

# 畜禽粪便资源化利用研究进展

廖青<sup>1</sup>, 韦广泼<sup>1</sup>, 江泽普<sup>1</sup>, 邢颖<sup>1</sup>, 黄东亮<sup>2</sup>, 李杨瑞<sup>2\*</sup>

(<sup>1</sup>广西农业科学院农业资源与环境研究所; <sup>2</sup>中国农业科学院甘蔗研究中心/农业部广西甘蔗生物技术与遗传改良重点实验室/  
广西甘蔗遗传改良重点实验室: 南宁 530007)

**摘要** 规模化畜禽养殖业为社会带来巨大经济效益的同时,也带来了严重的环境污染问题。文章综合论述了我国畜禽粪便的污染现状,对近年来畜禽粪便无害化处理技术,包括肥料化技术、饲料化技术和能源化技术作了详细的论述,指出目前畜禽粪便资源化利用主要存在技术不够成熟、缺乏相应的政策支持等问题,并提出优化技术体系及加强环境保护立法的建议,为畜禽粪便资源化利用、减少环境污染提供参考。

**关键词**: 畜禽粪便; 污染现状; 污染途径; 资源化利用; 存在问题; 展望

中图分类号: X713

文献标志码: A

文章编号: 2095-1191(2013)02-0338-06

## Research progress on resource utilization of livestock and poultry manure

LIAO Qing<sup>1</sup>, WEI Guang-po<sup>1</sup>, JIANG Ze-pu<sup>1</sup>, XING Ying<sup>1</sup>, HUANG Dong-liang<sup>2</sup>,  
LI Yang-rui<sup>2\*</sup>

(<sup>1</sup>Agricultural Resource and Environment Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 53007, China; <sup>2</sup>Sugarcane Research Center, Chinese Academy of Agricultural Science/Guangxi Key Laboratory of Sugarcane Biotechnology and Genetic Improvement, Ministry of Agriculture/Guangxi Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement, Nanning 530007, China)

**Abstract**: Though mass livestock and poultry breeding brought magnificent economic benefits to the society, it made great harm to the environment. By reviewing the current status of environmental pollution caused by livestock and poultry manure in China, harm-free treatment technology for livestock and poultry manure including fertilization technology, feed processing technology and energy technology were elaborated so as to address the existing issues in this regard and provide references for resource utilization and eliminating environmental pollution through modified technical system and environment laws.

**Key words**: livestock and poultry manure; pollution status; pollution channel; resource utilization; issues; prospect

## 0 引言

随着我国畜禽养殖业快速发展,畜禽粪便已经成为我国环境的重要污染源之一。长期以来,由于我国畜禽粪便大多未经处理而直接排放,导致严重的环境污染,具体表现为:一方面,粪便中含有高浓度有机物,当其流进水体后,地表水和地下水会受到严重污染;另一方面,随意排放的畜禽粪便经过微生物发酵、氧化后产生的亚硝酸、硝酸、亚硫酸等气体会加剧局部酸雨的形成,畜禽粪便发酵产生的沼气也会促成地

球的温室效应。近年来,为积极应对全球气候变化,我国实行节能减排政策,但目前尚缺乏行之有效的对畜禽粪便资源化利用进行监督管理和扶持的政策法规,加上环境治理资金投入不足,致使我国畜禽粪便无害化、资源化利用率远低于国外畜禽粪便资源化利用水平。因此,加强畜禽养殖污染减排及资源化利用,既是对我国节能减排工作的大力支持,也是保证农牧业可持续发展 and 农畜产品安全的关键。

收稿日期 2012-09-12

基金项目 广西农业科学院基本科研业务专项项目[201020(基)]; 广西农业科学院科技发展基金项目(桂农科2012JM10)

作者简介 \*为通讯作者,李杨瑞(1957-),博士,教授,博士生导师,主要从事甘蔗科研工作 E-mail:liy@xaas.net.廖青(1981-),主要从事农田环境与生态研究工作 E-mail:liaoqing81@163.com

# 1 我国畜禽养殖业规模及粪便的污染现状

我国畜牧业生产自“菜篮子”工程实施以来有了重大转变,畜牧养殖由分散粗放向专业化、规模化、集约化方向迅速发展(张翠绵等 2004;朱启红 2007)。但其在满足人们日益增长的肉蛋奶需求的同时,畜禽粪便对环境的污染问题也日趋明显。据调查显示,1999年我国畜禽粪便产量为19亿t,为同期工业固体废物产生总量的2.4倍,在河南、湖南、江西地区这一比例甚至超过4倍,2003年全国畜禽粪便产生量约31.90亿t,为同期工业固体废物产生总量的3.2倍(王方浩等 2006) 2009年全国畜禽粪便产生量为32.64亿t,

表 1 2009年广西畜禽粪便产生量

Tab.1 Output value of livestock and poultry feces in Guangxi(2009)

畜禽种类	饲养量(×10 <sup>4</sup> )	饲养期(d)	日排粪量(kg/d)	粪便年产生量(×10 <sup>4</sup> t/年)
Animal type	Feeding amount	Breeding cycle	Feces produced per day	Annual output value of feces
猪 Hogs	3119.9	199	5.30	3290.6
牛 Cattle and buffaloes	143.0	365	30.00	1565.9
羊 Sheep and goats	205.0	365	2.60	194.5
马 Horses	2.8	365	10.00	10.2
家禽				
肉禽 Meat-fowl	59100.0	55	0.08	260.0
Poultry				
蛋禽 Egg-fowl	13700.0	210	0.15	431.6

目前,我国规模化养殖业对于畜禽粪便的综合治理和开发利用工作相对滞后,90%以上的规模化养殖场未进行环境影响评估(李晓光等 2008),全国畜禽粪便无害化与资源化及商品化处置率不到29%。畜禽粪便是造成中国农业面源污染的主要原因之一(张翠绵等 2004)。大量畜禽粪便处理不当,任意排放极易对水源、土壤、空气等造成污染,同时粪便孳生的病原菌、寄生虫卵通过传媒扩散,也会造成人、畜传染病的蔓延,从而危害人、畜健康(高定等 2006;李晓光等, 2008;朱凤连等 2008)。由于规模化养殖业的迅速发展,大量畜禽粪便直接排放成为引起农业生态环境恶化的一个主要原因(高定等 2006),因此,加强畜禽粪便的无害化处理、资源化利用研究、防止和减少畜禽粪便污染工作刻不容缓。

# 2 资源化利用是解决畜禽粪便污染的主要途径

畜禽粪便的资源化利用方式主要有肥料化、饲料化和能源化。

畜禽粪便中含有丰富的氮、磷、钾等养分(表2),此外,鸡、猪、牛等粪便中还含有丰富的蛋白质及其他微量元素,是一种优质的有机肥源。

按2003年畜禽粪便资源总量31.90亿t计,可提供氮磷钾3082万t,按鸡粪、猪粪、牛粪、羊粪4种粪便约占畜禽粪便资源的90%计,可提供氮磷钾约2800万t,约为当年氮磷钾化肥消费量的60%。此外,还提供有机

为同期工业固体废物产生总量的1.6倍(张田等, 2012)。据估算,2020年全国畜禽粪便的产生量将达到42.44亿t(朱凤连等 2008)。目前,还没有全国各地每年畜禽粪便排放量的数据,只有少量的数据可供参考,如:2001年重庆市畜禽粪尿排放量估算结果为7421万t(彭里和王定勇 2004),2002年海南省畜禽养殖粪便产生量为1402万t(周祖光 2006),2005年吉林省全年畜禽排泄物总量达4312.5多万t(王修川 2007);2006年宁夏黄灌区初步估算年产生的粪便量为289.45万t,尿液230.73万t,粪尿合计达520.18万t(丁伟等 2009)。据2010年中国农业年鉴畜禽出栏量数据估算,2009年广西主要畜禽粪便产生量为5752.8万t(表1)。

质约5000万t。因此,在目前化肥价格居高不下的情况下,利用好畜禽粪便不仅可以有效地减少化学肥料的用量,降低成本,还能增加土壤有机质,提高土壤肥力,实现减肥增效和农田可持续利用(李书田等, 2009)。

由于鸡的消化道短,加上鸡无唇、无齿、嗉囊分泌液没有消化能力,饲料通过肠道停留时间短,采食饲料中有的营养物质未被吸收即排出体外,因而鸡粪含有丰富的养分,与其他家畜家禽粪便相比养分含量居于首位。因此,鸡粪还是较好的饲料资源,可精加工后饲喂猪、牛和羊等(贾汝敏等,1999;高庆军和陈革 2000)。猪粪的产量在畜禽粪便中占的比例最大,不同地区均在50%以上,猪粪通常是产生沼气的主要原料,但由于沼气工程存在投资大、运行效益低等问题,限制了粪便制作沼气的推广,因此,畜禽粪便肥料化利用仍是世界各国处理畜禽粪便最常用的方法(江传杰等 2005)。

表 2 主要畜禽粪便中养分含量比较

Tab.2 Nutrient comparison of the main livestock and poultry feces

粪便种类	养分(%) Nutrient		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Type of animal feces			
牛粪 Cattle manure	0.3	0.3	0.2
羊粪 Sheep manure	0.7	0.5	0.3
马粪 Horses manure	0.6	0.3	0.2
猪粪 Hogs manure	0.6	0.4	0.4
鸡粪 Chicken manure	1.5	0.8	0.5

### 3 资源化处理技术

#### 3.1 肥料化技术

3.1.1 自然堆沤腐熟法 自然堆沤腐熟法是将粪便堆放入池,覆盖黑膜或秸秆,经过一段时间厌氧发酵,完全腐熟后形成有机肥后施入土壤。这种方法在偏远地区的小农场较常见,因为这些小农场远离居民区,场地宽阔,畜禽粪便基本能被消纳;另外,发酵好的肥料可以就近使用,成本低,省工省时。然而,中国集约化畜禽养殖场大多分布在城镇周边,其周围土地不足以消纳大量的畜禽粪便(李庆康等,2000)。自然堆沤腐熟法显然不能适应现代集约化畜禽养殖场的要求。

3.1.2 干燥法 (1)自然干燥:在露天或棚膜条件下,将新鲜畜禽粪便摊在水泥地面或塑料布上,利用太阳能进行干燥处理,粉碎过筛后贮存于阴凉干燥处备用。该方法具有操作简单方便、资金投入少等优点,但需占用较多场地,且阴雨雪天气下无法实施,因此仅适合农村畜禽散养户处理自家畜禽粪便,不能作为集约化畜禽养殖场的主要处理技术。(2)人工干燥:先用干燥机对畜禽粪便进行脱水处理,再利用煤、电产生的热能进行干燥,可以在较短时间内使粪便中的水分降低到18%以下。该法具有不受气候影响、干燥耗时少、能连续大批量生产、产品质量高等优点,但存在能耗较大,干燥过程散发出的 $\text{NH}_3$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、吡啶等气体易造成二次污染等缺点,在当今倡导节能、环保趋势下,该项技术的应用前景不乐观(李庆康等,2000)。

3.1.3 生物好氧高温发酵法 生物好氧高温发酵是利用中、高温好氧微生物的作用,分解不稳定的有机物,使畜禽粪便中挥发性恶臭气体减少,同时杀灭粪便中有害病原微生物,使发酵物料的物理性状明显改善。该技术方法的要点是对堆肥物料的pH、湿度、温度、C/N值等环境因子进行适当调节,使微生物能正常繁衍,并保持微生物旺盛生长态势及优势菌种的合理更替,以提高发酵效率(黄国锋等,2003)。根据设备不同,又分为塔式好氧发酵和槽式好氧发酵。塔式好氧发酵采用分层结构的矩形塔,先将新鲜畜禽粪便提升到塔顶层的承料翻板上,通过自动承料翻板定时翻动,将畜禽粪便从上层落到下层的翻板,经过大概15 d发酵结束;采用塔式好氧发酵,畜禽粪便发酵效果好,二次污染小;但塔楼主体采用钢质材料,投资成本很高,且钢质翻板长期与含有腐蚀性物质的畜禽粪便接触,容易生锈腐蚀,影响发酵塔的使用寿命(陈通,2005)。槽式好氧发酵是将新鲜畜禽粪便与其他填充物料置于半封闭发酵槽中,利用机械搅拌机的翻动作用,使空气与物料充分混合;搅拌机可使进入槽内的空气很好地获得破碎和分布,以增加槽内空气与物料接触面积而有利于氧气传递和发酵物混合;同时翻动物料时,发酵产生的热量有利于水分快速蒸发,缩短

发酵周期。槽式好氧发酵法在发酵初期无需对原料进行预混合,操作简便,节省能源,处理成本低,从而提高了畜禽粪便无害化处理的效率;槽式好氧发酵法还具有生产能力强,占地少,设备操作方便、使用寿命长,不存在二次污染问题等优点(陈通,2005;黄海龙等,2007)。

生物好氧高温发酵是一种受微生物控制的有机物降解和转化过程。在发酵过程不同阶段对有机物降解起关键作用的微生物种群不同。接种菌剂可以使物料快速达到高温而控制发酵过程中臭气的产生,缩短物料腐熟进程,可以有效杀灭病原体 and 降解有机污染物,提高发酵质量,发酵产物含有生物活性的微生物,作物增产效果显著(冯宏和李华兴,2004)。因此,在实际生产中,通常加入高效的发酵菌,提高物料转化率,以获得最佳的发酵效果(冯宏和李华兴,2004;胡菊等,2006;何志刚和孙军德,2007)。目前,在所有畜禽粪便处理和利用方式中,生物好氧高温发酵以其无害化程度高、发酵时间短、产品腐熟程度高、处理规模大、运行成本低、适于工厂化生产等优点而成为国内外首选处理方式,尤其是在德国、日本等国该技术已相当成熟(陈梅雪等,2005;汪建飞等,2006;孟晓静等,2012)。

#### 3.2 饲料化技术

研究表明,风干鸡粪中蛋白质含量为24%~30%,猪粪为3.5%~4.10%,羊粪为4.10%~4.70%,牛粪为1.7%~2.3%(张先明和季慕寅,2002)。畜禽粪便特别是鸡粪中因含有大量未消化的粗蛋白、粗纤维、粗脂肪、B族维生素、矿物质及一些促进动物生长的未知因子等,经过加工处理可成为非常规饲料资源(郭云霞等,2006)。目前用畜禽粪便直接作为饲料主要是鸡粪,经加工处理后可用于饲喂猪、牛、羊等。此外,也有畜禽粪便经生物发酵后用于养殖鱼类、黄粉虫、蝇蛆、蚯蚓的报道(邹优敬,2001;戴洪刚等,2002;孙振钧,2004)。蝇蛆、蚯蚓又是很好的动物性蛋白质饲料,是饲养鸡、鸭、鱼以及珍稀动物的极好饲料。因此,利用蝇蛆、蚯蚓分解畜禽粪便,既能提供动物性蛋白质,又能处理畜禽粪便,是一种良性的生态循环(邹优敬,2001)。

由于畜禽粪便的适口感差、能量低、含有病原微生物,而且很多畜禽饲料添加有各种化学添加剂,经畜禽消化后仍有部分残留在粪便中,将其再用作饲料可能会出现有害物质超标,导致动物中毒等问题,因此目前欧美、日本等经济发达地区和国家不主张使用畜禽粪便作饲料(朱凤连等,2008)。而利用养殖蝇蛆、蚯蚓等方式处理的畜禽粪便数量有限,且不能有效解决臭味问题,因此饲料化技术作为解决畜禽粪便污染可行性不高。

#### 3.3 能源化技术

3.3.1 厌氧发酵产沼气 利用畜禽粪便生产沼气,是一种处理畜禽粪便的有效技术(闵师界等,2011)。畜禽粪便厌氧发酵后产生的沼气,不仅能提供清洁能源,还能消除臭味、杀死致病微生物和寄生虫卵,减少畜禽粪便污染(彭武厚等,1998)。另外,沼渣沼液还可作为有机肥料、食用菌基质、饲料或饲料添加剂加以利用。目前,国内厌氧发酵技术已经成熟,很多地方已经建立了沼气池。但该法处理畜禽粪便的一次性投资大,沼气出产率低,且对操作技术要求高,同时受集约化畜禽场远离居民区等条件的制约(宋彦勤等,2002)。

3.3.2 燃烧产热 直接燃烧产热的方法适用于草原上相对干燥的动物粪便。对于集约化养殖场来说,由于粪便中含水量高,难以燃烧。因此,这种方法对于解决畜禽粪便而言局限性较大,难以推广(郭云霄等,2006)。

## 4 畜禽粪便资源化利用存在的主要问题和建议

### 4.1 存在的主要问题

4.1.1 技术不够成熟 畜禽粪便资源化利用技术主要有肥料化技术、饲料化技术和能源化技术,但由于畜禽粪便作为饲料使用存在很多安全隐患,已不宜提倡饲料化技术处理。生物好氧高温发酵生产有机肥和厌氧发酵产生沼气仍是国内外畜禽粪便资源化处理的首选方法,但目前在我国这两种技术还不是十分完善,如生物好氧高温发酵技术仍存在氮素损失大、易产生氨污染、发酵热量不能充分利用等问题;厌氧发酵技术仍存在沼气出产率低、污水难达标排放、能耗大、处理成本高等问题。如果这些难点不能克服,畜禽粪便资源化利用技术在实际应用中很难产生经济效益。

4.1.2 缺乏相应的政策支持 缺乏相应的政策支持和引导是影响和制约畜禽粪便资源化利用的一个重要因素(陈通,2005)。我国现有畜禽污染防治政策、法规很不完善,一般是以倡导性的条文为主,缺乏监督管理机制,可操作性不强,导致政策、法规不能有效落实。

### 4.2 建议

4.2.1 技术改进 针对生物好氧高温发酵和厌氧发酵存在的技术难点,近年来科研工作者们在畜禽资源化处理的技术体系上做了大量研究与创新。一方面,在原料配方上进行改进。无论是好氧发酵还是厌氧发酵,微生物活动对发酵进程起着重要作用,它能使粪便中的有机物得到快速分解,缩短发酵时间。但仅依靠粪便自身存在的微生物是远远不够的,因此在原料配方上,可以针对不同发酵物料、不同的发酵类型,接种高效微生物菌剂并添加一些有利于优势微生物扩

繁的辅料。如生物好氧高温发酵时,畜禽粪便中添加一定比例的秸秆类或锯末类辅料作为碳源和膨化剂可以促进微生物对氮的固定而减少氮挥发损失,另外添加FM菌或EM菌等高效微生物菌剂也可以加快畜禽粪便的生物降解率,缩短堆肥周期,提高堆肥氮素的含量;畜禽粪便厌氧发酵时,添加厌氧硫化细菌、产甲烷细菌、厌氧纤维分解细菌等特定的厌氧菌株能缩短发酵启动期,提高产气率。另一方面,在设备工艺上进行改进。为获得更好的发酵效果,必须要为微生物活动创造适宜的环境条件,而适宜的环境有赖于发酵设备处理系统来提供。因此,发酵设备处理系统是否完善,直接关系到发酵效果的好坏。近年来,国内外对于畜禽粪便的设备处理技术作了很大的改进。如我国从日本引进槽式翻抛发酵工艺技术,通过改良,采用了太阳能好氧发酵的综合处理技术,该系统由太阳能发酵室、电力随动装置、翻抛机、移行车和曝气系统等组成,能够充分满足微生物发酵所需的各种工艺条件,极大减少氨、氮的损失;日本最新研发出的一种堆肥好氧发酵处理技术设备,通过改良设备通风方式,由传统低压送风改为吸入送风,降低氨蒸发量,另外在堆肥下面安装排气管道,能把蒸发到大气中的氨回收作为液态肥利用,还能将其他热量送到温室作为能源使用,这套设备不但能很好地解决氮素损失大、易产生氨污染、发酵热量不能充分利用等问题,而且成本较低又能获得收益,我国镇江等地已引进这项技术开展试验工作。陈彪等(2005)提出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,经该技术处理后,沼液水质符合国家“畜禽养殖业污染物排放标准”的规定。我国农业部规划设计研究院以覆膜开敞槽生物反应器为核心,改进并优化集成现有沼气技术,自主研发出一套新型沼气规模化干法厌氧发酵技术与装备,能够实现畜禽粪便向沼气和有机肥的规模化转化,该设备具有以下优点:利用生物能和太阳能使物料达到中温厌氧发酵温度,无需外加热源;容积产气率高;自身能耗低,适合规模化生产;能直观判断发酵槽中沼气是否排空,安全性能高;采用单元化设计,可满足不同规模用量的要求;发酵残料可作为固体有机肥,无废热排出,无污水排放(韩捷等,2008)。目前该项技术已在北京建成中试工程。

4.2.2 加强环保方面的立法 在发达国家,无论是政府、行业协会还是畜禽养殖农场主,对养殖业环境保护都非常重视,政府通过严格细致的立法来防治和监管养殖污染,行业协会根据国家相关政策、法规和法律强化畜禽养殖场行业管理和技术指导,要求做到废物零排放,同时鼓励畜禽废弃物的资源化利用,对相关处理设施建设予以适当的国家财政补贴。我国可以从发达国家的成功实践中获得一些有益的启示,并

根据我国实际情况,进一步完善现有畜禽养殖业污染防治和资源化利用的政策、法规,同时要加大资金投入,通过舆论宣传、治理补贴和违规处罚等手段引导养殖业向标准化方向发展。

## 5 展望

我国是畜禽养殖大国,畜禽粪便资源丰富,蕴含着巨大的综合利用潜质。开展畜禽粪便的资源化利用技术研究并建立示范工程,不仅有利于农业的可持续发展,还是防止畜禽养殖污染,改善养殖场周边环境质量的重要措施。我国现有的多种畜禽粪便资源化利用技术中,生物好氧高温发酵生产有机肥和厌氧发酵产生沼气技术体系相对成熟,是今后养殖场进行畜禽污染治理和利用的主要技术。但目前这两种技术还不够完善,因此,要继续加强对畜禽粪便资源化利用技术的研究。一方面,通过学习、引进国外先进技术并加强自主研发,攻克了技术上的很多难点,进一步完善了畜禽粪便资源化的主要技术,一些优良技术正处在试验研究当中;另一方面,也注重探索其他畜禽粪便资源化利用新技术,比如活力发酵床技术、产氢技术、乙醇化技术等。随着技术的不断发展,利用先进的畜禽粪便处理技术处理规模化养殖场的畜禽粪便,可以真正实现无害化、减量化和资源化。

### 参考文献:

- 陈彪,陈敏,钱午巧,翁伯琦,徐庆贤. 2005. 规模化养猪场粪污处理工程设计[J]. 农业工程学报, 21(2): 126-130.
- Chen B, Chen M, Qian W Q, Weng B Q, Xu Q X. 2005. Design of sewage treatment engineering on large-scale swine farm [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 21(2): 126-130.
- 陈梅雪,杨敏,贺泓. 2005. 日本畜禽产业排泄物处理与循环利用的现状与技术[J]. 环境污染治理技术与设备, 6(3): 5-11.
- Chen M X, Yang M, He H. 2005. The current status and treatment techniques of livestock excrement in Japan[J]. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control, 6(3): 5-11.
- 陈通. 2005. 畜禽粪便处理利用现状、问题与展望[C]. 昆明: 全国农业面源污染与综合防治学术研讨会论文集: 120-122.
- Chen T. 2005. Current status, problems and development prospects for treatment and utilization of livestock excrement [C]. Kunming: The academic symposium on national agricultural non-point source pollution and comprehensive control: 120-122.
- 戴洪刚,唐金陵,杨志军. 2002. 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, 19(1): 34-35.
- Dai H G, Tang J L, Yang Z J. 2002. The biotechnology of maggot used to treat poultry and animal feces pollution[J]. Agro-environment and Development, 19(1): 34-35.
- 丁伟,额尔和花,王天新. 2009. 宁夏黄灌区畜禽粪便排放量估算及对环境影响判断[J]. 宁夏农林科技, (2): 54-56.
- Ding W, Er E H H, Wang T X. 2009. Estimation of quantity of total excretion from livestock and poultry and environmental impact in Yellow River irrigated area of Ningxia Province [J]. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, (2): 54-56.
- 冯宏,李华兴. 2004. 菌剂对堆肥的作用及其应用[J]. 生态环境, 13(3): 439-441.
- Feng H, Li H X. 2004. The functions of microbial inoculum and its application in composting[J]. Ecology and Environment, 13(3): 439-441.
- 高定,陈同斌,刘斌,郑袁明,郑国砥,李艳霞. 2006. 我国畜禽养殖业粪便污染风险与控制策略[J]. 地理研究, 25(2): 311-319.
- Gao D, Chen T B, Liu B, Zheng Y M, Zheng G D, Li Y X. 2006. Releases of pollutants from poultry manure in China and recommended strategies for the pollution prevention [J]. Geographical Research, 25(2): 311-319.
- 高庆军,陈革. 2000. 鸡粪常规养分测定和饲喂肉猪的效果[J]. 四川畜牧兽医, 27(10): 33-34.
- Gao Q J, Chen G. 2000. Measurement of conventional nutrient of chicken manure and the effect of chicken manure utilization in swine feeding[J]. Sichuan Animal and Veterinary Sciences, 27(10): 33-34.
- 郭云霄,黄仁录,郝庆红. 2006. 畜禽粪便的无害化资源化处理技术[J]. 养殖与饲料, (12): 49-52.
- Guo Y X, Huang R L, Hao Q H. 2006. Reclamation and environmental friendly treatment technology of livestock and poultry wastes[J]. Animals Breeding and Feed, (12): 49-52.
- 韩捷,向欣,李想. 2008. 覆膜槽沼气规模化干法发酵技术与装备研究[J]. 农业工程学报, 24(10): 100-104.
- Han J, Xiang X, Li X. 2008. Technology and equipment of large scale biogas dry fermentation in membrane covered trough [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 24(10): 100-104.
- 何志刚,孙军德. 2007. 复合微生物菌剂在牛粪堆肥中的试验研究[J]. 安徽农业科学, 35(16): 4922-4933.
- He Z G, Sun J D. 2007. Experiment of compound microorganism used in cow dung compost[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 35(16): 4922-4933.
- 胡菊,秦莉,吕振宇,崔海东,陈仪,李季. 2006. VT 菌剂对鸡粪堆肥的微生物指标变化的影响[J]. 农业环境科学学报, 25(S1): 214-218.
- Hu J, Qin L, Lü Z Y, Cui H D, Chen Y, Li J. 2006. Effect of microbiological indexes of chicken manure composting with inoculation of VT microbes[J]. Journal of Agro-Environment Science, 25(S1): 214-218.
- 黄国锋,吴启堂,黄焕忠. 2003. 有机固体废弃物好氧高温堆肥化处理技术[J]. 中国生态农业学报, 11(1): 159-161.
- Huang G F, Wu Q T, Huang H Z. 2003. Aerobic and thermophilic composting technology of solid organic waste [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 11(1): 159-161.
- 黄海龙,罗建新,赵莉,肖巧琳. 2007. 畜禽粪便的环境生态效应及资源化利用[J]. 作物研究, 21(5): 771-775.
- Huang H L, Luo J X, Zhao L, Xiao Q L. 2007. Environmental eco-effects of livestock wastes and its utilization as resources [J]. Crop Research, 21(5): 771-775.
- 贾汝敏,王润莲,李新社. 1999. 鸡粪作饲料的营养价值及安全性评价[J]. 饲料研究, (10): 7-10.
- Jia R M, Wang R L, Li X S. 1999. Evaluation on nutritive value and safety of chicken dung as feed[J]. Feed Research, (10): 7-10.

- 江传杰,王岩,张玉霞. 2005. 畜禽养殖业环境污染问题研究[J]. 河南畜牧兽医, 26(1) :28-31.
- Jiang C J, Wang Y, Zhang Y X. 2005. Research on environmental pollution problems in livestock farming industry[J]. Henan Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 26(1) :28-31.
- 李庆康,吴雷,刘海琴,蒋永忠,潘玉梅. 2000. 我国集约化畜禽养殖场粪便处理利用现状及展望[J]. 农业环境保护, 19(4) :251-254.
- Li Q K, Wu L, Liu H Q, Jiang Y Z, Pan Y M. 2000. The status and outlook of treatment on excreta from intensive animal farming in China[J]. Journal of Agro-Environmental Protection, 19(4) :251-254.
- 李书田,刘荣乐,陕红. 2009. 我国主要畜禽粪便养分含量及变化分析[J]. 农业环境科学学报, 28(1) :179-184.
- Li S T, Liu R L, Shan H. 2009. Nutrient contents in main animal manures in China[J]. Journal of Agro-Environment Science, 28(1) :179-184.
- 李晓光,周其文,胡梅,张克强,黄治平. 2008. 中国畜禽粪便污染现状及防治对策[J]. 中国农学通报, 24(S) :77-80.
- Li X G, Zhou Q W, Hu M, Zhang K Q, Huang Z P. 2008. Environmental contamination situation from animal feces in China and control countermeasures[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 24(S) :77-80.
- 孟晓静,翟桂玉,尹旭升,姜慧新,刘栋. 2012. 德国畜禽粪便的资源化利用[J]. 今日畜牧兽医, (4) :61-62.
- Meng X J, Zhai G Y, Yin X S, Jiang H X, Liu D. 2012. Resource utilization of livestock and poultry manure in Germany[J]. Today Animal Husbandry and Veterinary Medicine, (4) :61-62.
- 闵师界,王蓓,吴进,邱坤,赵跃新. 2011. 养殖场大中型沼气工程发展趋势探讨[J]. 中国沼气, 29(1) :22-25.
- Min S J, Wang B, Wu J, Qiu K, Zhao Y X. 2011. Discussion on development tendency of large and medium-sized biogas project on animal farms[J]. China Biogas, 29(1) :22-25.
- 彭里,王定勇. 2004. 重庆市畜禽粪便年排放量的估算研究[J]. 农业工程学报, 20(1) :288-292.
- Peng L, Wang D Y. 2004. Estimation of annual quantity of total excretion from livestock and poultry in Chongqing Municipality[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 20(1) :288-292.
- 彭武厚,胡文英,李新吾. 1998. 厌氧消化法处理畜禽粪的研究[J]. 中国沼气, 16(1) :15-17.
- Peng W H, Hu W Y, Li X W. 1998. Studies on anaerobic digestion of livestock excrement[J]. China Biogas, 16(1) :15-17.
- 宋彦勤,胡润青,李俊峰,王仲颖,时璟丽. 2002. 利用沼气技术治理大中型畜禽场污染[J]. 中国能源, 24(12) :16-18.
- Song Y Q, Hu R Q, Li J F, Wang Z Y, Shi J L. 2002. Apply biogas technology to harness animal farms pollution[J]. Energy of China, 24(12) :16-18.
- 孙振钧. 2004. 蚯蚓反应器与废弃物肥料化技术[M]. 北京:化学工业出版社, 259.
- Sun Z J. 2004. Earthworm Reactor and the Technique for Fertilizer Recycling of Waste[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 259.
- 王方浩,马文奇,龚争霞,马林,刘小利,许俊香,张福锁. 2006. 中国畜禽粪便产生量估算及环境效应[J]. 中国环境科学, 26(5) :614-617.
- Wang F H, Ma W Q, Dou Z X, Ma L, Liu X L, Xu J X, Zhang F S. 2006. The estimation of the production amount of animal manure and its environmental effect in China[J]. China Environmental Science, 26(5) :614-617.
- 汪建飞,于群英,陈世勇,段立珍. 2006. 农业固体有机废弃物的环境危害及堆肥化技术展望[J]. 安徽农业科学, 34(18) :4720-4722.
- Wang J F, Yu Q Y, Chen S Y, Duan L Z. 2006. Research on the damage from the solid agricultural waste to environment and compost technique[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 34(18) :4720-4722.
- 王修川. 2007. 吉林省畜禽粪便污染及其综合防治对策[J]. 环境科学与管理, 32(12) :168-171.
- Wang X C. 2007. The province livestock excrement of Jilin pollute and it synthesizes the prevention and cure counterplan[J]. Environmental Science and Management, 32(12) :168-171.
- 张翠绵,王占武,李洪涛. 2004. 固态畜禽废弃物利用现状及发展对策[J]. 河北农业科学, 8(2) :100-103.
- Zhang C M, Wang Z W, Li H T. 2004. Current situation and future approaches of solid animal waste utilization[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 8(2) :100-103.
- 张田,卜美东,耿维. 2012. 中国畜禽粪便污染现状及产沼气潜力[J]. 生态学杂志, 31(5) :1241-1249.
- Zhang T, Bu M D, Geng W. 2012. Pollution status and biogas-producing potential of livestock and poultry excrements in China[J]. Chinese Journal of Ecology, 31(5) :1241-1249.
- 张先明,季慕寅. 2002. 畜禽粪便的营养与处理及其应用[J]. 芜湖职业技术学院学报, 4(1) :23-24.
- Zhang X M, Ji M Y. 2002. Nutrition, processing and application of animal manure[J]. Journal of Wuhu Vocational Institute of Technology, 4(1) :23-24.
- 周祖光. 2006. 海南省畜禽养殖污染及其治理分析[J]. 生态环境, 15(4) :885-888.
- Zhou Z G. 2006. The pollution from domestic animal breeding and its control in Hainan province[J]. Ecology and Environment, 15(4) :885-888.
- 朱凤连,马友华,周静,关静,梁家妮,赵艳萍. 2008. 我国畜禽粪便污染和利用现状分析[J]. 安徽农学通报, 14(13) :48-50.
- Zhu F L, Ma Y H, Zhou J, Guan J, Liang J N, Zhao Y P. 2008. Analysis on present situation of pollution and utilization of animal excrement in China[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 14(13) :48-50.
- 朱启红. 2007. 畜禽粪便的综合利用[J]. 农机化研究, (8) :236-238.
- Zhu Q H. 2007. The comprehensive utilization of livestock and poultry dung[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, (8) :236-238.
- 邹佑敬. 2001. 蝇蛆、蚯蚓养殖场参观记[J]. 广西畜牧兽医, 17(3) :35-37.
- Zou Y J. 2001. Visiting report on the maggot and earthworm farms[J]. Guangxi Journal of Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 17(3) :35-37.

(责任编辑 汪羽宁)