

# 高温堆肥技术在我国畜禽粪便污染治理中的应用

何芳 罗阳\* 浣成 伍佰鑫 易康乐 李晟 孙麇 李昊帮 (湖南省畜牧兽医研究所, 湖南长沙 410000)

**摘要** 畜禽粪便无害化处理是保障畜牧业与环境可持续发展的重要措施,而高温堆肥是生产工业有机肥的有效途径,但目前畜牧业畜禽废污资源化利用还存在诸多问题。阐述了我国畜禽粪便污染现状,介绍了高温堆肥技术在畜禽粪便污染处理中的应用,旨在为提高我国畜禽粪便处理效率以及促进养殖业的健康、快速发展提供参考。

**关键词** 畜禽粪便; 高温堆肥; 有机肥

中图分类号 S141.4 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)17-0041-03

## Application of High-temperature Composting Technology in the Pollution Treatment of Livestock and Poultry Manure in China

HE Fang LUO Yang HUAN Cheng et al (Hunan Institute of Animal Science and Veterinary Medicine, Changsha, Hunan 410000)

**Abstract** Harmless treatment of livestock and poultry manure is an important measure for the sustainable development between animal husbandry industry and environment, and high-temperature composting is an effective way of industrial production. However, there are many problems in the utilization of livestock and poultry waste pollution resources at present. The pollution situations of livestock and poultry manure in China were expounded. And the application of high-temperature composting technology in pollution treatment of livestock and poultry manure was introduced, so as to provide references for improving the treatment efficiency of livestock and poultry manure in China and promoting the healthy and rapid development of aquaculture.

**Key words** Livestock manure; High-temperature composting; Organic fertilizer

近年来,我国畜牧业生产规模和经济效益稳步增长,规模化、集约化、标准化程度不断提高。据《中国统计年鉴》(2016)统计,2005—2015年我国肉猪出栏数达到70 825万头,猪年存栏数45 112.5万头,猪肉产量5 486.5万t,牛出栏数10 817万头,牛肉产量700.1万t,羊肉产量440.8万t,牛奶产量3 754.7万t,禽蛋产量2 999.2万t<sup>[1]</sup>。我国畜牧业在供需平衡方面实现了精准把控,畜产品结构及产能分配随宏观经济环境的变化而逐步调整,经历了快速发展阶段后增长速度开始放缓,逐步向高质量、高品质类型转变,但受集约化、规模化发展模式的影响,高度养殖密集区畜禽粪便生产量巨大,受资金、技术、政策等因素的限制,畜禽废弃物对环境的污染问题日趋严重<sup>[2-3]</sup>。笔者阐述了我国畜禽粪便污染现状,并介绍了高温堆肥技术在畜禽粪便污染处理中的应用。

### 1 我国畜禽粪便污染现状

畜禽粪便、养殖臭气、垫圈褥草以及死畜禽尸体等废弃物是畜牧业对环境污染的重要来源,其中以畜禽粪便污染范围以及污染程度最为明显<sup>[4-5]</sup>,主要表现在以下方面:①集约化程度高,粪便生产量大。20世纪80年代我国畜禽粪便总产量仅6.9亿t,2009年已达到32.64亿t,预测2020年畜禽粪便排放量将达到42.44亿t<sup>[6]</sup>。②废污残留物含量高,存在污染风险。为了预防畜禽疾病发生、促进动物生长,在配合饲料中添加铜、锌、抗生素等饲料添加剂,但由于其生物有效性低,极易排出动物体外,造成工业生产的有机肥中抗生素、重金属以及致病菌含量严重超标,用作农家肥施用时会释放慢、矿化时间长等不良影响,致使污染物残存在土壤-作物体系中,造成食品安全隐患<sup>[7]</sup>。因此,企业在大力发展产业

集约化的同时,还应加强畜禽粪便资源化利用技术攻关,生产与治理并重,不断加强畜牧业的可持续发展。

**1.1 重金属污染** Cu、Zn、As等重金属元素可促进动物生长,提高饲料利用率,作为添加剂应用于饲料工业中具有重要意义。例如,Cu能提高动物采食量,也是动物机体相关酶的催化剂;As能抑制和杀灭动物肠道寄生虫,提高机体免疫力等。但是,当饲料中过量添加Cu和Zn时,加上生物体的富集功能<sup>[8-10]</sup>,会导致动物排放至生境中的粪便重金属含量严重超标。石艳平等<sup>[11]</sup>对嘉兴市27家规模化猪场粪便样品中重金属的含量进行测定,发现Cu、Zn、As超标率分别为71.9%、78.9%和42.1%,其中仔猪粪便中Cu和Zn超标率均达100%;庞妍等<sup>[12]</sup>对关中平原养殖集中区粪便中重金属元素进行测定,发现牛粪、鸡粪、猪粪样品中Cr超标率分别为7.69%、4.35%和8.00%,而猪粪中Cu、Zn超标率分别达到76.00%和8.00%。畜禽粪便重金属污染较为普遍,是造成环境污染的重要因素之一,而我国以生猪类粪便污染最为严重。

**1.2 抗生素污染** 抗生素(Antibiotics)是由微生物(细菌、真菌、放线菌)或高等动植物在新陈代谢过程中所产生的一类次级代谢化学物质,通过影响细菌蛋白质合成、破坏细胞壁和影响DNA复制等多种方式抑制或干扰病原微生物的生长代谢<sup>[13]</sup>。随着近代饲料工业的发展,抗生素滥用现象越来越严重,但由于病原菌的变异速度以及动物机体对抗生素的依赖性越来越强,使得抗生素在饲料中的添加量逐年提升。畜禽粪便中抗生素残留的原因是动物经过消化代谢后,仅有少部分抗生素被裂解、羟基化和葡萄糖苷酸化转化为无活性物质,50%~80%以原形或代谢物形式随粪便和尿液直接排出<sup>[14-16]</sup>。张慧敏等<sup>[17]</sup>发现规模化养殖场畜禽粪便中四环素、土霉素和金霉素的残留量为3.36~6.48 mg/kg,而家庭散养畜禽粪便中3种抗生素残留量为0.28~0.65 mg/kg。郭冬生等<sup>[18]</sup>推测2011年湖南省畜禽粪便中抗生素排泄总量

**作者简介** 何芳(1973—)女,湖南道县人,高级兽医师,从事畜牧生产与动物疫病防治研究。\*通讯作者,助理研究员,硕士,从事动物营养与饲料科学研究。

**收稿日期** 2018-03-06

为 103.09 t,且猪粪是抗生素排泄的主体。Zhao 等<sup>[19]</sup>对我国规模化养殖场畜禽粪便的调查发现,环丙沙星和恩诺沙星在牛粪中的含量分别为 29.59 和 46.70 mg/kg,其在猪粪中含量分别为 33.98 和 33.26 mg/kg。Pan 等<sup>[20]</sup>研究发现新鲜猪粪中四环素类抗生素残留量达 764.4 mg/kg。由此可见,畜禽粪便中抗生素残留情况普遍存在,抗生素污染治理已刻不容缓。

**1.3 病原体污染** 畜禽消化道中栖息着数以亿计的微生物,这些共生微生物能辅助动物消化代谢和维持肠道平衡,畜禽粪便中同样附着大量的病原微生物和寄生虫。据统计每年畜禽粪便共排出  $3.2 \times 10^{23}$  个隐孢子虫卵囊<sup>[21]</sup>,已成为传染病传播隐患,甚至危害人类健康。李基棕等<sup>[22]</sup>对 2 个规模化猪场周围的空气、饮用水、排污水、土壤以及粪便样本进行调查,发现葡萄球菌、链球菌、大肠杆菌、沙门氏菌、耶尔森菌、变形杆菌、巴氏杆菌、李氏杆菌、芽孢杆菌和梭状芽孢杆菌是猪场周边分布的主要优势菌,而这些优势菌大多具有致病功能。谢秀兰等<sup>[23]</sup>从患病羔羊粪便中分离出 4 株具有较高致病力和多重耐药性的奇异变形杆菌,并对健康小鼠具有较高的致病性。岩锐等<sup>[24]</sup>从腹泻病牛粪便样品中分离出 1 株致病性大肠埃希菌,接种至 12 只健康小鼠体内后 24 h 内全部死亡。畜禽粪便虽然携带了大量的有害微生物,但大多数可以通过物理、化学等方法杀灭,因此对畜禽粪便中病原体的防治应十分注重抗性菌株的突变。

## 2 高温堆肥技术在我国畜禽粪便污染治理中的应用

高温堆肥是现代工业有机肥生产的重要技术之一,将各种堆肥材料按一定比例混合,通过人为控制水分、pH、温度、碳氮比(C/N)等因素,在好氧、厌氧或好氧-厌氧交替的条件下,对粪便进行腐解,最终转化为有机肥。由于资金、认识和技术因素的限制,我国利用高温堆肥技术处理畜禽粪便的比例并不高,农田中直接施用生粪或畜禽粪便随意排放的现象依然存在。然而,在许多发达国家,高温堆肥技术已经普遍应用于工业化。据法国官方数据统计,每年高温堆肥处理猪粪、牛粪、鸡粪共 860 万 t,占比 63.16%<sup>[25]</sup>。由此可见,高温堆肥是当前畜牧业畜禽粪便资源化利用的有效途径,在未来畜牧业废污处理方面具有巨大的应用前景。

**2.1 高温堆肥对畜禽粪便重金属残留的影响** 大量研究表明,高温堆肥能够钝化畜禽粪便中的重金属,降低重金属的有效性,究其原因是在畜禽粪便中含有大量溶解态有机质,对某些游离重金属具有一定的螯合作用,形成碳酸盐结合态或有机质结合态<sup>[7]</sup>。郑国砥等<sup>[26]</sup>研究了高温堆肥处理对猪粪重金属结合形态变化的影响,发现堆肥处理可降低可交换态和碳酸盐交换态 Pb、Ni、Cu、Cr、Zn、As 和铁锰氧化物结合态 Pb、Cu、Cr、As 的分配系数,从而降低猪粪中重金属的有效性,从而达到降低猪粪中重金属污染的风险。由于某些畜禽粪便中重金属含量较高,高温堆肥时需要添加钝化剂进行高温腐熟,如生物炭、膨润土、沸石、磷矿粉、石灰等,这些钝化剂具有较大的空腔表面、静电力以及离子交换性能,能有效吸附重金属,从而降低重金属的生物有效性。刘小屿等<sup>[27]</sup>

研究生物炭对猪粪有机肥中重金属 Cu、Zn 的钝化效果,发现生物炭可不同程度降低辣椒茎叶和辣椒果实中 Cu、Zn 的累积量,同时可促进辣椒生长,提高辣椒产量。由此可见,这些钝化剂不仅能钝化重金属,而且能一定程度增加肥力,促进农产品增产,有效缓解畜禽粪便中重金属对环境的污染。

**2.2 高温堆肥对畜禽粪便抗生素残留的影响** 饲料中添加抗生素可提高养殖场的经济效益,但过量添加抗生素会使微生物具有选择压力,向耐药方向演变,诱导病原微生物产生抗性基因,抗性菌株随粪便排出后,通过基因水平转移污染土壤和地下水环境。抗生素残留是畜禽粪便处理的难点和热点,大量研究发现高温堆肥对抗生素以及抗性基因的扩散和传播具有一定的削减效果。孟磊等<sup>[28]</sup>研究了利用高温堆肥去除鸡粪中抗生素残留,发现高温堆肥可去除鸡粪中 48.4%~77.1% 的氟喹诺酮类抗生素,且在堆肥初期(0~14 d)降解速度最快。Selvam 等<sup>[29]</sup>发现经过 42 d 的高温堆肥可使猪粪中磺胺类和四环素类抗性基因均降至检出限以下。勾长龙等<sup>[30]</sup>研究高温堆肥对猪粪中抗生素及抗生素抗性基因的影响,发现低剂量处理组(10 mg/kg)中四环素、土霉素和金霉素的去除率分别为 91%、94% 和 92%,高剂量组(50 mg/kg)中四环素、土霉素和金霉素的去除率分别为 60%、62% 和 71%,且经堆肥处理后抗性基因 *tetC*、*tetG*、*tetM*、*tetQ*、*tetW* 的相对丰度下降。这些研究表明高温堆肥对畜禽粪便抗生素残留有一定的去除效果,并对其抗性基因也有一定的削减作用。

**2.3 高温堆肥对畜禽粪便有害微生物的影响** 高温堆肥分为升温、高温以及降温腐熟 3 个阶段,对有害微生物的去除集中在升温和高温阶段,生粪中大多数致病菌的最适生长温度在 37℃ 以下,随着温度的升高,大多数致病菌会被高温杀灭,有益分解菌成为主体,新的微生物区系随之建立。Himathongkham 等<sup>[31]</sup>和 Zaleski 等<sup>[32]</sup>认为牛粪高温堆肥的第 10 天大肠杆菌和沙门氏菌的去除率在 90% 以上,第 14 天李氏杆菌被彻底杀灭。此外,高温堆肥对粪便中的寄生虫也表现出良好的杀灭效果。王洪志等<sup>[33]</sup>对双流县 5 个规模化养猪场粪便进行高温堆肥,发现堆肥前小袋虫、球虫、蛔虫等阳性率较高,而堆肥后各种寄生虫及虫卵的阴性率均在 99% 以上。仇天雷等<sup>[34]</sup>研究表明,鸡粪中沙门氏菌在堆肥起始阶段全部被杀灭,而大肠菌群堆肥末期(47 d)才降至检出限以下。因此,高温堆肥可以杀灭畜禽粪便中微生物和寄生虫卵,有效控制了传染病以及人畜共患病的传播。

## 3 小结

畜牧业畜禽粪便污染水源、空气和土壤,还易造成疾病传播,给我国带来了严重的环境污染,如何使畜禽粪便无害化、资源化、减量化已成为我国以及世界性亟需解决的难题。高温堆肥因无害化程度高、堆肥时间短、处理规模大、适于工厂化生产等优点而逐渐成为畜禽粪便处理的首选方式<sup>[5]</sup>。然而,我国对高温堆肥的研究起步较晚,工业化程度低,堆肥过程中各项指标还不明确,例如发酵过程中氮素损失严重、腐熟指标不明确等,较大程度地限制了高温堆肥的工业化应

用。面对诸多不利因素,近年来我国高度重视有机肥的生产标准,连续 13 年发布以“三农”为主题的中央一号文件,不断优化产能过剩、调整供给侧结构,促进产业转型升级。随着新型农业经营主体的不断涌现以及消费主体、国家的政策导向,有机肥相关标准、检测方法、评价和使用技术的研究不断增多,使得高温堆肥的工业化应用越来越受到重视,这于对缓解畜禽粪便对环境的污染,促进畜禽粪便的资源化利用、工厂化生产以及有机肥产业的健康发展具有重要意义。

#### 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社 2016.
- [2] 胡向东, 黄仁, 何忠伟. 畜禽规模养殖场废弃物处理的现状分析[J]. 江苏农业科学 2014 42(1): 302-304.
- [3] 王修川, 袁新国, 王腾. 试论循环经济及畜禽废弃物资源化[J]. 环境科学与技术 2008 31(8): 155-157.
- [4] 秦翠兰, 王磊元, 刘飞, 等. 畜禽粪便生物质资源利用的现状与展望[J]. 农机化研究 2015(6): 234-238.
- [5] 刘志刚, 邱忠平, 付春霞, 等. 畜禽废弃物堆肥化研究进展[J]. 江苏农业科学 2013 41(2): 366-369.
- [6] 朱凤连, 马友华, 周静, 等. 我国畜禽粪便污染和利用现状分析[J]. 安徽农业通报 2008 14(13): 48-50.
- [7] 严莲英, 刘桂华, 秦松, 等. 畜禽粪便堆肥中抗生素和重金属残留及控制研究进展[J]. 江西农业学报 2016 28(9): 90-94.
- [8] 奉向东, 邓激光, 王伟, 等. 饲料中高铜高锌在组织中残留及排泄规律的研究[J]. 检验检疫学刊 2009 19(1): 21-23.
- [9] 商和平, 李洋, 张涛, 等. 畜禽粪便有机肥中 Cu、Zn 在不同农田土壤中的形态归趋和有效性动态变化[J]. 环境科学 2015 36(1): 314-324.
- [10] 洪琴, 林丽娟, 周岩民. 肉鸭饲料及粪便中主要成分的调查分析[J]. 江苏农业科学 2014 42(1): 155-157.
- [11] 石艳平, 黄锦法, 倪雄伟, 等. 嘉兴市主要生猪规模化养殖饲料和粪便重金属污染特征[J]. 浙江农业科学, 2015 56(9): 1494-1497.
- [12] 庞妍, 唐希望, 吉普辉, 等. 关中原畜粪便重金属农用风险估算[J]. 中国环境科学 2015 35(12): 3824-3832.
- [13] DURSO L M, COOK K L. Impacts of antibiotic use in agriculture: What are the benefits and risks? [J]. Curr Opin Microbiol 2014 19: 37-44.
- [14] 王冰, 孙成, 胡冠九. 环境中抗生素残留潜在风险及其研究进展[J]. 环境科学与技术 2007 30(3): 108-111.
- [15] HIRSCH R, JERNES T, HABERER K, et al. Occurrence of antibiotics in the aquatic environment [J]. The science of the total environment, 1999, 225(1/2): 109-118.
- [16] YANG S, CHA J, CARLSON K. Quantitative determination of trace concentrations of tetracycline and sulfonamide antibiotics in surface water using solid-phase extraction and liquid chromatography/ion trap tandem mass spectrometry [J]. Rapid communication in mass spectrometry, 2004, 18: 2131-2145.
- [17] 张慧敏, 章明奎, 顾国平. 浙北地区畜禽粪便和田土壤中四环素类抗生素残留[J]. 生态与农村环境学报 2008 24(3): 69-73.
- [18] 郭冬生, 王文龙, 彭小兰, 等. 湖南省畜禽粪便抗生素排放量估算与治理策略[J]. 浙江农业学报 2014 26(5): 1315-1318.
- [19] ZHAO L, DONG Y H, WANG H. Residues of veterinary antibiotics in manures from feedlot livestock in eight provinces of China [J]. Science of the total environment, 2010 408(5): 1069-1075.
- [20] PAN X, QIANG Z M, BEN W W, et al. Residual veterinary antibiotics in swine manure from concentrated animal feeding operations in Shandong Province, China [J]. Chemosphere 2011 84(5): 695-700.
- [21] VERMEULEN L C, BENDERS J, MEDEMA G, et al. Global *Cryptosporidium* loads from livestock manure [J]. Environ Sci Technol 2017, 51(15): 8663-8671.
- [22] 李慧棕, 高颖, 杜海燕, 等. 规模化养猪场环境细菌的调查与分析[J]. 中国畜牧兽医 2010 37(8): 199-203.
- [23] 谢秀兰, 黎帅, 马小明, 等. 羊奇异变形杆菌的分离鉴定及药敏试验[J]. 动物医学进展 2017 38(7): 115-119.
- [24] 岩锐, 王建晔, 郑碧妞, 等. 规模化肉牛养殖场杂交肉牛顽固性水样腹泻的病原检测[J]. 上海畜牧兽医通讯 2017(6): 10-14.
- [25] LOYON L. Overview of manure treatment in France [J]. Waste management 2017 61: 516-520.
- [26] 郑国砥, 陈同斌, 高定, 等. 好氧高温堆肥处理对猪粪中重金属形态的影响[J]. 中国环境科学 2005 25(1): 6-9.
- [27] 刘小屿, 沈根祥, 钱晓雍, 等. 不同钝化剂对畜禽粪便有机肥重金属铜锌的钝化作用[J]. 江苏农业科学 2017 45(13): 209-213.
- [28] 孟磊, 杨兵, 薛南冬, 等. 高温堆肥对鸡粪中氟喹诺酮类抗生素的去除[J]. 农业环境科学学报 2015 34(2): 377-383.
- [29] SELVAM A, ZHAO Z Y, WONG J W C. Composting of swine manure spiked with sulfadiazine, chlortetracycline and ciprofloxacin [J]. Biore-source technology, 2012 126(12): 412-417.
- [30] 勾长龙, 王雨琼, 张喜庆, 等. 高温堆肥对猪粪中四环素类抗生素及抗性基因的影响[J]. 环境科学学报 2017 37(4): 1454-1460.
- [31] HIMATHONGKHAM S, BAHARI S, RIEMANN H, et al. Survival of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella typhimurium* in cow manure and cow manure slurry [J]. FEMS Microbiology Letters, 1999 178(2): 251-257.
- [32] ZALESKI K J, JOSEPHSON K L, GERBA C P, et al. Survival, growth, and regrowth of enteric indicator and pathogenic bacteria in biosolids, compost soil and land applied biosolids [J]. Journal of residuals & technology 2005 2(1): 49-63.
- [33] 王洪志, 杨克美, 陈世中, 等. 堆肥发酵处理畜禽粪便杀灭寄生虫及虫卵的研究[J]. 西南民族大学学报(自然科学版) 2013 39(3): 307-310.
- [34] 仇天雷, 高敏, 韩梅琳, 等. 鸡粪堆肥过程中四环素类抗生素及抗性细菌的消减研究[J]. 农业环境科学学报 2015 34(4): 795-800.
- [28] 梁巧玲, 马德英. 农田杂草综合防治研究进展[J]. 杂草科学 2007(2): 14-15 26.
- [29] 张建国, 王森. 果园杂草的危害与综合控制[J]. 植物医生 2003(6): 6-9.
- [30] ANAYA A L, GLIESSMAN S R, ORTEGA R C, et al. Effects of allelopathic weeds used as cover crops on the floristic potential of soils [C]// Proceedings 6th International Conference IFOAM 1986, Global Perspectives on Agroecological and Sustainable Agricultural Systems. Santa Cruz, California USA [s. n. ] 1998.
- [31] ELLIS D R, GUILLARDAND K, ADAMS R G. Purslane as a living mulch in broccoli production [J]. American journal of alternative agriculture, 2000 15(2): 50-59.
- [32] LIGNEAU L A M, WATT T A. The effects of domestic compost upon the germination and emergence of barley and six arable weeds [J]. Annals of applied biology 1995 126(1): 153-162.
- [33] 郭永霞, 孔祥清. 转基因技术在杂草防除中的应用及展望[J]. 黑龙江八一农垦大学学报 2004 16(4): 23-26.
- [34] AMSELLEM Z, COHEN B A, GRESSEL J. Engineering hypervirulence in a mycoherbicidal fungus for efficient weed control [J]. Nature biotechnology 2002 20(10): 1035-1039.
- [35] STANISLAUS M A, CHENG C L. Genetically engineered self-destruction: An alternative to herbicides for cover crop systems [J]. Weed science 2002 50(6): 794-801.

(上接第 40 页)

## 科技论文写作规范——作者

论文署名一般不超过 5 个。中国人姓名的英文名采用汉语拼音拼写,姓氏字母与名字的首字母分别大写;外国人姓名、名字缩写可不加缩写点。