

刘恒嘉,刘永丽,张宏忠,等. 城市污泥堆肥土地利用及环境风险综述[J]. 江苏农业科学,2014,42(2):324-326.

城市污泥堆肥土地利用及环境风险综述

刘恒嘉¹, 刘永丽², 张宏忠¹, 魏明宝¹

(1. 郑州轻工业学院材料与化学工程学院, 河南郑州 450001; 2. 郑州大学化工与能源学院, 河南郑州 450001)

摘要:污泥中含有大量的有机质及氮、磷等营养元素,污泥堆肥土地利用是国内外城市污泥最重要的处置方式。介绍了污泥堆肥土地利用的历史及现状,分析总结了国内外关于污泥堆肥环境风险的研究成果。

关键词:污泥堆肥;土地利用;重金属;环境风险

中图分类号: X703 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)02-0324-03

随着我国城市化进程的加快以及污水深度处理效率的提高,城市污水处理的副产物——污泥产量急剧增加。将城市生活污水堆肥后加以利用是符合我国国情的一种污泥处理方式,这种处理方式在美国、欧盟等国家也十分流行^[1]。城市污泥土地利用能够改善土壤理化性质、减小土壤密度、促进作物生长、提高土壤保水能力,同时能缓和因大量施用化肥造成的土壤板结、肥效下降等问题,但土壤中的盐分、持久性有机污染物、重金属等有害成分增加了土地利用的环境风险^[2-6]。目前,污水污泥处置方式主要包括焚烧、填埋、制作建筑材料、土地利用等。卫生填埋在有条件的地方可以作为一种处置方式,但需要在底部铺设防水层以防地下水污染,而且应经过稳定化处理,这种处置方式成本相对较低,但需要特殊的位置条件;焚烧法处理污泥最彻底,减量化程度最大,但成本较高,焚

烧过程中由于污泥盐分含量高,对设备的腐蚀性较强;利用污泥制作陶粒、砖等建筑材料,重金属滤出量极少,对于重金属污染较严重的工业污水污泥来说是一条合适的利用途径,但对于城市生活污水而言,这种处置方式浪费了大量的有机质、氮、磷、钙、镁等营养元素,同时处理量少,不能处理大量污泥。我国是农业大国,滥用化肥现象严重,污泥经堆肥后几乎可以杀死全部的病原菌、寄生虫、杂草种子^[7]。本研究对城市污泥堆肥土地利用及环境风险作了介绍,并指出今后城市污泥堆肥土地利用的发展方向。

1 城市污泥堆肥土地利用

1.1 城市污泥堆肥在林业上的应用

随着城镇化建设的不断加快,城市污泥堆肥在林地、园林绿化等方面的应用越来越多。污泥经堆肥后用于林业是一种安全、有效、可行的利用途径,可以改善林地土壤肥力,为林地植物生长提供营养^[8]。研究表明,污泥堆肥后土壤有机质含量、总氮、总磷含量均有不同程度的增加,与对照相比,榆树树高增加了11%~25%,径粗增加了19%~50%,增加了木材产量^[9]。污泥堆肥不仅能促进乔木生长,还能促进灌木

水电,2006(2):32-34.

[8] 龙爱华,张志强,徐中民,等. 甘肃省水资源足迹与消费模式分析[J]. 水科学进展,2005,16(3):418-425.

[9] 尚海洋,徐中民,王思远. 不同消费模式下虚拟水消费比较[J]. 中国人口·资源与环境,2009,19(4):50-54.

[10] 纪尚安. 我国农产品虚拟水贸易研究[D]. 青岛:青岛大学,2008.

[11] 王红瑞,王军红. 中国畜产品的虚拟水含量[J]. 环境科学,2006,27(4):609-615.

[12] Tilman D, Wedin D, Knops J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems[J]. Nature, 1996, 379:718-720.

[13] Xu Z M, Cheng G D, Chen D J, et al. Economic diversity, development capacity and sustainable development of China[J]. Ecological Economics, 2002, 40(3):369-378.

[14] Rich N A. Diversity and stability in a street tree population[J]. Urban Ecology, 1983, 7(2):159-171.

[15] 杨万江. 我国国民食物消费水平变化的国际比较[J]. 消费经济, 2002(1):51-53.

收稿日期:2013-06-02

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(编号:2012ZX07204-001); 河南省重大公益性科研招标项目(编号:101100910300)。

作者简介: 刘恒嘉(1987—),男,河南扶沟人,硕士研究生,主要从事污泥无害化与资源化利用研究。E-mail: catkinsimple@163.com。

数近年来呈上升态势,表明居民的饮食结构逐步改善。目前江苏省正面临资源环境恶化和经济结构转型的双重压力,研究居民虚拟水消费现状对于保持社会可持续发展具有重要意义。

参考文献:

- [1] 田贵良. 虚拟水贸易论[M]. 北京:中国水利水电出版社,2010.
- [2] 刘晶茹,王如松,杨建新. 可持续发展研究新方向:家庭可持续消费研究[J]. 中国人口·资源与环境,2003,13(1):6-8.
- [3] Dennis W. The role of 'virtual water' water in efforts to achieve food security and other national goals, with an example from Egypt[J]. Agricultural Water Management, 2001, 49(2):131-151.
- [4] 马静,汪党猷,Hoekstra A Y. 虚拟水贸易与跨流域调水[J]. 中国水利,2004(13):37-39.
- [5] 许长新,马超,田贵良,等. 虚拟水贸易对区域经济的作用机理及贡献份额研究[J]. 中国软科学,2011(12):110-119.
- [6] 谢卫奇,田贵良,谢文轩. 虚拟水战略适宜性评价的指标体系研究[J]. 水利经济,2010,28(2):12-15,30.
- [7] 王新华. 消费模式变化对虚拟水消费的影响[J]. 中国农村水利

生长,土壤理化性质得到明显改善^[10]。陈彩云等研究发现,施用污泥后,杨树幼苗叶片 POD 活性与 SOD 活性降低^[11]。由于污泥中含有大量的微生物种群,污泥堆肥施用于土壤后会显著增加土壤中微生物种类及数量,促进了土壤物质循环,提高了土壤肥力。污泥堆肥在林业中的另一个应用领域是人工速生林,我国每年速生林对有机肥的需求量高达 1.2×10^7 t,因此污泥堆肥及其商品化复混肥的应用前景十分广阔。

1.2 城市污泥堆肥在草业上的应用

传统的草坪生产方式需要消耗大量耕地,生产适合草坪生产的基质替代物是目前草业发展的重要方向。污泥堆肥能显著提高高羊茅、黑麦草的生物量及叶绿素含量,延长草坪绿期^[12]。城市生活污水污泥可以增加草坪氮、磷、有机质含量,促进植物对氮的吸收,提高草坪综合品质,草坪保水保肥能力得到明显提高^[13-14]。

1.3 城市污泥堆肥在花卉蔬菜上的应用

城市污泥堆肥可以作为花卉蔬菜的育苗栽培基质。近年来我国花卉市场交易异常火爆,但腐殖土等营养土运输成本较高,施用量较少,城市污泥堆肥可以完全替代腐殖土。马达等研究发现,加入 25% ~ 50% 的污泥堆肥可以显著改善袖珍椰子、富贵竹、撒金竹生长状况,改善观赏品质^[15]。肖祖飞等将污泥堆肥、珍珠岩按 3 : 1 比例用作矮牵牛的无土栽培基质,能够增加矮牵牛的叶片数、冠幅^[16]。康少杰等将污泥堆肥用于油菜种植,发现在适宜的施用量范围内,可以明显提高油菜的产量及品质,增加油菜可溶性糖、还原性维生素 C 含量,但当污泥堆肥施用量过高时会抑制油菜的生长^[17]。

1.4 城市污泥堆肥在粮食作物上的应用

污泥经堆肥处理后含有大量有机质、腐殖质,可以改善土壤结构,增加土壤孔隙率,起到保水保肥的效果。目前国内外许多学者对污泥堆肥在粮食作物上的应用进行了大量研究^[18-19]。Xie 等^[20]、陈同斌等^[21]、Parkpian 等^[22]、Garrido 等^[23]、王连敏等^[24]、林代炎等^[25] 分别对污泥堆肥在水稻、小麦、大豆上的应用做了研究,发现施用适量污泥后水稻、小麦返青加快、分蘖增多,叶片叶绿素含量增加,产量及品质显著提高。污泥堆肥与化肥混配可以显著提高土壤中硝态氮、铵态氮含量,促进土壤中钾元素矿化,显著提高土壤中速效磷、速效钾、碱解氮含量^[26]。施用污泥堆肥可以提高玉米秸秆、籽粒中氮含量,增加穗粒数、百粒重,提高玉米的品质^[27]。施用污泥堆肥可以替代 50% 的化学氮肥,但施用量过高会减少小麦产量,增加秸秆、籽粒重金属超标的风险^[28]。城市污泥堆肥具有缓释、长效特点,适当适量施用污泥堆肥可以起到修复、改良土壤的作用^[29]。

2 城市污泥堆肥土地利用环境风险

2.1 重金属风险

2.1.1 重金属对土壤、地下水的风险 与水污染、大气污染相比,土壤污染具有隐蔽性、滞后性、积累性的特点,从污染到发现问题需要较长的时间。Gavalda 等^[30]、Antolín 等^[31]、Garrido 等^[23] 分别在法国、西班牙、墨西哥研究了短期常量施用污泥堆肥对土壤重金属的影响,与对照相比,施用污泥堆肥的土壤重金属含量有少量增加,但都在标准值以内。研究表明,长期施用重金属含量较低的污泥堆肥不会造成重金属污

染^[32-34],但长期施用重金属含量高的污泥堆肥会造成土壤表层重金属含量超标^[35-36]。

2.1.2 对作物的风险 城市污泥堆肥施用于土壤后,污泥中的有机质会在各种微生物及酶的作用下分解,与有机质相结合的部分重金属会被释放出来,增加了重金属生物富集的环境风险^[37]。重金属在作物上的富集情况还与重金属的形态有密切的关系,水溶态的重金属可以被作物直接吸收,较容易在作物上富集^[38]。Xie 等^[20]、陈同斌等^[21]、郭鄂兰等^[39] 分别将堆肥污泥应用到小麦、水稻、番茄等作物上,作物中重金属含量与对照相比有所增加,但都在我国食品卫生标准范围之内。此外,不同作物的不同部位对重金属的转移系数也不相同。

2.2 盐分的环境风险

污泥中盐类种类较多。生活污水中氯化钠浓度较高,污水处理使用的无机絮凝剂主要是铝盐,导致污泥中氯化钠及铝盐含量比其他盐分高很多,过高的盐分含量导致土壤电导率明显提高,同时抑制了作物对营养元素的吸收,盐类离子之间的拮抗作用导致营养元素淋失加剧。如不对污泥加以处理便直接施用于作物可能会造成作物少苗等问题。

2.3 持久性有机物风险

目前关于污泥堆肥土地利用的重金属研究较多,对于污泥中有机物研究较少。污泥堆肥农用后有机污染物的环境行为主要包括挥发、吸附、淋滤、动植物吸收、生物或非生物降解等几种。污泥堆肥土地利用后,一些挥发性的有机污染物会向土壤表面迁移。部分水溶性有机污染物会沿着土壤空隙向下迁移,有可能对地下水造成污染,难降解的有机污染物如 PAHs、PCDD/Fs、PCBs 等容易被土壤吸附,不易迁移到地下水层^[40]。施用污泥堆肥后,部分有机污染物会在土壤中积累。Goodin 发现,污泥改良土的 PAHs 浓度比对照高 5 倍以上,苯并芘浓度高达 200 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。目前我国仅对苯并芘的含量制定了相关的标准,其安全使用标准为 3 mg/kg ,欧盟也规定了 9 种 PAHs 的含量限制。

3 结论

城市污泥经堆肥后可以杀死绝大部分的病原菌,有机质逐渐向稳定的腐殖质转化,同时改变重金属形态,脱水污泥中的重金属有效性低于原污泥,污泥经堆肥后重金属有效性低于脱水污泥。由于我国城市污泥重金属含量普遍低于欧美发达国家,并且重金属含量呈逐年递减趋势,因此城市污泥经堆肥后完全可以施用于土壤,不必担心重金属污染问题,但要禁止长期大量施用,同时未经堆肥腐熟的生物泥也禁止施用于土壤。短期适量施用污泥堆肥不会对作物、土壤、地下水造成危害。污泥堆肥短期利用未见明显的盐分、有机污染物环境风险。污泥堆肥厂的上游城市污水处理厂要严格限制环境风险较高的工业废水排入,充分利用土壤容量消纳大量城市污泥堆肥。

参考文献:

- [1] Fytilli D, Zabaniotou A. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods - a review[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2008, 12(1): 116 - 140.

- [2] Wu L H, Cheng M M, Li Z, et al. Major nutrients, heavy metals and PBDEs in soils after long-term sewage sludge application[J]. Journal of Soils and Sediments, 2012, 12(4): 531-541.
- [3] Eljarrat E, Marsh G, Labandeira A, et al. Effect of sewage sludges contaminated with polybrominated diphenylethers on agricultural soils[J]. Chemosphere, 2008, 71(6): 1079-1086.
- [4] Sellström U, de Wit C A, Lundgren N, et al. Effect of sewage-sludge application on concentrations of higher-brominated diphenyl ethers in soils and earthworms[J]. Environmental Science & Technology, 2005, 39(23): 9064-9070.
- [5] Smith S R. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge[J]. Environment International, 2009, 35(1): 142-156.
- [6] Uhram S, Ju L E. Environmental and economical assessment of sewage sludge compost application on soil and plants in a landfill[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2010, 54(12): 1109-1116.
- [7] 王新, 周启星. 污泥堆肥土地利用对树木生长和土壤环境的影响[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(1): 174-177.
- [8] 张增强, 薛澄泽. 污泥堆肥对几种木本植物生长响应的研究[J]. 西北农业大学学报, 1995, 23(6): 47-51.
- [9] Labrecque M, Teodorescu T I, Daigle S. Early performance and nutrition of two willow species in short-rotation intensive culture fertilized with wastewater sludge and impact on the soil characteristics[J]. Canadian Journal of Forest Research, 1998, 28(11): 1621-1635.
- [10] 李艳霞, 薛澄泽, 陈同斌. 污泥和垃圾堆肥用作林木育苗基质的研究[J]. 农业生态环境, 2000, 16(1): 60-63.
- [11] 陈彩云, 白莉萍, 龙健, 等. 堆肥污泥对杨树幼苗主要抗逆生理动态变化的影响[J]. 生态环境学报, 2012, 21(10): 1763-1770.
- [12] Zaman M, Di H J, Sakamoto K, et al. Effects of sewage sludge compost and chemical fertilizer application on microbial biomass and N mineralization rates[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2002, 48(2): 195-201.
- [13] 赵莉, 李艳霞, 陈同斌, 等. 城市污泥专用复合肥在草皮生产中的应用[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(4): 501-503, 506.
- [14] 李艳霞, 赵莉, 陈同斌. 城市污泥堆肥用作草皮基质对草坪草生长的影响[J]. 生态学报, 2002, 22(6): 797-801.
- [15] 马达, 高定, 刘洪涛, 等. 城市污泥堆肥用作花卉栽培基质的效果评价[J]. 中国给水排水, 2009, 25(15): 115-116.
- [16] 肖祖飞, 赖发英, 马晓蒙, 等. 污泥堆肥对矮牵牛生长发育的影响[J]. 江西农业大学学报, 2011, 33(5): 885-888, 923.
- [17] 康少杰, 刘善江, 李文庆, 等. 污泥肥对油菜品质性状及其重金属累积特征的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(1): 92-95.
- [18] Mantovi P, Baldoni G, Toderi G. Reuse of liquid, dewatered, and composted sewage sludge on agricultural land: effects of long-term application on soil and crop[J]. Water Research, 2005, 39(2/3): 289-296.
- [19] Al-Najar H, Schulz R, Breuer J, et al. Effect of cropping systems on the mobility and uptake of Cd and Zn[J]. Environmental Chemistry Letters, 2005, 3(1): 13-17.
- [20] Xie Q L, Zhang X H, Wang D Q, et al. Research on the effect of sludge fertilizer on farmland and the safety of heavy metals in a karst area[J]. Environmental Geology, 2001, 41(3/4): 352-357.
- [21] 陈同斌, 李艳霞, 金燕, 等. 城市污泥复合肥的肥效及其对小麦重金属吸收的影响[J]. 生态学报, 2002, 22(5): 643-648.
- [22] Parkpian P, Ranamukhaarachchi S L, Hansen G K, et al. Benefits and risks of using a combination of sewage sludge and chemical fertilizer on rice in acid sulfate soil[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2003, 65(2): 173-182.
- [23] Garrido S, Del Campo G M, Esteller M V, et al. Heavy metals in soil treated with sewage sludge composting, their effect on yield and uptake of broad bean seeds (*Vicia faba* L.)[J]. Water Air and Soil Pollution, 2005, 166(1/2/3/4): 303-319.
- [24] 王连敏, 王春艳, 王立志, 等. 污泥对水稻分蘖及产量形成影响的研究[J]. 安全与环境学报, 2005, 5(1): 35-37.
- [25] 林代炎, 杨菁, 叶美锋, 等. 不同污泥肥料对水稻和大豆的肥效实验研究[J]. 安全与环境学报, 2007, 7(1): 111-114.
- [26] 唐滢海. 不同秸秆污泥堆肥施用土壤-植物效应研究[D]. 重庆: 西南大学, 2011.
- [27] 王楠, 王帅, 李新江. 造纸污泥有机无机复混肥在玉米上的施用效果研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(27): 141-145.
- [28] 徐兴华. 城市污泥农用的农学和环境效应研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2008.
- [29] Wei Y, Liu Y. Effects of sewage sludge compost application on crops and cropland in a 3-year field study[J]. Chemosphere, 2005, 59(9): 1257-1265.
- [30] Gavalda D, Scheiner J D, Revel J C, et al. Agronomic and environmental impacts of a single application of heat-dried sludge on an Alfisol[J]. Science of the Total Environment, 2005, 343(1/2/3): 97-109.
- [31] Antolín M C, Inmaculada P, Carlos G, et al. Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean conditions[J]. Field Crops Research, 2005, 94(2/3): 224-237.
- [32] Wang H L, Magesan G N, Kimberley M O, et al. Environmental and nutritional responses of a *Pinus radiata* plantation to biosolids application[J]. Plant and Soil, 2004, 267(1/2): 255-262.
- [33] Johansson M, Stenberg B, Torstensson L. Microbiological and chemical changes in two arable soils after long-term sludge amendments[J]. Biology and Fertility of Soils, 1999, 30(1/2): 160-167.
- [34] Flavio P, Stringari G, Flavia G, et al. The use of compost; its effects on heavy metal levels in soil and plants[J]. Resources, Conservation and Recycling, 1997, 21(2): 129-143.
- [35] Walter I, Cuevas G. Chemical fractionation of heavy metals in a soil amended with repeated sewage sludge application[J]. Science of the Total Environment, 1999, 226(2): 113-119.
- [36] Mbila M O, Thompson M L, Mbagwu J S, et al. Distribution and movement of sludge-derived trace metals in selected Nigerian soils[J]. Journal of Environmental Quality, 2001, 30(5): 1667-1674.
- [37] Hadas A, Kautsky L, Portnoy R. Mineralization of composted manure and microbial dynamics in soil as affected by long-term nitrogen management[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1996, 28(6): 733-738.
- [38] Zheng G D, Chen T B, Gao D, et al. Dynamic of lead speciation in sewage sludge composting[J]. Water Science and Technology: a Journal of the International Association on Water Pollution Research, 2004, 50(9): 75-82.
- [39] 郭郦兰, 王逵, 张青喜, 等. 太原市污水污泥农业利用研究[J]. 农业环境科学学报, 1993, 6(6): 258-262, 285.
- [40] Goodin R E. Sequencing deliberative moments[J]. Acta Politica, 2005, 40(2): 182-196.