

循环农业中畜禽粪便的资源化利用现状及展望*

吴景贵**, 孟安华, 张振都, 张大瑜
吉林农业大学资源与环境学院, 长春 130118

摘要: 文中概述了循环农业中畜禽粪便的资源化利用现状, 涉及的利用技术包括畜禽粪便的干燥处理技术, 好氧堆制技术、厌氧发酵技术、诊断施用技术、动物消化分解处理技术、饲料化再利用技术、资源化再利用技术等。分析了循环农业中畜禽粪便资源化利用存在的问题, 探讨了解决问题的途径。

关键词: 循环农业; 禽畜粪便; 资源化利用

中图分类号: S816.69

文献标识码: A

文章编号: 1000-5684(2011)

DOI:

网络出版地址:

Present of Situations and Prospects for Resource Utilization of Livestock and Poultry Feces in Recycling Agriculture

WU Jing-gui, MENG An-hua, ZHANG Zhen-du, ZHANG Da-yu

College of Resources and Environment, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China

Abstract: The research and application about technologies and methods of resource utilization of livestock and poultry feces in recycling agriculture were reviewed, including livestock and poultry feces drying technique, aerobic composting technology, anaerobic fermentation technology, diagnostic application technique of livestock and poultry manure, technology for animal digestion and decomposition and technology of the re-use as feed or as energy. Problems of and solutions to resource utilization of livestock and poultry feces of recycling agriculture were also discussed.

Key words: recycling agriculture; livestock and poultry feces; resource utilization

目前, 我国农业正从传统的“资源——产品——废弃物”的线性生产方式向“资源——产品——废弃物——再生资源”的循环农业方式转变。循环农业实质上是将农业清洁生产与废弃物资源化利用有机结合, 最大限度地提高农业资源的利用效率, 以推进农业和农村经济可持续发展。发展循环农业是解决农业资源环境问题的客观需要。废弃物利用重点涉及作物秸秆、畜禽粪便、农村有机生活垃圾等的资源化利用问题。农业废弃物在循环农业生态链条中的增益化利用, 不仅提高了资源利用率, 还能实现经济、生态和社会效益的统一。在循环农业中, 废弃物的资源化利用是这个循环非常重要的环节, 尤以畜禽粪便的无害化处理和资源化利用最为关键。

畜禽粪便的成分非常复杂, 除了含有多种营养元素外, 还含有许多病原菌、寄生卵虫、重金属等, 并且容易产生温室气体和有害气体。由于缺乏有效的管理和科学的处理技术, 我国许多地区的畜禽粪便已

造成了严重的环境污染。有预测2020年中国畜禽粪便每年排放总量将达到42.44 亿t^[1], 随着中国养殖业的进一步发展, 畜禽粪便造成的环境污染将会更加严重。畜禽粪便的资源化利用是目前亟待解决的问题, 也是循环农业能否良性运转的关键所在。近年来, 随着相关研究的深入, 从防止污染和提高废弃物资源化和增益化的效率出发, 畜禽粪便在循环农业中利用的技术手段和方法有了较快的发展。现对国内外循环农业中畜禽粪便的资源化利用现状和进展情况作以概述, 旨在为我国循环农业中畜禽粪便的资源化利用研究提供参考。

1 畜禽粪便资源化利用的技术

1.1 干燥处理技术

干燥法是循环农业畜禽粪便资源化利用常用的方法, 此方法主要是利用热效应和喷放机械使畜禽粪便脱

* 基金项目: 农业部“现代农业(肉牛) 产业技术体系专项基金”项目 (MATS2Beef Cattle system), 国家科技支撑计划项目 (2007BAD89B06), 吉林省科技发展项目 (20060212), 长春市科技局项目 (2009098)

作者简介: 吴景贵, 男, 博士, 教授, 研究方向: 土壤环境优化机理与废弃物资源化研究。

收稿日期: 2010-06-21 网络出版时间:

** 通讯作者

水干燥,既除臭又能彻底杀灭虫卵,达到卫生防疫和生产商品肥料的要求。目前采用的干燥技术分为自然干燥、高温快速干燥、微波烘干和烘干膨化处理技术^[2-6]。

1.1.1 日光自然干燥 日光自然干燥是利用阳光照射畜禽粪便进行干燥处理,经此处理后的畜禽粪便可作为饲料或肥料。该法投资小,成本低,但处理规模小,耗时长,影响肥效,且处理过程中有氨气等臭气产生,污染环境^[2-3]。

1.1.2 高温快速干燥 高温快速干燥是利用机械进行粪尿的固液分离和烘干,并生产有机肥料,这是中国目前处理畜禽粪便较为广泛采用的方法之一。其优点是不受天气影响,能大批量生产,干燥快速,可同时达到去臭、灭菌、除杂草等效果。但是这种方法存在一次性投资较大、能耗较大、烘干机排出的臭气又产生二次污染以及处理温度高、肥效差等缺点^[4]。

1.1.3 微波烘干技术 微波烘干技术则是利用微波产生高温,迅速使湿畜禽粪中水分降到13%以下的处理方法,在干燥过程中可以达到消毒、杀灭细菌、消除臭味的效果,但是,这种方法养分损失较大,成本较高^[5]。

1.1.4 烘干膨化处理 烘干膨化处理是利用热效应和喷放机械效应2个方面的作用使畜禽粪便膨化、疏松,既除臭又能彻底杀菌、灭虫卵,达到卫生防疫和商品肥料、饲料的要求。该方法的缺点是一次性投资较大,烘干膨化时耗能较多,特别是夏季保持鸡粪新鲜较困难,大批量处理时仍有臭气产生,且成本较高,从而导致该项技术的应用受到限制^[6]。

1.2 好氧堆制技术

好氧堆肥是在人为控制堆肥因素的条件下,根据各种堆肥原料的营养成分和堆肥过程中对混合堆料中碳氧比、颗粒大小、水分含量和pH值等的要求,将计划中的各种堆肥材料按一定比例混合堆积,在好氧或者好氧—厌氧交替的条件下,对粪便进行腐解,进而制成有机肥^[7-10]。快速好氧堆肥技术需要采用机械通风、翻堆和提高发酵温度,同时放入加速发酵的微生物菌种^[11-12]和调理剂等^[13-14]。

陈志宇等^[15]研究指出好氧堆肥过程中的主要影响因素包括:通风、温度、填充料的选择、堆料含水率、适宜的碳氮比和pH值。Sundberg等^[16]研究指出当pH<6时,会严重降低微生物的呼吸作用,抑制堆肥反应的进行。Huang等^[17]研究指出采用强制通风与机械翻堆相结合的通风方式有利于水溶性碳的分解和固相碳氮比的降低,加快堆肥腐熟。以畜禽粪便为主要原料进行堆肥,由于其含水率太高等原因,前处理主要是调整水分和碳氮比,有时需添加菌种和酶制剂,

以促进发酵过程正常进行。人工添加高效微生物菌剂的目的是调节菌群结构,提高微生物活性,从而提高堆肥效率,缩短堆制周期,提高堆肥质量^[18]。王玉军等^[19]研究指出添加微生物菌剂处理鸡粪和玉米秸秆混合有机物料,不仅加快了分解速度,而且促进了氮素的积累,比未添加菌剂处理的全氮增加了5.4%。林先贵等^[20]研究指出施用经微生物菌剂发酵的畜禽粪便制备的有机肥较非菌剂发酵的有机肥更能促进作物生长,增加产量,提高抗病性,改善作物品质。好氧堆肥可分为好氧静态堆肥(包括自然堆肥、静态供氧堆肥、机械翻堆堆肥和容器堆肥)和动态堆肥发酵(包括转筒式堆肥和生物发酵塔)。

1.3 厌氧发酵技术

由于养殖业废水属于高有机物浓度、高N、P含量和高有害微生物数量的“三高”废水,对于养殖场这种高浓度的有机废水,采用厌氧消化工艺可在较低的运行成本下有效地去除大量可溶性有机物。陈彪等^[21]根据循环经济和可持续发展的理念,提出了以固液分离机与厌氧中温发酵工艺技术相结合的规模化畜禽养殖场污水综合治理方法。试验证明,经该技术处理后,水质的COD_{Cr}为367 mg/L、BOD₅为132 mg/L、SS为169 mg/L、NH₃-N为76 mg/L,均符合国家“畜禽养殖业污染物排放标准”规定的要求,而且工程运行效果稳定,经济效益和生态效益显著。许振成等^[22]采用新型厌氧反应器技术和强化生物脱氮及硝化技术处理猪场废水,试验结果表明,新型厌氧反应器容积COD_{Cr}负荷>8kg/(m³·d),稳定运行COD_{Cr}平均去除率75%;生物脱氮及硝化采用一体式A/O反应器,缺氧段水力停留时间为1h,好氧段水力停留时间为3d,氨氮浓度<10mg/L。总出水COD_{Cr}平均550 mg/L, BOD₅平均53.0 mg/L, NH₃-N平均8.8 mg/L,总COD_{Cr}去除率87%,总BOD₅去除率96%, NH₃-N总去除率>98%。在畜禽废弃物的厌氧发酵过程中,配水比例对发酵过程有明显的影响,配水比例越大, NH₃-N氧化速度越快^[23]。同时,初始酵解条件对木质纤维降解也有很大的影响^[24]。

畜禽粪便生产沼气是利用受控制的厌氧细菌分解作用,将粪便中的有机物转化成简单的有机酸,然后再将简单的有机酸转化为甲烷和二氧化碳。沼气燃烧或发电,沼渣和沼液可以作为肥料或饲料。王真真等^[25]研究指出,反应中添加活性炭纤维载体可以显著提高牛粪厌氧消化反应器的沼气产量和COD去除率。魏世清等^[26]研究指出m(水葫芦):m(猪粪)=2:1混合厌氧发酵,沼气产量与质量较好。周岭等^[27]研究指出用2.5%的NaOH溶液处理牛粪,反应效果相对较好,与水处理组相比,产气量增加

34%。

厌氧发酵工艺虽然能接受高浓度的畜禽粪水，其出水浓度也高，但通过厌氧发酵工艺处理的畜禽粪污水很难达标排放，而且其处理能力受很多因素的影响，一次性投资大，沼气池残料难出^[28]。另外，发酵时间比较长，长达15 d，甚至1个月^[29]。随着畜禽粪便污水对环境的污染日益严重，人们对厌氧发酵处理工艺进行了大量的研究，开发了一系列新型厌氧处理反应器如UASB、UBF等^[30]，处理效率、出水效果都有所提高。目前用于处理养殖场粪污的厌氧工艺很多，其中较为常用的有：厌氧滤器(AF)、上流式厌氧污泥床(UASB)、复合厌氧反应器(UASB+AF)、两段厌氧消化法和升流式污泥床反应器(USR)等^[31]。

1.4 畜禽粪便的诊断施用技术

不同禽畜粪便的物质组成有很大差别。同时，不同禽畜粪便分解和转化过程中的中间产物也不同，而且经过不同处理后形成的有机肥的功能也有很大差异。吴景贵等^[32]对不同来源的农业废弃物腐解的过程研究表明，牛粪腐解过程中持续生成水溶性有机化合物的能力显著高于鸡粪。不同有机肥中含有的水溶性有机化合物(WOM)总量有很大差异，其中WOM含量的高低排序为牛粪>鸡粪；水溶性胡敏酸(WHA)含量为鸡粪>牛粪；而水溶性的小分子有机化合物(WLOM)含量为牛粪>鸡粪。牛粪腐解形成的碱提胡敏酸的脂肪链结构成分和碳水化合物成分含量较高。鸡粪腐解形成的碱提胡敏酸缺乏脂肪链结构成分，碳水化合物成分含量较高。

K L Bailey等^[33]研究表明新鲜猪粪中的挥发性脂肪酸具有抑制和消除植物土传病害的功能，因此将新鲜的猪粪作为肥料直接施入大田，既可为作物提供营养元素，又可消除一些土壤中的病害。同时，由于土壤本身具有很强的缓冲和自我修复功能，不同土壤的这种缓冲和修复功能也存在巨大的差别^[34-36]。因此，在农业生产中，根据不同禽畜粪便的特点，针对不同作物的生育特性及土壤缓冲和自我修复的状况，采用诊断施用技术就可大大提高这些废弃物资源化和增益化的效率，并减少相关处理的环节。再者，大量的试验结果证明^[37-41]，不同的有机肥对作物的生长发育和产品质量都有不同的影响。从改善作物品质出发，针对不同种类的作物和作物生长的不同阶段，对作物进行有机肥诊断施用，对绿色食品的生产 and 生态型循环农业的建立具有重要的意义。

1.5 动物消化分解处理技术

目前，关于蚯蚓、蝇蛆等堆腐畜禽粪便的利用研究较多^[42-45]。戴洪刚等^[42]的研究表明，蝇蛆能迅速分解鲜粪中的尿素、尿酸、吡啶等有毒气体物质，不产生对环境有害的副产品，分离鲜蛆后的下脚料无臭

味，疏松通气性好，营养肥效高，是优质的有机肥料和土壤改良剂，蛆虫则可作为水产养殖饵料。王志凤等^[43]研究指出，施用蚯蚓堆肥处理与不施肥对照比较，土壤速效N、P、K分别增加15.68、10.71、24.30 mg/kg。刘亚纳等^[44]研究指出，蚯蚓堆腐处理的猪粪，有机氮更多地转化为NO₃⁻-N，而NH₄⁺-N的含量很少，减少了氮的挥发。李辉信等^[45]研究表明，接种赤子爱胜蚓处理未腐熟牛粪比不接种蚯蚓的未腐熟牛粪或自然堆制的腐熟牛粪，显著增加了未腐熟牛粪中矿质氮和速效磷的含量，提高了碱性磷酸酶的活性，降低了微生物量碳、氮的含量和脲酶的活性。蚯蚓与堆腐畜禽粪便一同施入土壤后，还对污染土壤的修复有重要的作用^[46]。

由此可见，畜禽粪便可以经过蚯蚓、蝇蛆处理后再施用，这样能提高粪便的肥效，改良土壤结构，增加土壤透水性，防止土壤表面板结，提高土壤的保肥性。这种从整个生态系统考虑，使畜禽粪便资源化、无害化增值利用的生物方法，不仅可以解决污染问题，还能提高养殖业的经济效益。

1.6 畜禽粪便的饲料化再利用技术

畜禽粪便不仅是优质的有机肥料，而且也是畜禽较好的饲料资源。畜禽粪便中含有未消化的粗蛋白、粗纤维、粗脂肪和矿物质等，经过适当处理后，可杀死病原菌，提高蛋白质的消化率和代谢能，改善适口性，可作饲料用。

在美国用鸡粪混合垫草直接饲喂奶牛^[47]，在饲料中混入上述粪草饲喂奶牛，其结果与饲喂豆饼的饲料效果相同。此方法简便易行，效果也较好，但要做好卫生防疫工作，避免疫病的发生和传播。还可以通过自然干燥法将新鲜畜禽粪便单独或掺入一定比例的糠麸拌匀后，摊在水泥地面或塑料布上，随时翻动，让其自然风干、晒干，然后粉碎掺到其他饲料中饲喂。此法成本较低，操作简便，但受天气影响大，且易造成环境污染^[48-49]。

热喷法是将畜禽粪便经过热蒸与喷放处理，从而改变其结构和某些化学成分，并经消毒、除臭，使畜禽粪便变为更有价值的饲料。将新鲜鸡粪先晾至含水量<30%，再装入密闭的热喷设备中，加热至约200℃，压力8~15 kg/m²，经过3~4 min处理，迅速将鸡粪喷出，其容积比原来的可增大约30%^[50-51]。此法处理后，鸡粪膨松适口，有机质消化率可提高10%，并可消灭病菌，除去臭味。热喷技术投资少、能耗低、操作简便，具有广阔的利用前景。

1.7 畜禽粪便的能源化再应用技术

畜禽粪便含有丰富的纤维素资源，研究表明^[52]牛粪中纤维素含量22%、半纤维素含量12.5%。可将畜禽粪便中的木质纤维素进行预处理，然后转化为糖，进一步发酵成酒精，作为乙醇化的原料^[53]。

畜禽粪便的乙醇化利用可以替代粮食生产酒精,从而创造巨大的经济效益。但是,目前还未见投入工业化生产的相关报道^[54]。

上述的沼气化利用也是畜禽粪便资源化的一种方式,目前在循环农业中占据了相当大的比重,其也是能源环保工程的重要组成部分。采用以厌氧发酵为核心的能源环保工程,以禽畜粪便的污染治理为主要目的,以禽畜粪便的厌氧消化为主要技术环节,以粪便的资源化为效益保障,集环保、能源、资源再利用于一体,将农、林、牧、渔各业有机地组合在生态循环农业中,是畜禽粪便资源化利用主要途径的系统工程。它不但能提供清洁能源(沼气),解决中国广大农村燃料短缺和大量焚烧秸秆的矛盾,还能消除臭气、杀死致病菌和致病虫卵,解决了大型畜牧养殖场的畜禽粪便污染问题。

将畜禽粪便以无污染方式焚烧,然后发电利用,焚烧过程中产生的灰分还可以作为优质肥料。1992年,英国Fibrowatt公司用鸡粪作燃料建立了发电厂^[55]。我国福建圣农集团将谷壳与鸡粪混合物进行燃烧发电^[56],年消耗鸡粪和谷壳混合物约25万t,相当于节约8.8万t煤,既创造了经济效益、减少了环境污染,又节约了煤炭、天然气等不可再生资源。

1.8 畜禽粪便的其他利用技术

畜禽粪便在缺氧或无氧条件下热降解,最终可生成木炭、生物油等^[57]。畜禽粪便的低温慢速热裂解技术,主要用于制取活性炭产品。Lima等^[58]研究指出,鸡粪在以水蒸气为催化剂、700℃条件下进行碳化,活性炭获得率23%~37%。畜禽粪便的中温快速裂解产物以生物油为主。Schnitzer等^[59-60]研究证明,鸡粪热解产生的一级冷凝生物油富含脂族化合物,二级冷凝生物油富含杂环化合物,二级冷凝生物油比一级冷凝生物油具有较高的碳含量和热值及较低的氮含量。目前对于畜禽粪便的中温热解处理大多处于实验室研究阶段,实现工业应用还需进一步深入研究。畜禽粪便的高温闪速热裂解是在高温、高压状态下使反应物达到超临界状态液化得到高热值的生物油,此技术还存在很多困难,国外处于实验室研究阶段,国内未见相关报道。

在畜禽粪便中加入含碳量较高的稻草或秸秆调节碳氮比,再添加适当的无机肥料、石膏等,堆制后作培养基,栽培食用菌。王宇^[61]研究表明在草菇培养基中添加10%的畜禽粪便堆肥产物,可使首茬出菇产量提高24.4%。刘本洪等^[62]用鸡粪为原料发明的蘑菇专用基料,出菇整齐,与常规配料相比,商品菇比例约增高20%。

2 畜禽粪便资源化利用存在的问题

随着我国循环农业研究的拓展和深入,作为循环农业的一个重要环节,畜禽粪便的资源化处理和利用研究也得到了充分的重视,并取得了相当大的进展。有些技术已在生产上广为应用,无论在经济上还是在生态上,皆取得了良好的效益。但是,就目前的畜禽粪便的处理和利用现状而言,还远未达到令人满意的程度,并且部分地区由于畜禽养殖业规模及发展模式的变化,畜禽粪便的面源污染呈现加剧的趋势。

第一,畜禽养殖业集约化的程度越来越高,专业化特征越来越明显,导致养殖业与种植业的日益分离,循环农业的链节中断。从事养殖的不种地,粪便不能当作肥料;种地的不再从事养殖,农田靠施化肥,畜禽粪便用作农田肥料的比重大幅度下降,畜禽粪便被乱堆乱排的现象越来越普遍。

第二,畜禽养殖业从牧区、农区向城市、城镇周边大量转移,从人口稀少的偏远农村向人口稠密的城郊地区逐渐集中发展,而相应的粪便处理措施跟不上,畜禽粪便无害与资源化以及商品化处置率<5%。

第三,畜禽养殖业经营方式日益趋向多样化,公司加农户的新型经营模式正在被越来越多的地方采纳,畜禽粪便污染在许多地区以“面源”的形式出现,污染呈现了“面上开花”的现象。

第四,畜禽粪便资源化处理中,缺乏实用的、具有一定回报率的处理技术。部分养殖场虽然都不同程度地利用各种技术对其进行减量化处理、资源化利用,但是由于内部管理粗放,对于一些处理设备的投入不足,导致粪便的再利用率低,致使大量营养物质流失。

第五,我国的循环农业还处于起步阶段,成熟的循环农业生产技术比较少,发展规模小,在农业中的比重较小,未形成发展循环农业经济的良好氛围。对循环经济的发展未形成整体规划及整体效应,对资源掠夺式利用和污染环境的现象还不能得到有效遏制,尤其是在废弃物的处理和利用上效率很低。

3 对策与展望

第一,把现有的资源化技术在一定程度上进行科学组合,遵循“资源化、减量化、无害化、生态化”的原则,使畜禽粪便得到多层次的循环利用。开展循环农业生物综合利用技术研究,利用人畜粪便入池产生的沼气作燃料和照明,利用沼渣和沼液种果、养鱼、喂猪、种菜,多层次利用和开发自然资源,提高经济效益,改善生态环境。

第二,根据循环农业所在区域的特点,对不同种类的畜禽粪便,分类处理,并根据种植的作物和土壤,

进行诊断施用。在循环农业中,大力推行配方施肥、测土施肥等新方法,推广精准施肥等新技术,将微量元素与有机肥混合配方使用,同时结合其他方法,提高肥料利用率,减少环境污染。

第三,加强畜禽粪污肥料化的研究工作。尤其注重肥料的无害化、高效化、生态化等技术的研究,利用畜禽废污生产、研制对环境友好的新型肥料和新型控释肥料。这些技术完善后,引入到规模化养殖场,每个养殖场必须建立附属有机肥料厂,使有机肥料厂与循环农业链接,根据产品的去向,调整肥料产品的类型。

第四,对“公司加农户”的养殖模式,推广立体生态养殖,种植、养殖并举。以生态农业为基础,建立特色循环农业模式,建立起生物种群多、食物链结构较长、物质能量循环较快的生态系统,最大限度地减少禽畜粪便“面源”污染的程度。

第五,加强循环农业中畜禽粪便处理和利用的标准体系建设,积极推动循环农业畜禽粪便资源化和增益化技术的国内外交流与合作,引进和消化国内外先进的畜禽粪便资源化技术,推进循环农业技术创新,以降低成本。建立和完善农业和农村经济发展和资源环境保护综合评价体系,形成循环农业中畜禽粪便高效利用的技术规范。

参考文献:

- [1]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].安徽农学通报,2008,14(13):48-50.
- [2]郭云霞,黄仁录,郝庆红.畜禽粪便的无害化资源化处理技术[J].养殖与饲料,2006(12):49-52.
- [3]赵青玲,杨继涛,李遂亮,等.畜禽粪便资源化利用技术的现状及展望[J].河南农业大学学报,2003,37(2):184-187.
- [4]李庆康.畜禽粪便的无害化处理及肥料化利用[J].山东家禽,2002(4):14-161.
- [5]李淑芹,胡玖坤.畜禽粪便污染及治理技术[J].可再生能源,2003,10(1):21-23.
- [6]吴淑杭,姜震方,俞清英.畜禽粪便污染现状与发展趋势[J].上海农业科技,2002(1):9-10.
- [7]梁东丽,谷洁,高华,等.不同禽畜粪便静态高温堆肥过程中蔗糖酶活性的变化[J].农业环境科学学报,2009,28(7):1535-1540.
- [8]周海柱,王军,张涛,等.牛粪不同堆储处理方法微生物数量变化的研究[J].家畜生态学报,2010,31(2):70-72.
- [9]马迪,赵兰坡.禽畜粪便堆肥化过程中碳氮比的变化研究[J].中国农学通报,2010,26(14):193-197.
- [10]张发宝,徐培智,唐拴虎,等.畜禽粪好氧堆肥产品的理化性质及生物效应[J].广东农业科学,2008,54(5):54-57.
- [11]籍宝霞,张丽萍,程辉彩,等.低温微生物菌剂处理鸡粪研究[J].中国家禽,2009,31(18):41-43.
- [12]凌云,路葵,徐亚同.禽畜粪便堆肥中优势菌株的分离及对有机物质降解能力的比较[J].华南农业大学学报,2007,28(1):36-39.
- [13]蔡海松,陈济琛,林戎斌,等.微生态调节剂CHM-2对禽畜粪便高温堆肥的影响[J].福建农业学报,2007,22(4):360-363.
- [14]马丽红,黄懿梅,李学章,等.两种添加剂对牛粪堆肥中氮转化及相关微生物的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(1):76-82.

- [15]陈志宇,苏继影,栾冬梅.猪粪好氧堆肥的影响因素[J].畜牧与兽医,2005,37(7):53-54.
- [16]Sundberg C,Smars S,Jonsson H. Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting[J]. Bioresource Technology,2004,95:145-150.
- [17]Huang G F,Wu Q T,Wong J W C. Transformation of organic matter during co-composting of pig manure with sawdust[J]. Bioresource Technology, 2006,97:1834-1842.
- [18]汤仲恩,朱文玲,吴启堂.环境条件对猪粪好氧堆肥过程的影响[J].生态科学,2006,25(5):467-471.
- [19]王玉军,窦森,崔俊涛,等.复合菌剂对农业废弃物堆肥过程中理化指标变化的影响[J].农业环境科学学报,2006,25(5):1354-1358.
- [20]林先贵,王一明,束中立,等.畜禽粪便快速微生物发酵生产有机肥的研究[J].腐植酸,2007(2):28-35.
- [21]陈彪,陈敏,钱午巧,等.规模化养猪场粪污处理工程设计[J].农业工程学报,2005,21(2):126-130.
- [22]许振成,谏建宇,曾雁湘,等.集约化猪场废水强化生化处理工艺试验研究[J].农业工程学报,2007,23(10):204-209.
- [23]邓良伟,操卫平,孙欣,等.原水添加比例对猪场废水厌氧消化液后处理的影响[J].环境科学,2007,28(3):24-27.
- [24]喻夜兰,刘强,荣湘民,等.酒糟型生物有机肥初始酵解条件对木质纤维降解的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(3):725-731.
- [25]王真真,李文哲,公维佳.以活性炭纤维为载体厌氧处理牛粪的实验研究[J].农机化研究,2008(2):207-210.
- [26]魏世清,覃文能,李金怀,等.水葫芦与猪粪混合厌氧发酵产沼气研究[J].广西林业科学,2008,37(2):80-83.
- [27]周岭,祖鹏飞,齐军,等.不同浓度NaOH对牛粪发酵的影响试验[J].可再生能源,2006(2):46-48.
- [28]汪莉,蒲德伦,苏军.畜牧场污水的综合治理[J].四川畜牧兽医学院学报,1999,13(4):57-62.
- [29]姚向君,郝先荣.畜禽养殖场能源环保工程的发展及其商业化运作模式的探讨[J].农业工程学报,2002,18(1):181-184.
- [30]邓良伟.猪场废水厌氧消化液后处理技术研究及工程应用[J].农业工程学报,2002,18(3):92-94.
- [31]张克强.畜禽养殖业污染物处理与处置[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [32]吴景贵,吕岩,王明辉,等.有机肥腐解过程的红外光谱研究[J].植物营养与肥料学报,2004,10(3):259-266.
- [33]Bailey K L, Lazarovits G. Suppressing soil-borne diseases with residue management and organic amendments[J].Soil & Tillage Research, 2003,72:169-180.
- [34]吴清清,马军伟,姜丽娜,等.鸡粪和垃圾有机肥对苜蓿生长及土壤重金属积累的影响[J].农业环境科学学报,2010,29(7):1302-1309.
- [35]张迪,牛明芬,王少军,等.不同有机肥处理对设施菜地土壤硝态氮分布影响[J].农业环境科学学报,2010,29(增刊):156-161.
- [36]李国良,张政勤,姚丽贤,等.养殖场鸡粪在蔬菜上的合理安全施用技术研究[J].植物营养与肥料学报,2010,16(2):470-478.
- [37]龙建洪,王国书,程永君,等.不同有机肥在甘蓝上的应用效果[J].贵州农业科学,2010,38(8):48-49.
- [38]付顺,靖军领.不同有机肥对烤烟生长发育及烟叶产质量的影响[J].安徽农学通报,2010,16(7):85-86,119.
- [39]裴军,王文杰,刘文涛,等.不同种类有机肥对中烟100农艺性状和产质量的影响[J].中国烟草科学,2010,31(5):34-37.
- [40]唐莉娜,张秋芳,陈顺辉.不同有机肥与化肥配施对植烟土壤微生物群落PLFAs和烤烟品质的影响[J].中国烟草学报,2010,16(1):36-40.
- [41]王延军,宗良纲,李锐,等.不同肥料对水稻生长和土壤微生物量的影响[J].浙江农业学报,2010,22(6):834-838.
- [42]戴洪刚,唐金陵,杨志军.利用蝇蛆处理畜禽粪便污染的生物技术

[J].农业环境与发展, 2002(1): 34-35.

[43]王志凤. 利用蚯蚓处理畜禽养殖业固体废物废弃物的技术研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2007.

[44]刘亚纳, 刘会丽, 张彦, 等. 蚯蚓处理后的猪粪物质变化实验研究[J]. 河南农业科学, 2005(6): 63-65.

[45]李辉信, 胡锋, 苍龙, 等. 蚯蚓堆制处理对牛粪性状的影响[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(3): 588-593.

[46]Zachary A. Hickman, Brian J. Reid. Increased microbial catabolic activity in diesel contaminated soil following addition of earthworms (*Dendrobaena veneta*) and compost[J]. *Soil Biology & Biochemistry*. 2008, 40:2970-2976

[47]朱海生, 陈志宇, 栾冬梅. 畜禽粪便的综合利用[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2004(4): 59-60.

[48]李铁坚. 猪粪再生饲料的研究与开发[J]. 畜禽业, 2007(223):36-39.

[49]李保国, 申家龙. 干燥技术与设备在鸡粪处理中的应用[J]. 河南职业技术学院学报, 1998, 26(4): 54-57.

[50]刘燕云, 孙瑛, 于林洁. 无公害家禽养殖中鸡粪无害化处理再利用的几种加工方法[J]. 新疆畜牧业, 2008(2): 43-44.

[51]翟峰, 张勇, 高燕妮. 鸡粪再生饲料资源的开发与利用[J]. 畜禽业, 2007(215): 12-15.

[52]Liao W, Liu Y, Liu C B. Acid hydrolysis of fibers from dairy manure[J]. *Bioresource Technology*, 2006,97(14):1687-1695.

[53]凌娟, 李静, 刘茂昌, 等. 畜禽粪便污染治理的新思维[J]. 四川林业科技, 2008,29(4):99-102.

[54]张学峰, 田占辉, 丁瑜, 等. 畜禽粪便对环境的污染及解决途径[J]. 吉林畜牧兽医, 2010, 31(10):12-16.

[55] Keener K M, Shook R, Anderson K, et al. Characterization of poultry manure for potential co-combustion with coal in an electricity generation plant[C]// CIGR XV theWorld Congress . ASAE Annual International Meeting . Chicago:IllinoisUSA, 2002.

[56]李家兵, 张江山, 李小梅, 等. 生物质发电技术在治理规模化养鸡场鸡粪污染中的应用[J]. 能源与环境, 2008(2): 70-72.

[57]黄叶飞, 董红敏, 朱志平, 等. 畜禽粪便热化学转换技术的研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2008, 10(4): 22-27.

[58] Lima I, Marshall W E. Utilization of turkey manure as granular activated carbon: physical, chemical and adsorptive properties[J]. *Waste Management*, 2005, 25(7): 726-732.

[59] Schnitzer M I, Monreal C M. The conversion of chicken manure to biooil by fast pyrolysis I. Analysis of chicken manure, biooils, and char by ^{13}C and ^1H NMR and FTIR spectrophotometry[J]. *Journal of Environmental Science and Health. Part B, Pesticides, Food Contaminants and Agricultural Wastes*, 2007, 42(1): 71-77.

[60] Schnitzer M I, Monreal C M. The conversion of chicken manure to biooil by fast pyrolysis II. Analysis of chicken manure, biooils, and char by curie-point pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry (CpPy-GC/MS) [J]. *Journal of Environmental Science and Health. Part B, Pesticides, Food Contaminants and Agricultural Wastes*, 2007, 42(1): 79-95.

[61]王宇. 畜禽粪便高效堆肥技术及资源化利用[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.

[62]刘本洪, 甘炳成, 黄忠乾. 以鸡粪为原料的蘑菇专用基料及其生产方法: 中国, 200510021338.6[P]. 2006-02-22.