

农业生产中畜禽废弃物的资源化利用

张琳琳^{1,2} 龙顺东² 肖智华²

(¹ 力合科技(湖南)股份有限公司, 湖南长沙 410205; ² 湖南农业大学)

摘要 我国畜禽养殖业趋于集约化,造成了大量畜禽粪便的堆积。畜禽粪便富含营养元素,对其进行合理开发以防止其流失而污染环境十分必要。本文综述了农业生产中畜禽废弃物的组分特征,介绍了其资源化利用的研究进展,并针对液化技术及其产物进行了详细阐述,以期促进畜禽废弃物资源化利用和提升环境保护效益提供参考。

关键词 畜禽废弃物;组分特征;资源化利用;液化技术

中图分类号 X713 **文献标识码** A

文章编号 1007-5739(2019)21-0167-03

开放科学(资源服务)标识码(OSID)



我国是畜牧业大国的同时也是能源消耗大国,伴随经济高速发展而来的是一系列环境恶化和资源枯竭的问题。生物质热解技术虽然可以把畜禽废弃物进行高效的转化,但是转化过程往往伴随着有毒、有害物质的产生,危害环境并对人体健康造成影响。生物质中的氮含量与煤中的氮含量(0.2%~2.5%)比较接近,而且其更容易受热释放。磷是粪便中重要的营养元素,施用畜禽粪便引起农田磷素积累与流失而导致的水体富营养已引起人们的广泛关注^[1]。畜禽粪便中有很大一部分磷为水溶性磷,其结合能较弱,易流失进入水体。液化技术不但可以将生物质中丰富的氮、磷元素进行回收再利用,而且可以避免其流失到环境中造成危害。本文主要以原料和液化产物为基础,探究 2 种元素在不同温度下液化过程中的分布和转化规律,以期以后进一步研究液化产物的应用提供参考,对于畜禽粪便的资源化利用具有积极的意义。

1 畜禽粪便的综合现状

随着人均消费水平的不断提高,人们对动物源性食品的需求也越来越大,因而促进了集约化养殖业的发展。集约化养殖业因其生产效率高和低能耗的特点已经迅速成为我国农村经济的支柱产业^[2]。其带来的收益也极其可观,但与此同时,这种养殖模式也成为畜禽废弃物最大的来源。由于农村地区管理较为薄弱,没有形成专业的处理体系,再加上种植业与养殖业严重脱节,导致大量畜禽粪便随意堆积,并且在储存过程中极易流失而进入水体,导致水体恶化。据农业部统计,2017 年我国产生的畜禽粪便总量高达 35 亿 t,但是利用率却不足 60%。据研究预测,2020 年我国的畜禽粪便

排放量将会比 2017 年增加 37%,并且每年呈不断增长的趋势^[3]。因此,畜禽粪便的有效无害化处理已经成为了一个亟待解决的环境问题。畜禽废弃物的危害包括大气污染、水体污染、土壤污染以及病原微生物的危害等^[4],尤其是对水资源的污染危害更大。畜禽粪便中的氮、磷元素含量较高,丰富的氮、磷元素会随着畜禽废弃物进入地表径流,导致水体富营养化,造成巨大经济损失。当畜禽粪便施用于土壤中,氮、磷元素也会随着雨水下渗,最终污染地下水,对人们健康造成了潜在危害^[5]。据环保部门统计,畜禽废弃物中总氮年产量为 1 597 万 t,总磷年产量为 363 万 t,而且畜禽粪便进入水体流失率高达 25%~30%。然而根据海关数据统计显示,我国 2019 年 1 月氮、磷二元肥的进口量为 23 317.55 t,平均单价 436.89 美元/t。如何将粪便中丰富的氮、磷元素进行回收再利用是今后面临的一个巨大难题。

2 畜禽粪便的组分特征

畜禽粪便是一种复杂的混合物,具有某些挥发性成分^[6]。动物饮食、生长阶段和住房系统的差异导致了畜禽粪便的成分存在差异。由于动物摄入的食物、消化系统的组成和形状以及消化周期的长短不同,所以畜禽粪便的处理面临巨大的挑战^[7]。畜禽粪便中含有许多应用价值较高的化学成分和可再生能源,通过近红外反射光谱法(NIRS)评估动物粪便中的水分、有机物、干物质、氮、碳、磷和金属含量,得出我国猪粪、牛粪、鸡粪每年蕴藏的能量约为 4 400.63 TJ^[8]。

表 1 所示的是 5 种主要畜禽粪便的特征比较。其中,鸡粪的灰分和牛粪的挥发分明显高于其他畜禽粪便。牛粪的热值比较高,可适用于燃烧取热;鸡粪则相反,因为鸡粪当中

表 1 不同畜禽粪便的特征比较

畜禽粪便 种类	工业分析/%				元素分析/%					热值分析
	水分	挥发分	灰分	固定碳	C	H	O	N	S	高位热值/MJ·kg ⁻¹
猪粪	74.28~76.75	60.20~70.95	9.72~10.90	8.04	45.00~46.40	4.82~6.90	26.07~45.98	1.80~1.90	0.06~0.94	15.68~19.39
牛粪	75.56~83.30	64.09~86.29	14.80~20.78	4.50~11.68	38.06~51.43	5.06~6.72	28.15~39.59	1.74~2.29	0.18~0.52	13.56~18.40
鸡粪	68.61	48.31~57.50	32.20~35.08	7.20~13.06	26.77~35.70	3.33~5.08	15.64~30.52	2.25~3.76	0.49~0.74	13.52
马粪	75.80	64.80	16.70	10.10	45.90	6.40	35.70	1.00	0.10	18.80
羊粪	68.00	—	24.68~25.80	—	41.84~48.66	5.69	54.26	2.34~3.75	—	15.27

存在大量未被消化的粗蛋白,一般经过加工后可用作饲料^[9],然而随着饲料添加剂的滥用,将鸡粪用作饲料的风险也将大大增加。与此同时,猪粪和马粪的挥发分含量也相对较高。马厩中的马粪由粪便、稻草和尿液混合而成^[10],其通常与木屑混合通过燃烧产生热量,混合燃料的平均燃烧温度可

达到 978 ℃。然而,马粪燃烧过程会产生大量的 NO_x 和低量的 CO^[11]。猪粪是一种复杂的均匀混合物,含有纤维素、木质素、半纤维素、有机酸、无机盐、少量的硫和氮元素等,具有挥发性高、固定碳含量低的特点。根据热重分析的结果,猪粪的燃烧特性指数相对较高^[12]。因此,猪粪具有优异的燃烧性能。然而猪粪燃烧过程中会产生如 SO₂ 和 NO_x 有害气体。绵

羊和牛属于反刍动物,羊粪也具有很高的热值,但由于体积小、收集困难,羊粪很少用于燃烧产热。一般来说,羊粪广泛用于堆肥和厌氧消化^[13],但由于羊粪具有很高的氮含量,而氮在堆肥的过程中极易排放到大气中而损失,如氨(NH_3)、氮氧化物(NO_x)、氧化亚氮(N_2O)或氮气(N_2)^[14]。畜牧业是大气中 NH_3 的最大来源,约占人为排放量的79.6%。根据研究结果表明,畜禽粪便是生物质能源的重要来源。将畜禽粪便作为生物质能源进行高效转化不仅可以降低畜禽废弃物的处理成本,还大大缓解了环境压力,为人们提供清洁的能源,因而其相关研究在全国乃至全世界范围引起了广泛的关注。

3 畜禽粪便资源化利用的研究进展

堆肥技术作为一种传统的畜禽粪便处理方式已经得到广泛使用。堆肥不仅可以有效地减少粪便体积、杀灭病原菌和杂草种子,还能稳定类似腐殖质中氮的缓慢矿化。然而,堆肥不能利用畜禽粪便中的潜在能量且转化率低下。含有大部分粪便营养元素的沼气池残留物因其液态、体积大的原因而缺乏良好的运输方式,无法有效运输或施用,从而导致了粪便中营养元素的流失^[15]。因此,探索替代技术来更好地利用畜禽粪便已经成为我国的研究重点之一。理论计算表明,热化学转化比厌氧消化具有更高的生产力。动物粪肥的热化学转化技术是指在加热条件下将畜禽粪便化学转化为燃料的技术,它将低等级生物质转化为易储存、易于运输、能量密集的固体、液体和气体燃料^[16-17]。畜禽粪便热化学转化技术除燃烧外还包括热解、液化和气化。自1971年以来,怀特首先开展了使用动物粪便进行热化学转化的研究。此后,各国对不同类型的畜禽粪便进行了热化学研究。目前,一些研究人员将研究重点放在畜禽粪便热化学转化的生物炭、生物油和合成气生产上^[18],热化学转化终产物受操作温度、压力、停留时间、加热速率、原料和催化剂等因素影响。近几十年来,这些技术受到更多关注,因为生物油和合成气可用作化石燃料的可再生替代品,而生物炭作为土壤改良剂可减少肥料施用的负面影响^[16]。热化学转化技术在动物粪便处理中的应用仍处于实验室阶段,其工业应用还有待进一步研究。

4 液化技术及其产物

液化技术广泛定义为在高温(200~600℃)、高压(5~40 MPa)的液体或超临界水中的物理和化学转化。液化技术又分为两大类,即超临界液化和水热液化。生物质的超临界液化是一种低温、高压的热化学转化过程,即生物质在合适的溶剂中通过加温、加压使其转化成一些小分子碎片,然后聚合形成油状化合物(生物油)的过程,而且液化过程不受畜禽粪便含水率的影响。水热技术则是在高温、高压下,以水为液化溶剂的转化技术。这种重整生物质的热化学方法可能具有较大的优势,因为在高压下加热水时,避免了蒸汽的相变,也避免了大的焓能损失^[19]。

4.1 生物炭

生物炭是一种稳定的富碳产品,是指有机生物质在缺氧或绝氧的环境下,经高温裂解后生成的固体产物。与生物质原料相比,生物炭的稳定性、孔隙率和表面积更具优势^[20]。生

物炭的产率、物理和化学性质取决于热化学过程中的操作条件,也与原料的生物质组成密切相关。生物炭可以燃烧,但畜禽粪便液化过程中发生了能量转移,所以导致产生的生物炭热值较低,不适合燃烧产热。由于生物炭中碱金属含量高,pH值也较高^[21],它通常被用作土壤改良剂施用于酸性土壤。此外,畜禽粪便液化产生的生物炭具有很强的螯合能力和较大的孔隙结构,因而它也可以用于吸收温室气体以减轻温室效应。一些研究人员还发现,猪粪热解产生的生物炭具有很强的致突变性。生物炭通常作为许多热化学反应的副产物产生,因其富集了大量的重金属而具有一定的毒性,所以对于生物炭产品的应用还需要进行深入的探究。

4.2 生物油

生物油是指生物质在高温、隔绝氧气的条件下裂解成低分子的有机物凝结而成的液体产物,通常是深棕色、黏稠状液体,带有独特的烟熏气味。生物油的物理性质取决于其化学组成,与石油衍生的油的化学组成显著不同。生物油是数百种有机化合物组成的复杂混合物,主要包括酸、醇、醛、酯、酮、酚和木质素衍生的低聚物^[22]。作为可再生液体燃料,生物油便于储存和运输,它可以在许多应用领域中作为燃料油和柴油的替代品,包括锅炉、熔炉、发动机和用于发电的涡轮机,并且原油也可以用作生产粘合剂、酚醛树脂和香料等。虽然生物油具有较高的经济价值,也被认为是有限原油最有前景的替代能源,但基于现有的技术,生物油生产的成本较高,而且产量低、质量差^[23]。生物油中的重金属含量较高会腐蚀发动机,不能直接用于燃烧;燃烧产生的含氮化合物的比例较大,会直接污染环境;生物油的高含水量和高灰分量导致其热值很低。总而言之,生物油的应用必须经过改质加工,因而对生物油的改质和升级是以后应用过程中所关注的重点。

4.3 合成气

合成气以氢气和一氧化碳为主要成分,可由煤和生物质气化生产。因为气化的温度一般在800℃以上,所以气化相对于其他热化学反应来说能耗较高,但设备比较简单。对于畜禽粪便来说,牛粪挥发分含量高^[24],是最适合通过气化反应生产氢气的原料,但是迄今为止对于畜禽粪便液化产生的气相产物的研究并不多。

5 参考文献

- [1] ZHOU Cui, ZHANG Mingkui, FANG Liping. Effects of organic manure application on P runoff from soils with different P levels[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2006, 37(4): 706-709.
- [2] SHEN X, HUANG G, YANG Z, et al. Compositional characteristics and energy potential of Chinese animal manure by type and as a whole[J]. Applied Energy, 2015, 160: 108-119.
- [3] 袁红梅. 猪粪成分分析与热值模型的构建[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- [4] 宾慕容, 文孔亮, 周发明. 农户畜禽废弃物利用技术采纳意愿及其影响因素: 基于湖南462个农户的调研[J]. 湖南农业大学学报(社会科学版), 2017, 18(4): 37-43.
- [5] HU Y, CHENG H, TAO S J, et al. Environmental and human health challenges of industrial livestock and poultry farming in China and their mitigation[J]. Environment International, 2017, 107(11): 111-130.
- [6] GUAN T Y, HOLLEY R A. Pathogen survival in swine manure environments and transmission of human enteric illness—a review[J]. Journal of Environmental Quality, 2003, 32(2): 383-392.

- [7] COMBALBERT S, HERNANDEZ-RAQUET G. Occurrence, fate, and biodegradation of estrogens in sewage and manure[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2010, 86(6): 1671-1692.
- [8] CHEN L, XING L, HAN L. Review of the application of near-infrared spectroscopy technology to determine the chemical composition of animal manure[J]. Journal of Environmental Quality, 2013, 42(4): 1015-1028.
- [9] CHOI D, OH J I, BAEK K, et al. Compositional modification of products from co-pyrolysis of chicken manure and biomass by shifting carbon distribution from pyrolytic oil to syngas using CO₂[J]. Energy, 2018, 153: 530-538.
- [10] HADIN Å, ERIKSSON O J W M. Horse manure as feedstock for anaerobic digestion[J]. Waste Management, 2016, 56: 506-518.
- [11] LUNDGREN J, PETTERSSON E. Combustion of horse manure for heat production[J]. Bioresource Technology, 2009, 100(12): 3121-3126.
- [12] 许道军, 文利新, 薛立群, 等. 基于热重法的干清猪粪直接燃烧特性分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(5): 162-168.
- [13] ORRICO JUNIOR M A P, ORRICO A C A. Quantification, characterization, and anaerobic digestion of sheep manure: the influence of diet and addition of crude glycerin[J]. Environmental Progress & Sustainable Energy, 2015, 34(4): 1038-1043.
- [14] VELASCO-VELASCO J, PARKINSON R, KURI V. Ammonia emissions during vermicomposting of sheep manure[J]. Bioresource Technology, 2011, 102(23): 10959-10964.
- [15] HUANG Y, DONG H, SHANG B, et al. Characterization of animal manure and cornstalk ashes as affected by incineration temperature[J]. Applied Energy, 2011, 88(3): 947-952.
- [16] HE B J, ZHANG Y, FUNK T L, et al. Thermochemical conversion of swine

manure: an alternative process for waste treatment and renewable energy production[J]. Transactions of the ASAE, 2000, 43(6): 1827-1833.

- [17] RO K S, CANTRELL K B, HUNT P G, et al. Thermochemical conversion of livestock wastes: carbonization of swine solids [J]. Bioresource Technology, 2009, 100(22): 5466-5471.
- [18] IMAM T, CAPAREDA S. Characterization of bio-oil, syn-gas and bio-char from switchgrass pyrolysis at various temperatures[J]. Journal of Analytical & Applied Pyrolysis, 2012, 93: 170-177.
- [19] PETERSON A A, FRÉDÉRIC V, LACHANCE R P, et al. Thermochemical biofuel production in hydrothermal media: a review of sub- and supercritical water technologies[J]. Energy & Environmental Science, 2008, 1(1): 32-65.
- [20] BRASSARD P, GODBOUT S, RAGHAVAN V. Soil biochar amendment as a climate change mitigation tool: key parameters and mechanisms involved[J]. Journal of Environmental Management, 2016, 181: 484-497.
- [21] TAG A T, DUMAN G, UCAR S, et al. Effects of feedstock type and pyrolysis temperature on potential applications of biochar[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2016, 120: 200-206.
- [22] XIU S, SHAHBAZI A. Bio-oil production and upgrading research: a review[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012, 16(7): 4406-4414.
- [23] LU Q, LI W Z, ZHU X F. Overview of fuel properties of biomass fast pyrolysis oils[J]. Energy Conversion and Management, 2009, 50(5): 1376-1383.
- [24] XIN Y, CAO H, YUAN Q, et al. Two-step gasification of cattle manure for hydrogen-rich gas production: effect of biochar preparation temperature and gasification temperature[J]. Waste Management, 2017, 68: 618.

(上接第 163 页)

市场推广努力,为林业的发展奠定基础。

4 结语

实现现代林业的快速发展,需要依靠林业技术创新;实现林业技术创新,需要林业从业人员创新理念和提高创新能力水平。此外,还需要加大资金的投入力度,建立完善的创新体系,推动林业产业的可持续发展。

(上接第 164 页)

4 结语

国有林场是以生态公益林管护为主要经营内容的基层林业单位,在发展和成长过程中取得了巨大的成就,是我国生态安全的重要屏障及重要的后备森林资源基地和木材生产基地,国有林场可持续发展对于我国生态、经济和社会实现协调、永续发展具有重要意义,全面推进国有林场改革,对于完善和强化国有林场组织管理、加强现有森林资源保护和

(上接第 166 页)

农机使用维护技术。目前,农机技术推广人员缺口大,现有人员年龄偏高,可引导高职院校毕业生到基层技术推广岗位上就业。

农机使用人员主要为农户或农机手,随着农机的智能性与精准性越来越强,应积极加强农民的新型农业机械技术培训,提升其专业技能。这就要求当地农机主管部门加强现代农机技术的专业培训,且要以实用技术为主;也可组织农机手参与各级举办的农机职业技能竞赛等活动,如江苏省状元杯农机维修技能大赛,以赛促学,加强操作技能锻炼。

6 结语

随着农业现代化的不断推进,社会对农业机械化的需求不断提升。农机转型升级是乡村振兴战略不可或缺的重要环节。课题结合江苏省乡村振兴实施背景和农业现代化特征

5 参考文献

- [1] 赵桂茹. 浅谈强化林业技术创新及推进林业快速发展的对策[J]. 种子科技, 2017(2): 34.
- [2] 景望. 试论林业技术创新在现代林业发展中的重要性[J]. 农业与技术, 2017(20): 181.
- [3] 田国治. 浅谈林业技术创新与现代林业的发展[J]. 黑龙江科学, 2016(24): 82-83.
- [4] 李长国. 林业技术创新与现代林业的发展探索[J]. 河南农业, 2017(23): 25-26.

培育,使林场逐步形成林业产业化体系,加速国有林业产业发展,构建和谐喀左,进一步落实科学发展观有着重要意义。

5 参考文献

- [1] 黄泽辉. 新时期国有林场改革与可持续发展分析[J]. 现代园艺, 2019(6): 209-210.
- [2] 王金霞, 陈龙. 新时期国有林场改革与发展存在的问题及对策[J]. 现代农业科技, 2018(5): 159-160.
- [3] 王钰. 改革深化国有林场扛起生态重任[J]. 宁夏林业, 2017(2): 8-9.
- [4] 魏晓霞, 霍洪波, 赵鹏武, 等. 我国国有林场改革与发展探讨[J]. 林业资源管理, 2015(6): 22-27.

调研江苏省农业机械化应用和农业机械产业现状,指出江苏省农业机械化和农机制造业存在的问题,探究江苏省农业机械转型升级发展的路径并提出发展对策,以期对区域内农业机械现代化、智能化转型发展相关政策的制定提供理论依据。

7 参考文献

- [1] 翟福云. 农机购置补贴政策对江苏省农机化发展影响效率研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [2] 阿力叶·阿力甫. 昌吉市农业机械化发展研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2017.
- [3] 崔勇, 翟旭军, 朱永, 等. 智能农业装备技术对区域内农业现代化发展方式转变的影响研究[J]. 南方农机, 2018, 49(17): 22-23.
- [4] 李浩. 陕西省农机企业转型升级影响因素分析[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- [5] 中国农业部农业机械化管理局司长李伟国. 在“乡村振兴战略”实施中推进农业机械化转型升级[N]. 农民日报, 2017-11-21(004).
- [6] 江苏省农业委员会课题组. 智能农业是农业现代化的重要标志和支撑. 江苏智能农业发展专题研究[J]. 江苏农村经济, 2017(11): 7-11.