

## 畜禽粪便热化学转换技术的研究进展

黄叶飞, 董红敏, 朱志平, 陶秀萍, 黄宏坤

(中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 农业部畜牧环境设施设备质量监督检验测试中心,  
农业部农业环境与气候变化重点实验室, 北京 100081)

**摘要:** 畜禽粪便污染环境的问题日益突出, 但畜禽粪便同时也是一种生物质能源。为探索畜禽粪便能源化途径, 详细介绍了畜禽粪便热化学转换技术的国内外研究现状, 讨论了直接燃烧、热裂解、液化、气化各种热化学转换技术的优势和劣势。由于气化技术相对成熟且设备投资相对较低, 使畜禽粪便气化具有一定的应用前景, 建议开展畜禽粪便气化设备、参数优化和气化对环境影响的研究。

**关键词:** 畜禽粪便; 生物质能; 热化学转换; 气化

**中图分类号:** TK6      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1008-0864(2008)04-0022-06

## A Review on Thermo-Chemistry Conversion of Animal Manure

HUANG Ye-fei, DONG Hong-min, ZHU Zhi-ping, TAO Xiu-ping, HUANG Hong-kun

(Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences,  
Animal Environmental Facility Surveillance, Inspection and Testing Center (MOA), Key Laboratory for  
Agro-Environment and Climate Change, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Animal manure is one of the important resources of biomass energy, although the issue of environmental pollution caused by animal manure has become serious. To explore the possibility of the innovative approach to convert manure into energy, this paper introduced the research statues of technology on thermo-chemistry conversion (TCC) of animal manure abroad and at home, discussed the advantages and disadvantages of different TTC technologies including direct combustion, pyrolysis, liquefaction and gasification. Gasification is one of the attractive options with its relative low investment and wide application in straw biomass utilization. To speed up the improvement and its application of gasification in manure area, studies of gasification equipment, parameters optimization and environmental impact for animal manure are recommended.

**Key words:** animal manure; bio-energy; thermo-chemistry conversion; gasification

联合国粮食及农业组织的报告“畜牧业是对环境的一大威胁”<sup>[1]</sup>指出:“全球畜牧部门发展迅速,其速度超过任何其他农业部门,这种快速增长要求付出昂贵的环境代价。”据估计,我国畜牧业每年产生的畜禽粪便约 26 亿 t, 由于缺乏有效的管理和处理利用技术, 畜禽粪便已经成为主要的污染源之一, 因而对畜禽粪便进行无害化处理和资源化利用已迫在眉睫。

畜禽粪便是一种生物质能源, 以干物质计算的 1 t 畜禽粪便, 其能量相当于 0.375 t 标准煤<sup>[2]</sup>。涂德浴等<sup>[3]</sup>以空气气化过程作为分析对

象, 通过对能量输入与产出的理论分析, 认为用气化技术处理畜禽粪便的能量转化效率可达到 50% 左右。同时, 与植物类生物质相比, 畜禽粪便没有季节性, 且规模化养殖场粪便集中, 以畜禽粪便作为生物质进行能源化利用, 原料供应更为稳定。生物质能源化利用过程中除了具有低 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 和灰尘排放的特性外, 其对环境的最大贡献在于具有 CO<sub>2</sub> 零排放的特点<sup>[4]</sup>。

然而, 目前畜禽粪便的能源化利用的主要方式是沼气处理利用, 但能源化比例较小, 仅为 5% ~ 10%。如能将畜禽粪便的能量高效充分地利用

收稿日期: 2008-05-27; 修回日期: 2008-06-27

基金项目: 国家科技支撑计划项目“畜禽养殖污染物减排和废弃物资源循环利用技术与示范”资助。

作者简介: 黄叶飞, 硕士研究生, 主要研究方向为废弃物处理与资源化利用。通讯作者: 董红敏, 研究员, 博士生导师, 主要从事畜禽养殖环境工程研究。E-mail: donghm@mail.caas.net.cn

起来,转换成高品位的电、热、气和油等,对于开辟新的能源原料,促进环保效益及生态的良性循环,实现畜牧业可持续发展,缓解日益严重的温室效应有着特殊的意义。

## 1 畜禽粪便热化学转换现状

畜禽粪便热化学转换技术是指在加热条件下,用化学手段将畜禽粪便转换成燃料物质的技术,它将低品位的生物质转化为高品位的易储存、易运输、能量密度高且具有商业价值的固态、液态和气态燃料,以及热能、电能等能源产品。畜禽粪便热化学转换技术包括直接燃烧、热裂解、气化和液化技术。1971年 White 等<sup>[5]</sup>首先开展了畜禽粪便的热化学转换研究。此后各国进行了不同类型的畜禽粪便的热转化研究。目前与植物类生物质相比,畜禽粪便的热化学转换研究还处于试验研究与示范阶段。而我国关于畜禽粪便热化学转换技术的研究最早相关报道见于何祥义等<sup>[6]</sup>的“动物粪便热解制取燃气的开发研究”,但只是根据动物粪便作为能源的价值和生物质热解气化条件,论证了动物粪便热解制燃气的可行性及发展潜力,目前研究还处于起步阶段。

### 1.1 直接燃烧

直接燃烧即粪便中的可燃成分与氧化剂进行化合反应并释放出热量的过程,其主要目的是取得热量。畜禽粪便的直接燃烧技术设备较简单且处理有效。从1992年开始,英国 Fibrowatt 公司就用鸡粪作燃料,运行 65 MW 发电机组<sup>[7]</sup>。

Keener 等<sup>[7]</sup>利用 113T 蒸汽锅炉对蛋鸡粪和煤的混烧行为进行了可行性试验研究,发现混入 20% 的鸡粪对燃烧的气体排放没有显著影响,但是由于鸡粪含有较多的碱性矿物质,使炉灰增加了约 50%,需要进一步研究由此带来的潜在的结渣问题。美国德克萨斯州农业实验站的研究人员对牛粪直接燃烧的污染气体排放、炉灰等进行了研究<sup>[8-10]</sup>,首次建立了牛粪燃烧的  $\text{NO}_x$  排放模型,发现牛粪燃烧的  $\text{NO}_x$  排放量只有燃烧天然气和煤的 20% ~ 30%,并通过热重分析发现牛粪的燃烧温度比煤低 100℃ 左右。德克萨斯州大学还相继进行了  $30 \text{ kW} \cdot \text{t}^{-1}$  和  $150 \text{ kW} \cdot \text{t}^{-1}$  煤和牛粪混燃试验,发现温室气体 ( $\text{NO}_x$ 、 $\text{CO}_2$ ) 减排的同

时,CO 的排放量有所增加。在容量为  $150 \text{ kW} \cdot \text{t}^{-1}$  且煤:牛粪为 90:10 的试验中炉灰的产量接近 100% 煤的 2 倍。由于粪便燃烧通常会造成炉灰量剧增,Meigel 等<sup>[11,12]</sup>对炉灰的粒度进行工程学的分级,并做了可塑性、压缩性、密度及含水量等研究,发现炉灰是很好的路基材料。

目前国外畜禽粪便直接燃烧技术处于大型工业化的示范阶段,研究主要集中在与其他生物质或煤的混合燃烧,污染物排放特性以及抑制碱金属在高温下结渣等问题。国内除了北方牧区利用牛粪作为燃料直接燃烧外,工业应用的研究还是空白。

### 1.2 热裂解

畜禽粪便的热裂解是指粪便在完全没有氧或缺氧条件下热降解,最终生成生物油、木炭和可燃气体的过程。一般地说,热解可分为低温慢速热裂解、中温快速热裂解和高温闪速热裂解三种方式。热解是处理固体废弃物较好的工艺之一,原料的适应性强。目前畜禽粪便的热解研究主要集中在前两种方式。

**1.2.1 低温热解** 畜禽粪便的低温慢速热裂解,主要为制取活性炭产品,有时只是作为其他处理的预处理,但都有效地减轻了畜禽粪便对环境的压力,得到了有利用价值的产物。

Shinogi 等<sup>[13]</sup>考察了奶牛粪便的碳化特性,分析了温度 (250 ~ 800℃) 对碳化物产量、表面积、总炭、总氮等的影响,发现随着碳化温度的增加,表面积、总炭和灰含量增加,pH 升高,而碳化物产量减少,温度对产品的密度没有影响。Lima 等<sup>[14]</sup>以水蒸气为催化剂在 700℃ 条件下进行了鸡粪碳化研究,最后活性炭获得率在 23% ~ 37% 之间,每 g 活性炭对  $\text{Cu}^{2+}$  的吸附率在 0.72 ~ 1.92 mmol 之间,在活性炭产品中其吸附性能是最好的。Whitely 等<sup>[15]</sup>考察了不同粒度的鸡粪在纯氮气条件下碳化时的氨释放规律,认为在低温阶段氨是由铵盐分解而来,在高温阶段则来源于有机胺化合物的分解。Qian 等<sup>[16]</sup>以  $\text{ZnCl}_2$  为催化剂对牛粪进行了碳化试验,考察了  $\text{ZnCl}_2$ :牛粪、活化温度和保持时间对碳化的影响,得到最大的吸附表面积达  $2170 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ,小孔体积达  $1.7 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ 。

**1.2.2 中温热解** 畜禽粪便的中温快速热裂解,产物以生物油为主。从 21 世纪初国外已开展了许多研究工作。

Thien 等<sup>[17]</sup>对牛粪进行了热重分析,发现牛粪与煤相比具有较低的活化能、热解温度以及较快的挥发释放速度。Kim<sup>[18]</sup>分别在 $5^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 、 $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 和 $20^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 升温速率下对鸡粪进行了热重分析,发现大部分物质在 $270\sim 590^{\circ}\text{C}$ 分解,并发现鸡粪热解主要分三个阶段,随着表观活化能从 $99\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 上升到 $484\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ,热解转化率从5%增加到95%。涂德浴等<sup>[19]</sup>利用热重-微商热重的分析方法对猪、牛、鸡和羊4种畜禽粪便的热解行为进行了研究,求出了不同畜禽粪便在相应热解条件下的反应动力学参数,结果显示,几种样品的表观活化能值都在 $100\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 以下,说明几种粪便都很容易受热分解。

Schnitzer 等<sup>[20,21]</sup>对鸡粪热解产生的生物油及焦炭进行了深入的分析,生物油的质谱和红外分析显示二级冷凝生物油与一级冷凝生物油相比具有较高的碳含量和热值及较低的氮含量。焦炭和原料鸡粪的红外谱线趋势相似,但焦炭的糖类浓度较原料鸡粪低。对生物油及焦炭的GC-MS分析发现,二级冷凝生物油富含杂环族化合物,一级冷凝生物油与焦炭富含脂族化合物,一级冷凝生物油中烷烃和烯烃的碳原子数从7到18,部分为19。

尚斌等<sup>[22]</sup>利用自行设计的一套流化床热解系统进行猪粪的热解液化试验,研究了反应温度、原料粒径、給料速率等因素对热解各产物分布的影响。结果表明热解温度对猪粪热解产物分布有较大影响,低温时,生物油产率随着温度的增大而增加,在 $450^{\circ}\text{C}$ 左右生物油产率达到最大,其值约为18.10%,超过 $500^{\circ}\text{C}$ 时,生物油产率随着温度增加而减少,气体产率增加,固体炭产率减少;粒径颗粒较小( $<1\text{ mm}$ )时,颗粒对热解产物的分布情况没有明显影响;增大原料的进料速率可以减少气相产物在高温区的停留时间,从而提高生物油产率。还发现热解主要是原料中挥发成分的析出过程,灰分和固定碳含量在热解前后没有发生变化;固体产品中TN含量远远小于原料中总量,而K、P、Cu、Zn热解后则几乎都保存在灰分中。该研究还有很多方面需要进一步深入,特别是系统的优化,产物的深入分析等。

目前对于畜禽粪便的中温热解大多处于机理研究和实验室研究阶段,国外研究比国内活跃也

较深入细致,但实现工业应用还有很多方面需要深入研究。

### 1.3 液化

畜禽粪便液化是将畜禽粪便转换成液体燃料的热化学过程,由于产物是易于运输且能量密度高的液体,有很大的发展潜力。目前主要有超临界液化和两步法液化两种处理方法。

畜禽粪便超临界液化即粪便在高温、高压(几到几十MPa)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的热化学转化过程,具有处理高含水率有机废弃物的优势,但其设备技术要求高,成本高。

畜禽粪便的超临界液化研究始于20世纪90年代的美国伊利诺斯州大学,他们对猪粪的超临界液化进行了大量的试验条件优化研究<sup>[23-25]</sup>,实验发现温度 $300^{\circ}\text{C}$ 左右,压力10MPa,停留时间15~30min条件下生物油产率最高可达80%,热值为 $32\ 000\sim 36\ 700\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,COD含量平均减少75.4%,固体产物为进料的3.3%。对产物油的初步分析显示,其水分含量为11.3%~15.8%,其成分与木材及其他生物质液化油相似,粘性和苯可溶性受操作温度和过程气的影响显著。考察 $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、空气、水蒸气作为过程气对液化的影响,发现 $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2$ 等还原性气体增加使生物油产率增加,各种气体对COD的去除效果影响不显著。对液化过程进行的能量平衡分析表明其是净能量过程。小规模连续进料实验<sup>[26,27]</sup>显示,该设备处理能力为 $48\text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$ ,已成功进行了连续16h的操作试验。

畜禽粪便两步法液化即先气化再合成液体燃料的热化学过程。Koger 等<sup>[28,29]</sup>对猪粪进行了气流携带床(BKT)初步试验。在操作温度为 $900\sim 950^{\circ}\text{C}$ ,纯 $\text{N}_2$ 为携带气体条件下进行了13次试验,但是整个系统很易堵塞,成功试验只有3次。进料要求干燥并为粉状,所以需要严格的预处理。气化系统要求 $2\sim 3\text{ MPa}$ 的高压,给进料带来了很大的困难。结果发现产生的合成气只有很少的 $\text{CO}_2$ 和 $\text{N}_2$ ,且 $\text{H}_2:\text{CO}$ 摩尔比为1.13,符合合成乙醇的要求。实验还监测了空气污染物的排放情况,发现二恶英排放量很低,按照试验模型,气化 $250\text{ kg}$ 粪便只排放二恶英 $82\ \mu\text{g}$ 。

目前畜禽粪便液化技术还处于实验室研究阶段。超临界技术主要问题是要解决连续进料的问

题以及大规模的试验、生物油的精制应用。两步法液化的研究者认为该工艺虽然产物价值高,但系统太复杂,进料和系统堵塞还存在很大问题,需要研究改进的方面还很多。国内还未见畜禽粪便液化的相关报道。

#### 1.4 气化

畜禽粪便气化是指畜禽粪便转化为气体燃料的热化学过程。该法能量利用效率较高,投资相对较小,设备技术比较简单,并且在化石燃料及其他生物质上的应用比较成熟,已有较多研究人员开展了畜禽粪便的气化研究。

Koger 等<sup>[29]</sup>对猪粪进行了成分分析及元素分析,发现猪粪硫含量很低,因而推测气化排放的硫化物污染物将会很少;对 Na、K 等碱金属物质的熔融特性进行了考察,发现在还原条件下 1 100℃ 高温不会使 Na、K 等碱金属物质软化结块,高温反而有利于消除焦油和二恶英气体,气化温度 800 ~ 1 100℃ 是比较有利的。

Koger 等<sup>[29]</sup>还分别用鼓泡流化床、BGP 气化炉进行了气化试验。利用鼓泡流化床进行的猪粪气化试验中,以氧化镁为床料,用水蒸气和 CO<sub>2</sub> 作为气化剂,在 800℃ 操作温度下进行试验,考察水蒸气与 CO<sub>2</sub> 比对气体热值及组分的影响。试验结果表明,水蒸气量从 100% 减少到 0%,产气热值从 14.1 MJ · m<sup>-3</sup> 降到 4.9 MJ · m<sup>-3</sup>, H<sub>2</sub>: CO 也从 2.1 下降到 0.2。利用 BGP 气化炉进行猪粪气化试验中,试验温度在 700 ~ 950℃,对 NO<sub>x</sub> 和 CO 的排放进行测定,认为 800℃ 是较佳的操作温度。最后固体产物对金属的回收效率分析表明,Zn、Cu 损失近一半,P、K、Ca、Mg 几乎没有损失。研究者进一步对系统进行了改进,解决了连续进料运行和热量损失严重的问题。

Priyadarsan 等<sup>[30,31]</sup>对牛粪垫草和鸡粪进行了系统的气化研究。所用设备是 10 kW 的上吸式气化炉。气化炉氧化区温度为 1 000℃ 左右,原料含水率在 10% ~ 12%,考察了原料粒径(0.5 cm、1 cm)、空气流量(1.48 ~ 1.97 kg · h<sup>-1</sup>)对气体组分和热值的影响,以及不同原料的结渣现象。结果发现粒径对气体组分和热值(4.4 ± 0.4 kJ · m<sup>-3</sup>)没有明显影响,温度基本是受床层高度的影响,氧化速率主要受气化原料灰分含量和不同空气流速的影响,Na、K 等碱金属物质容易导致炉内结渣,低灰分的生物质(垫草)适于气化,高灰

分的粪便适于和低灰分的垫草混合气化,以减小结渣的可能性。

Nakamura 等<sup>[32]</sup>利用超临界气化技术处理鸡粪,设备处理能力为 10 t · d<sup>-1</sup>,对进料含水率分别为 80%、85% 和 90% 进行试验,发现较佳的进料含水量为 80%,气化效率为 70%,1 kg 原料产出的气体热值为 14.5 MJ。但是设备投资大,运行成本高。

何小民等<sup>[33]</sup>使用 200 kg · h<sup>-1</sup> 的下吸式气化炉,在分析牛粪元素成分的基础上开展了不同运行状态、含水率(10%、20%、25%)、炉内真空度(40 mmH<sub>2</sub>O 柱、60 mmH<sub>2</sub>O 柱、80 mmH<sub>2</sub>O 柱和 100 mmH<sub>2</sub>O 柱)和不同燃料(牛粪、稻壳)时的气化特性研究,获得了相应状态下出口燃气成分和热值的变化规律。结果表明,原料含水量为 20% 时气体热值最大,且 H<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 含量最多,CO 则随着含水量的增加而增加。最佳的炉内真空度为 60 mmH<sub>2</sub>O 柱。分别以稻壳、牛粪、稻壳和牛粪的混合物(以质量比 1:1 混合)为原料进行气化研究,对应于三种燃料燃烧时的燃气成分和热值随气化运行时间的变化规律基本一致,稻壳的热值略比牛粪高。

涂德浴<sup>[34]</sup>对猪、牛、鸡和羊的粪便进行了系统的工业分析和化学组成分析,设计加工了一套气化负荷在 1 ~ 5 kg · h<sup>-1</sup> 的鼓泡流化床,对猪粪的空气气化过程展开了试验研究,考察了原料粒径、当量比和起始温度三个主要操作参数对产物分布、固体产物特性、气体产物成分、所产燃气的热值、碳转化率和气化效率等方面的影响作用,试验得出猪粪空气气化的建议操作条件为:粒径 0.5 mm,ER 为 0.15,起始温度 300℃。试验所得燃气热值在 4 000 kJ · m<sup>-3</sup> 左右,最高可达 4 777.76 kJ · m<sup>-3</sup>,气化效率最高达到 59.47%。

由于气化技术相对简单,研究较多,也比较成功,已应用各种类型的气化设备进行了试验研究,但大多只是参考植物类生物质气化经验进行,欠缺对各因素的深入分析。国外处于示范实验阶段,国内还处于实验室研究阶段,且国外的试验设备规模更大,对气化的空气污染物排放和焦渣的研究较国内开展的多。

## 2 结论

综上所述,畜禽粪便的热化学处理方法各异,

畜禽粪便热化学转换技术是一种减少畜禽粪便环境污染的有前景的处理方式,并且能够产生清洁能源,是一条具有环境和经济双重效益的有效途径。

目前研究表明,畜禽粪便的直接燃烧技术设备较简单且已经成熟,主要问题是碱金属在高温下易结渣;畜禽粪便低温热解技术主要是制取活性炭产品,多数只是作为其他处理的预处理,中温热解液化大多处于机理的研究;畜禽粪便超临界液化技术适用于畜禽粪便的高含水率的特性,但设备投资大,且技术不成熟,两步法液化也存在同样的问题;气化技术其设备工艺相对比较简单并在其他生物质上应用广泛,因而具有更好的前景。但畜禽粪便的气化研究大多停留在初步研究阶段,需要进一步对设备及运行条件进行优化研究,缺少对温室气体及其他污染物的深入分析,且畜禽粪便灰分含量较高,需要对最后焦渣的处理利用进行研究。

#### 参 考 文 献

- [1] 粮农组织新闻室. 畜牧业是对环境的一大威胁[J/OL]. <http://www.fao.org/newsroom/zh/news/2006/1000448/index.html>, 2006-11-29.
- [2] 朱锡锋. 生物质热解原理与技术[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2006, 1-12.
- [3] 涂德裕, 董红敏, 丁为民, 等. 畜禽粪便热化学转换特性和可行性分析研究[J]. 中国农业科技导报, 2007, 9(1): 59-62.
- [4] 刘荣厚, 牛卫生, 张大雷. 生物质热化学转换技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005, 1-4.
- [5] White R K, Taiganides E P. Pyrolysis of livestock manure [A]. In: *The Proceeding of 2nd International Symposium on Livestock manure* [C], 1971.
- [6] 何祥义, 郭森魁, 王华. 动物粪便热解制取燃气的开发研究[J]. 昆明理工大学学报, 1998, 23(3): 82-84.
- [7] Keener K M, Shook R, Anderson K, et al. Characterization of poultry manure for potential co-combustion with coal in an electricity generation plant [A]. In: *ASAE Annual International Meeting / CIGR XVth World Congress* [C]. Chicago, Illinois, USA, 2002.
- [8] Sweeten J M, Annamalai K, Thien B, et al. Co-firing of coal and cattle feedlot biomass (FB) fuels. Part I. Feedlot biomass (cattle manure) fuel quality and characteristics [J]. *Fuel*, 2003, 82(10): 1167-1182.
- [9] Annamalai K, Thien B, Sweeten J, et al. Co-firing of coal and cattle feedlot biomass (FB) fuels. Part II. Performance results from 30 kW/t (100 000) BTU/h laboratory scale boiler burner [J]. *Fuel*, 2003, 82(10): 1183-1193.
- [10] Annamalai K, Sweeten J, Freeman M, et al. Co-firing of coal and cattle feedlot biomass (FB) Fuels, Part III: fouling results from a 500 000 BTU/h pilot plant scale boiler burner [J]. *Fuel*, 2003, 82(10): 1195-1200.
- [11] Megel A J, Parker D B, Sweeten J M. Assessment of chemical and physical characteristics of bottom, cyclone, and baghouse ashes from the combustion of Manure [A]. In: *ASABE Annual International Meeting* [C]. Portland: Oregon, 2006.
- [12] Megel A J, Deotte Jr R E, Robinson C A. Investigation of economically viable coproducts developed from ash from the combustion of manure [A]. In: *ASABE Annual International Meeting* [C]. Minneapolis: Minnesota, 2007.
- [13] Shinogi Y, Kanri Y. Pyrolysis of plant, animal and human waste: physical and chemical characterization of the pyrolytic products [J]. *Bioresource Technology*, 2003, 90(3): 241-247.
- [14] 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.
- [15] Whitely N, Ozao R, Cao Y, et al. Multi-utilization of chicken litter as a biomass source Part II [J]. *Pyrolysis. Energy & Fuels*, 2006, 20(6): 2666-2671.
- [16] Qian Q, Machida M, Tatsumoto H. Preparation of activated carbons from cattle-manure compost by zinc chloride activation [J]. *Bioresource Technology*, 2007, 98: 353-360.
- [17] Thien B. Thermo gravimetric analyses of coal, feedlot biomass and blends in inert and oxidizing atmospheres [A]. In: *2001 International Joint Power Generation Conference (IJPGC 2001)* [C]. New Orleans, Louisiana, USA, 2001.
- [18] Kim S S, Agblevor F A. Pyrolysis characteristics and kinetics of chicken litter [J]. *Waste Management*, 2007, 27(1): 135-140.
- [19] 涂德裕, 董红敏, 丁为民, 等. 畜禽粪便的热解特性和动力学研究[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(4): 1538-1542.
- [20] 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 <sup>13</sup>C and <sup>1</sup>H NMR and FTIR spectrophotometry [J]. *Journal of Environmental Science and Health. Part B, Pesticides, Food Contaminants and Agricultural Wastes*, 2007, 42(1): 71-77.
- [21] 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.
- [22] 尚斌. 畜禽粪便热解特性试验研究[D]. 北京: 中国农业科学院研究生院, 硕士学位论文, 2007.
- [23] He B J, Zhang Y, Funk T L. Thermochemical Conversion of Swine Manure: An Alternative Process for Waste Treatment and Renewable Energy Production [J]. *American Society of Agricultural Engineers*, 2000, 43(6): 1827-1833.
- [24] He B J, Zhang Y, Yin Y. Preliminary Characterization of Raw Oil Products from The Thermochemical Conversion of Swine Manure [J]. *American Society of Agricultural Engineers*, 2001, 44(6): 1865-1871.
- [25] He B J, Zhang Y, Yin Y. Effects of Alternative Process Gases

- on The Thermochemical Conversion of Swine Manure [J]. American Society of Agricultural Engineers, 2001, 44 (6): 1873-1880.
- [26] Ocfemia K S, Zhang Y H. Development of a small-scale reactor system for the continuous hydrothermal processing of swine manure into oil [A]. In: ASAE Annual International Meeting [C]. Tampa, Florida, 2005.
- [27] Ocfemia K S, Zhang Y, Funk T, *et al.*. Hydrothermal processing of swine manure to oil using a continuous reactor system: effects of operating parameters on oil yield and quality [J]. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006, 49(6): 1897-1904.
- [28] Koger J, Wossink A, van Kempen T, *et al.*. Gasification of belt-harvested swine waste [R/OL]. <http://www.doa.state.nc.us/energy/programs/renewable/docs/ethanolswinewaste.doc>, 2004-08-27.
- [29] Koger J, Bull L, Burnette R P, *et al.*. Gasification for elimination of swine waste solids with recovery of value-added products [R/OL]. [http://www.cals.ncsu.edu/waste\\_mgt/smithfield\\_projects/phase2report05/cd,web%20files/A6.pdf](http://www.cals.ncsu.edu/waste_mgt/smithfield_projects/phase2report05/cd,web%20files/A6.pdf), 2005.
- [30] Priyadarsan S, Annamalai K, Sweeten J M, *et al.*. Co-gasification of blended coal with feedlot and chicken litter biomass [A]. In: Thirtieth International Symposium on Combustion [C]. Chicago, USA, 2004.
- [31] Priyadarsan S, Annamalai K, Sweeten J M, *et al.*. Fixed-bed gasification of feedlot manure and poultry litter biomass [J]. American Society of Agricultural Engineers, 2004, 47 (5): 1689-1696.
- [32] Nakamura A, Kiyonaga E, Miura T, *et al.*. Fundamental design of supercritical water gasification process using chicken manure [A]. In: The 8th International Symposium on Supercritical Fluids [C]. Kyoto, Japan, 2006.
- [33] 何小民, 沃丁柱. 牛粪气化性能研究 [A]. 见: 可再生能源规模化发展国际研讨会暨第三届泛长三角能源科技论坛 [C]. 南京, 2006.
- [34] 涂德浴. 畜禽粪便热解机理和气化研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 博士学位论文, 2007.

## 【新书推介】



## 《畜禽粪污的“四化”处理》

张 硕 主编

中国农业科学技术出版社

出版日期: 2007. 11

I S B N: 978-7-80233-420-5

定 价: 35.00 元

开 本: 32 开

页 数: 231 页

随着我国畜禽养殖业向着规模化、集约化迅速发展, 畜禽粪污污染问题日益严重。处置畜禽粪污、变废为宝、消除环境污染, 对保护农业、农村生态环境, 促进人与自然和谐发展, 构建资源节约型、环境友好型社会具有重要意义。

《畜禽粪污的“四化”处理》共 8 章, 分别概述了畜禽养殖业的历史、畜禽排泄物排污现状及“四化”处理现状; 介绍了生态养殖小区的模式、运作、布局、卫生设施、生产管理与组织管理基础及畜禽舍建造; 结合实际, 从“减量化、无害化、生态化、资源化”4 个方面阐述了减量化的基

本原则和技术措施, 无害化的概念、特点及技术措施, 重点介绍了干燥法、化学法、好氧堆肥发酵法和除臭技术及生态化处理的概念和模式; 还介绍了现代新技术、现代信息技术在畜禽粪污“四化”处理中的应用。

该书编写层次分明、环环相扣, 可操作性强。内容涉及畜牧、农村能源、土肥、环保、机械等多学科, 对从事上述研究的科技工作者、有机肥料企业、规模畜牧场及广大的种植户都有很好的借鉴和参考作用。