起局部土地的污染。因此,需要建立污泥的评价体系和施用技术规范。

4.4 强化风险意识 污泥首先是一种废弃物,其次才是一种可利用的资源。污泥中虽然含有氮、磷和钾等有利于作物生长的成分,但也含有不利于环境的因素,是一把双刃剑,存在巨大的风险。污泥处理要以“减量化、稳定化、无害化”为目的,在“资源化”的同时加强风险意识,使土地利用可持续发展。

参考文献

- [1] 环境保护部公告. 关于公布全国城镇污水处理设施和燃煤电厂脱硫设施的公告[R]. 2008.
- [2] 国家技术监督局. GB4284-84. 农用污泥中污染物控制标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1984.
- [3] 尹军, 谭学军. 污水污泥处置与资源化利用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [4] 李国学, 黄焕忠, 黄铭洪. 施用污泥堆肥对土壤和青菜(*Brassica chinensis*) 重金属积累特性的影响[J]. 中国农业大学学报, 1998, 3(1): 113-118.
- [5] 欧阳喜辉, 崔晶, 佟庆. 长期使用污泥对农田土壤和农作物影响的研究[J]. 农业环境保护, 1994, 13(6): 271-274.
- [6] 庞金华. 上海土壤元素含量的变化与评价[J]. 土壤与环境, 1995(1): 47-52.
- [7] 方海兰, 陈华, 张琪, 等. 城市生活污泥在上海城市绿地上的施用效果探讨[M]//张辰. 污泥处理处置技术研究进展. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [8] 张天红, 薛澄泽. 西安市污水污泥林地施用效果的研究[J]. 西北农业大学学报, 1994, 22(2): 67-71.
- [9] 李香真. 污泥中水溶性 Cu、Zn 的形态及水溶性有机物与 Cu^{2+} 的复合特性[J]. 中国农业大学学报, 1996, 1(3): 113-117.
- [10] 李香真. 污泥中几种重金属元素在砂土中的运移[J]. 中国农业大学学报, 1997, 2(3): 113-118.
- [11] 鲁艳兵. 施用污泥的土壤重金属元素有效性的影响因素[J]. 热带亚热带土壤科学, 1998, 7(1): 68-71.
- [12] HARRI R, 薛栋森. 污泥用于林地 15 年后养分和重金属在土壤中的分布的研究[J]. 西北农业大学学报, 1992, 20(3): 20-27.
- [13] GASPARD P, WIART J, SCHWARIZBROD J. Parasitological contamination of urban sludge used for agricultural purposes[J]. Waste Management & Research Volume, 1997, 15(4): 429-436.
- [14] 中国标准社. CJ/248-2007. 城镇污水处理厂污泥处置园林绿化用泥质[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [15] 国家环保总局. GB18918-2002. 城镇污水处理厂污染物排放标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [16] HARUKI W, TOMOKAZU K, SHUICHI O. Inactivation of pathogenic bacteria under mesophilic and thermophilic conditions[J]. Water Science and Technology, 1997, 36(6/7): 25-32.
- [17] 中华人民共和国建设部. GJ3025-93. 城市污水处理厂污水污泥排放标准[S]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [18] 建设部, 国家环保总局, 科技部. 城市污水处理及污染防治技术政策[R]. 2000.
- [9] 李玉, 俞志明, 曹西华, 等. 重金属在胶州湾表层沉积物中的分布与富集[J]. 海洋与湖沼, 2005, 6(36): 580-589.
- [10] 张玉凤, 王立军, 霍传林, 等. 锦州湾表层沉积物重金属污染状况评价[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(3): 258-260.
- [11] 范文宏, 张博, 陈静生, 等. 锦州湾沉积物中重金属污染的潜在生物毒性风险评价[J]. 环境科学学报, 2006, 26(6): 1000-1005.
- [12] 刘君峰, 宋之光, 许涛. 广州地区雨水化学组成与雨水酸度主控因子研究[J]. 环境科学, 2006(10): 1998-2002.

(上接第 4608 页)

- [5] 盛菊江, 范德江, 杨东方, 等. 长江口及其邻近海域沉积物重金属分布特征和环境质量评价[J]. 环境科学, 2008, 29(9): 2405-2412.
- [6] 吴小燕, 刘汝梅, 秦洁, 等. 黄河口沉积物重金属含量变化特征研究[J]. 海洋湖沼通报, 2007(S1): 69-74.
- [7] 周秀艳, 王恩德, 朱恩静. 辽东湾河口底泥中重金属的污染评价[J]. 环境化学, 2004, 23(3): 321-325.
- [8] 张弛, 高效江, 宋祖光, 等. 杭州湾河口地区表层沉积物中重金属的分布特征及污染评价[J]. 复旦学报: 自然科学版, 2008, 47(4): 535-560.