

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.05.024

畜禽养殖废弃物资源化利用技术发展分析*

李文哲 徐名汉 李晶宇

(东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 近年我国畜禽养殖业发展迅速,而养殖废弃物资源化利用技术显得相对滞后,未经处理的畜禽粪便随意堆放,造成空气、水体以及土壤的污染,危害身体健康。养殖废弃物污染防治迫在眉睫,其资源化利用是从源头上防治污染的有效手段。为此,本文对养殖业废弃物的污染状况、资源性质、技术状况等进行总结,对各种养殖废弃物资源化技术,如能源化、肥料化、饲料化等技术进行分析,从而明确我国养殖废弃物资源化利用技术的发展方向。

关键词: 畜禽养殖废弃物 资源化 厌氧发酵

中图分类号: S141.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2013)05-0135-08

Prospect of Resource Utilization of Animal Faeces Wastes

Li Wenzhe Xu Minghan Li Jingyu

(College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Compared with the rapid development of livestock and poultry farming industry in China in recent years, the recycling technology of animal faeces wastes seems to be relatively stagnant. The untreated animal faeces wastes are piled up optionally, which causes the pollution of air, water and soil even the great harm to human health. Therefore, it is urgent to prevent and control the pollution of animal faeces wastes. The resource utilization of animal faeces wastes is an effective measure to prevent and control the pollution at the source. For this reason, the pollution, the resource nature and the technical condition of animal faeces wastes were carefully combing in this writing. What's more, various recycling technologies of animal faeces wastes were analyzed, such as energy regeneration, fertilizer conversion and feed conversion. Finally, the direction for the development of resource utilization of animal faeces wastes in China was shown clearly.

Key words: Animal faeces wastes Resource utilization Anaerobic fermentation

引言

目前,我国畜禽养殖业产值已占农业总产值的34%,在某些发展快的地区,养殖业收入已占到农民收入的40%以上^[1]。养殖业的发展在提高人民生活水平、保障城乡畜禽产品稳定供应的同时,也引发了日益严重的环境问题。根据第一次全国污染源普查动态更新数据^[2],2010年畜禽养殖业主要水污染物排放量中化学需氧量(COD)、氨氮分别为当年工业源排放量的3.23倍和2.30倍。可见,畜禽养殖业废弃物已成为水体的主要污染源,同时还伴随着

大气和土壤污染,有效地处理养殖业废弃物已成为当务之急。

畜禽养殖废弃物主要包括畜禽粪便、圈舍冲洗废水等,其中畜禽粪便也是物质和能量的载体,是一种特殊形态的农业资源,例如,牛粪干物质中含粗蛋白13.74%、粗脂肪1.65%、粗纤维43.6%和无氮浸出物22.94%,合计81.93%的可利用有机物质^[3]。将其资源化利用,既可以解决目前的能源紧缺、土壤退化所面临的压力,也可以从源头上解决养殖业废弃物的污染问题,是有利于农业可持续发展的必要手段。而废水是净水在冲洗圈舍过程中产生的,可

收稿日期: 2013-01-11 修回日期: 2013-02-18

*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD15B04)

作者简介: 李文哲,教授,博士生导师,主要从事生物质能源开发与利用研究,E-mail: liwenzhe9@163.com

将水中粪便分离出去并进行相应处理循环使用。为此,各种养殖废弃物资源化技术,如能源化、肥料化、饲料化等技术开始得到广泛关注。资源化就是将畜禽粪便中的可利用物质作为原料,使其转化为方便利用的物质形态,进行科学合理地利用,从而减少或消除污染物向空气、水系以及土壤中的自然排放。本文将针对目前国内畜禽养殖废弃物污染状况、资源性质、技术状况等进行总结,分析其资源化利用存在的问题以及合理有效利用的途径,并归纳出畜禽养殖废弃物资源化利用的技术发展方向。

1 畜禽养殖废弃物的产生和污染

1.1 畜禽养殖的产污量

畜禽粪便的产量和影响一般用产污量和排污量来表达。产污量可以按照养殖种类和数量,通过关系式 $M = \sum_i^n N_i T_i E_i$ 计算。式中 M 为年产污量, n 为畜禽种类数量, N_i 为饲养量, T_i 为饲养周期, E_i 为产污系数。其中产污系数受动物种类、品种、生长阶段、饲料特性和饲养方式等因素的影响很大,并且不同的观测方法所测算的产污系数也不尽相同^[3~6],但一般工程计算时牛的产污系数大多采用 20 kg/d,这也是环保部推荐的数值。按照这样的原则确定的几种畜禽产污系数如表 1 所示,同时根据 2010 年畜禽存栏量的统计数据(表 1),经计算得到我国主要畜禽的产污量如表 1 所示。根据表 1 可知当年的产污总量,也就是畜禽排出粪尿的总和约为 24.6 亿 t,并且随着我国养殖业的进一步发展,畜禽粪便排放量还会进一步增大,由此造成的环境污染将会更加严重^[7]。

表 1 2010 年我国主要畜禽存栏量和产污量

Tab.1 Amount of livestock on hand and amount of pollution discharge in China in 2010

畜禽种类	数量/亿头(只)	产污系数/kg·d ⁻¹		饲养周期/d	产污量/亿 t	
		粪	尿		粪	尿
猪	6.668 6	2.00	3.30	199	2.654 1	4.379 2
牛	1.062 6	20.00	10.00	365	7.756 9	3.878 4
肉鸡	95.834 7	0.10		55	0.527 1	
蛋鸡	27.191 5	0.12		365	1.190 9	
羊	2.808 7	2.60	1.00	365	2.665 5	1.025 2
马	0.067 7	9.00	4.90	365	0.222 4	0.121 0
驴	0.063 9	4.80	2.88	365	0.112 1	0.067 2

1.2 畜禽养殖废弃物污染情况

根据表 1 中的产污量,计算得到几种畜禽产生的水体污染物质以及污染物质的总量如表 2 所示。如果将每年相当 5 184.7 万 t COD 的粪污全部排入

水中,将使 1 034 亿 t 水中的溶解氧消耗殆尽。当然每年的产污不可能全部排入自然水系,据统计养殖污染物进入水体流失率达 25%~30%,这个量也超过工业废水与生活废水 COD 排放量之和(1 277.54 万 t),而氮、磷流失量大于化肥流失量^[7]。同时还有致病的有害病菌及 NH₃、H₂S、CO₂ 等有害气体。目前,畜禽粪便大多未经处理直接排出养殖场外,对大气、水域及土壤造成了严重的污染,使地球生态环境恶化,对人和其它动物的生长发育产生危害^[8~9]。

表 2 畜禽粪便中污染物总量

Tab.2 Total amount of contaminants of livestock

分类	and poultry wastes					万 t/a
	COD	BOD	NH ₃ -N	总氮	总磷	
猪粪	1 380.13	1 513.63	82.28	156.06	90.50	
猪尿	394.13	218.96	61.31	144.51	22.77	
牛粪	2 404.64	1 902.77	131.87	338.98	91.53	
牛尿	232.70	155.14	135.74	310.27	15.51	
鸡粪	773.10	822.92	82.12	169.05	92.26	
总计	5 184.70	4 613.42	493.32	1 118.87	312.58	

1.2.1 对大气的污染

畜禽养殖业是恶臭污染的主要来源,其恶臭排放不仅影响空气质量,而且影响人畜健康^[10]。畜禽养殖废弃物对空气的污染物主要以氨、硫化氢、硫醇类、粪臭素为主^[11~12]。氨主要是由细菌和酶分解粪尿产生,它刺激人和动物上呼吸道,导致上呼吸道粘膜充血。氨的反应产物还是吸入性气溶胶 PM_{2.5} 的主要成分,据测美国有近 50% 的 PM_{2.5} 为氨的衍生物硫酸铵^[3,9];硫化氢主要来自于新鲜粪便、含硫有机物厌氧降解,硫化氢危害人畜眼睛,高浓度时可引起人畜中毒甚至死亡^[11]。硫醇类和粪臭素主要由微生物分解粪尿中的有机物质产生,一般无毒性,但有强烈的臭味,长时间吸入会导致呼吸受到抑制而引起慢性中毒。在这些恶臭气体中,氨气和硫化氢对人畜影响最为严重。臭气的浓度主要与粪尿中磷酸盐及氮含量成正比,一般鸡粪高于猪粪,猪粪高于牛粪。此外,畜牧养殖场恶臭强度的扩散范围与养殖场的规模、生产管理方法、温度、风力等因素均有关,一般扩散范围在 100~1 000 m^[12]。

1.2.2 对水体的污染

畜禽粪便对水体的污染主要为有机物污染、病原菌污染、有毒有害物污染^[13]。可以通过地表径流污染地表水,也可以通过土壤渗入地下污染地下水^[14]。水中过多的氮磷会使水体富营养化,引起藻类疯长,争夺阳光、空气和氧气,最终将使水体变黑发臭,导致鱼类及水生物死亡,并影响沿岸的生态环

境。畜禽粪便过量施用于农田, 残留土壤中的 N、P 等物质渗入地下水, 将导致地下水中 NO_2 、N、 NO_3 浓度升高, 人若长期或大量饮用, 可能诱发癌症^[15-17]。另外畜禽粪便中含有大量的病原微生物、寄生虫卵以及孳生的蚊蝇, 使环境中的病原种类增多、菌量增大, 出现病原菌和寄生虫的大量繁殖, 造成人、畜传染病的蔓延, 尤其是人畜共患病时会发生疫情, 给人畜带来灾难性危害^[18]。笔者所在课题组曾对养殖比较集中的村屯进行过水质调查, 结果如表 3 所示。根据国家生活饮用水卫生标准 GB 5749—2006, 饮用水中一般细菌应在 100 CFU/mL 以下, 而且饮用水中不能有大肠杆菌群和大肠杆菌。

表 3 某村屯地表水和地下水的病原菌数量

Tab. 3 Quantity of pathogen in surface water and ground water of a countryside CFU/mL

项目	地下 30 m	地下 120 m	自来水	村屯周	粪堆周边
	井水	井水	管道水	边池水	流水
一般细菌	1×10^3	10	1×10^3	1×10^4	1×10^5 以上
大肠杆菌群	4×10^2	未检出	2×10^2	5×10^2	1×10^4
大肠杆菌	未检出	未检出	10	20	40

1.2.3 对土壤的污染

畜禽粪便中含有大量的钠盐和钾盐, 如果直接用于农田, 过量的钠和钾通过反聚作用而造成某些土壤的微孔减少, 使土壤的通透性降低, 破坏土壤结构。另外, 现在的畜禽饲料中通常含有一定量的铜、砷、锌等微量元素添加剂。一般认为当土壤中铜和锌分别达到 100 ~ 200 mg/kg 和 100 mg/kg 时, 即可造成土壤污染和植株中毒。一个万头猪场 5 ~ 8 年就可能排出 1 t 以上的砷, 当土壤中砷酸钠加入量为 40 mg/kg 时, 水稻减产 50%, 达到 160 mg/kg 时, 水稻不能生长, 当灌溉水中砷含量达到 20 mg/kg 时水稻颗粒无收^[14, 19-20]。

2 畜禽养殖废弃物资源化技术

表 2 是将 COD、TN、TP 等以污染物质的形式给出, 但实际上它们也是农业生产的重要资源, 将其有效利用是农业可持续发展的重要保障, 目前畜禽养殖废弃物资源化利用技术主要有能源化、肥料化、饲料化等三方面。

2.1 能源化技术

能源化技术主要有直接燃烧、致密成型燃料、沼气化利用等技术^[21-23]。直接燃烧是将纤维含量很高的牛粪或马粪经自然风干后直接当作燃料, 用于炊事和取暖, 这种方式通常适用于牧区草原。另外, 对鸡粪的成分和燃烧特性测试表明, 其低位发热量平均值为 10.45 MJ/kg。美国本森公司以鸡粪为原

料发电, 年消耗 70 万 t 鸡粪, 发电 55 MW。鸡粪发电最早起源于英国, 在我国该技术应用不多, 福建圣农集团将谷壳与鸡粪混合燃烧发电, 每年燃烧混合物 25 万 t, 节省 8.8 万 t 煤^[14, 24]。近年也有将牛粪脱水干燥后制成致密成型燃料, 但由于粪便含水量高, 脱水干燥过程不但付出较大成本, 而且脱出液体部分易造成二次污染, 因此应用不普遍。

实践证明, 粪便是沼气生产的优质原料。厌氧发酵生产沼气是将环境保护、能源回收与生态良性循环结合起来的综合系统技术。它是利用微生物净化动植物生产过程中造成的环境污染^[25-26], 补充和平衡动植物生产过程中消耗的能量和土壤养分及有机质, 维持植物生长、动物利用、微生物还原的自然生态的良性循环。为此, 沼气技术得到普遍重视, 进入 21 世纪以来, 无论是户用沼气还是大型沼气工程都呈现快速增长势头。截止 2010 年, 全国户用沼气达 4 000 万户, 年产沼气约 154 亿 m^3 , 全国规模化养殖场共建有大中型沼气工程 2.26 万处, 年产沼气约 6.7 亿 m^3 , 二者合计相当 104.5 亿 m^3 的天然气。并且, 沼气的净化、提纯、压缩、储存、运输等商品化技术开始得到重视, 以天然气为目标产物的产业沼气开始兴起, 将沼气制成甲烷含量在 95% 以上的生物天然气, 由管道或气罐输送和装运, 当作车用燃料或者生活燃料, 像天然气一样方便地利用^[4]。

在沼气发酵技术方面, 户用沼气主要是建池技术和材料, 从原始的砖混结构向以 PVC、玻璃钢材料为主的整体式池体结构发展, 使沼气池的密封性、建池效率等进一步提高。以畜禽粪便为原料的大中型沼气工程主要采用全混合发酵 (CSTR)、塞流式发酵 (PFR)、两相厌氧发酵。厌氧发酵产生沼气一般用于农民家庭炊事用能或发电等^[27]。发酵剩余物沼渣沼液可直接作为肥料施于农田, 提高农作物产量和品质^[28-29]。

2.2 肥料化技术

如表 2 所示, 我国几种主要畜禽粪便的总氮、总磷产生量分别为 1 118.87 万 t 和 312.58 万 t, 而据资料记载总钾产生量为 106 万 t, 相当于我国每年施用氮肥 (约 3 400 万 t)、磷肥 (约 1 300 万 t)、钾肥 (约 700 万 t) 的 33%、24% 和 15%^[2]。可见, 仅将猪、牛、鸡的粪便转化为肥料就可节省将近 1/3 的化肥。同时, 化肥的大量使用导致土壤板结、土壤有机质下降, 生态恶化, 不利于农业的可持续发展^[30]。对于畜禽粪便肥料化处理方式主要有两种: 经传统方法堆制、自然发酵后直接还田利用; 在人工好氧条件下, 经生物技术发酵处理, 生产商品有机肥。两种方法都是通过微生物降解植物难以利用的纤维素、

蛋白质、脂类和尿酸盐等高分子有机物,将其转化为菌体蛋白、腐植酸、维生素、氨基酸或其他能促进作物生长的有益成分,并利用微生物发酵产生的高温杀灭病原菌和虫卵,实现有机肥料的无害化。而商品有机肥的生产是由专门的肥料生产企业,经过选用适宜的发酵微生物对畜禽粪便进行高温发酵和无害化处理,并添加适量的复合微肥,制成精制有机肥料产品。有机肥施入土壤后,给土壤增加胶体,使之形成水稳定团粒结构,提高土壤保水、保肥和通透性及调节土壤温度的能力,对于提高土壤肥力和农作物增产具有明显的效果^[31~36]。另外,根据笔者所在课题组研究结果,与施用化肥相比,大豆增产15.5%,玉米增产14.3%~28.4%,水稻增产15.2%,投入减少11.65%。这不但可以减少肥料成本和环境污染,而且可以减少化肥工业这个排放大户的温室气体排放量,其社会效益和长远的生态效益十分显著。发达国家有机肥使用率已达45%~60%,建国以来,我国有机肥使用率从1949年的99.9%连续下跌,到2003年跌到25%,目前已达不到10%^[34,37]。

2.3 饲料化技术

畜禽粪便中含有大量的营养成分,如粗蛋白质、脂肪、钙、磷、维生素B₁₂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,可作为饲料来利用。目前,畜禽粪便的饲料化主要利用模式有直接喂养法、青贮法、热喷法、干燥法等^[31~33]。直接喂养法主要适用于鸡粪,由于鸡的肠道短,吸收不完全,所食饲料中70%左右的营养物质未被消化吸收而排出体外。因此,可利用鸡粪代替部分精料来养牛、喂猪。青贮法是将畜禽粪便与作物秸秆、饲草或其它粗饲料一起青贮,它能够提高适口性和饲料利用率,提高蛋白转化效率。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。干燥法是通过人工干燥达到消毒、杀灭细菌、消除臭味的效果^[34]。由于粪便携带病原菌、重金属以及抗生素残留等,因此从食品安全角度考虑一般不提倡饲料化利用。

2.4 资源化状况

根据养殖规模资源化状况的不同,养殖规模可分为农户散养、小规模养殖和规模化养殖,规模化畜禽养殖场是指常年存栏量为500头以上的猪、3万只以上的鸡或100头以上奶牛的养殖场^[38]。目前我国规模化养殖场猪的饲养量占当年出栏总量的43.3%,蛋鸡和肉鸡分别占当年存/出栏总量的24.9%和64.2%,奶牛占当年存栏总量的

33.4%^[39]。

在肥料化方面,主要是通过好氧发酵堆肥技术生产有机肥,根据是否成为商品分为商品有机肥和农家肥。规模养殖场主要以商品有机肥为主,农户散养和小规模养殖场主要是农家肥。2008年全国共有商品有机肥企业3021家,年实际生产总量2488万t,分别占规模化养殖畜禽粪便总量的6.11%和3.21%。其中,年产量大于10万t的企业81家,2万~10万t的企业478家,共占企业总数的18.5%,绝大多数企业的年产量在2万t以下^[39]。可见,我国商品有机肥生产企业规模偏小,小规模企业往往厂房简陋生产技术落后。农家肥主要满足自家农产品生产需求,生产量约为4.5亿t/a左右,约占资源总量的18%。

在能源化方面,主要是通过厌氧发酵技术生产沼气和沼肥,分为大型(总池容大于1000m³)、中型(总池容在100~1000m³之间)、小型(总池容在50~100m³之间)沼气工程和户用沼气(池容6~10m³)。截至2009年底,全国规模化养殖场共建有大中型沼气工程22570处,总池容522.64万m³^[27]。如果厌氧发酵水力停留时间按20d计算,粪便处理能力为0.47亿t/a,大约占规模化养殖场产污量的4%左右。在大中型沼气工程中,一般沼气都能得到较好的利用,但沼肥的资源化程度较低,据一项调查显示,沼渣液用于还田利用是目前沼气工程沼渣液资源化的主要模式,数量占调查量的54.6%,但由于沼渣液储存池容积不足以及用于沼渣液还田的土地面积不足等问题,还田利用模式中沼渣液完全利用的仅占10.25%^[27]。

3 分析与讨论

虽然近年畜禽养殖废弃物在资源化上取得了一定成绩,但由于人们对畜禽养殖废弃物的价值还存在一些消极的观念,没有放在整个社会循环系统中考虑,导致对农村畜禽废弃物资源化利用过程中仍然存在不少问题,阻碍了养殖废弃物资源化利用技术的发展、推广和应用^[40~42]。

3.1 存在问题

3.1.1 总量估计不清,缺乏科学统一的计算标准

目前,在我国农业总体环境中,畜禽养殖废弃物的数量大、种类繁多、成分复杂,这给畜禽养殖废弃物数量的统计带来了较大的困难^[43]。在实际的畜禽养殖生产过程中,每年产生多少养殖废弃物,这些废弃物呈怎样的分布,利用状况如何,对环境造成多大影响,都缺乏统一的计算标准,没有准确的数据和记录,仅仅是根据养殖规模估算,所以导致废弃物利

用的盲目性,限制了切实可行政策的制定^[44]。

3.1.2 政策支持力度不够,完全依赖于市场机制

由于化肥的大量生产和利用,农业生产者往往追求短期效益,而不愿意对养殖废弃物进行资源化深度利用,破坏了种植与养殖的协调作用和生态循环,不能形成种植、养殖科学合理的循环利用体系。造成这种现象的原因主要有:鼓励农业生产者进行畜禽养殖废弃物资源化利用的优惠政策太少或支持力度不够,在发展生态农业方面缺乏有效的激励机制,因此,大多数农业生产者和企业缺乏应有的积极性,致使一些专门从事畜禽养殖废弃物资源化利用的企业未能很好地成长起来,相关的产业体系也未能得到很好培育;发展环保产业涉及的层面和环节众多,投资巨大,完全依赖于市场机制难以奏效,缺乏强有力的国家政策支持^[27]。

3.1.3 机械化技术相对滞后,缺乏资源化利用手段

缺乏畜禽养殖废弃物利用的机械化手段。近年我国农业的规模化经营发展迅速,耕种收综合机械化水平达到56%以上,大田作物已基本实现机械化,机械化播种施肥已经成为农业生产不可缺少的作业方式,但机械化施肥主要针对化肥,不具备针对原始有机肥的机械化手段,致使有机肥虽好却无法施进田里。

3.2 技术展望

与生态农业紧密结合的畜禽养殖废弃物资源化利用模式符合自然规律,是有生命力并且是可持续发展的。要根据畜禽养殖废弃物的主要特点确定技术路线。畜禽养殖废弃物的主要特点是粪、尿混合,含水量和COD含量高,植物生长所需要的营养物质大多存在于有机物质中不能被植物直接利用,并且携带大量的各种细菌。这就决定了畜禽养殖废弃物最好的资源化利用模式就是肥料化。肥料化的技术路线有两种:一种是好氧发酵堆肥,另一种就是厌氧发酵。而厌氧发酵终端产物是沼气和沼肥,所以厌氧发酵是实现肥料化和能源化的综合技术。另外,为了实现生态农业的良性循环,还需要构建科学合理的农业生产结构,研究确定种植业与养殖业的局部比例,并通过政策和法规进行科学导向^[45]。

3.2.1 好氧发酵堆肥技术

好氧堆肥技术已经比较成熟,目前备受关注并在一定程度上用于生产的技术有:畜禽粪便快速分解菌剂制造技术,根据微生物发酵条件和当地原料资源的发酵原料配方技术,条垛式堆肥处理与翻抛技术,以高效稳定分解菌复合系为中心的有机物快速发酵技术,有机肥造粒与烘干技术,有机无机复混肥技术等,正在形成从堆肥到商品有机肥生产的技

术体系,相应的生产装备不断得到完善。但在堆肥过程中的空气污染防治、氮流失抑制技术等还有待完善。

3.2.2 厌氧发酵沼气和沼肥生产技术

厌氧发酵的终端产品是沼气和沼肥。由于在厌氧发酵过程中所产气体的主要成分为 CH_4 和 CO_2 ,其它营养成分如N、P、K及各种矿质均未损失。加之微生物生长繁殖、新陈代谢,分解释放大量有机、无机酸盐等可溶性物质。同时大量繁殖的细菌死亡后释放出各种生物活性物质,包括生长素、维生素、核苷酸等。所以经厌氧发酵后的沼液、沼渣的植物营养有增无减。畜禽粪便经厌氧发酵后全氮保存率约为114%,氨态氮增加20%以上,磷和钾几乎没有损失,而好氧堆肥氮、磷和钾的保存率约为68%、63%和67%。另外,沼液、沼渣中的丁酸和植物激素中的赤霉素、吡啶乙酸以及维生素 B_{12} 对病菌有明显的抑制作用;沼液中的氨和铵盐,某些抗生素对作物的虫害有着直接杀灭作用。所以,沼液、沼渣既是速效与迟效兼备、速效多于迟效的有机肥,又是防治病虫害的无污染、无残毒、无抗药性的“生物农药”。同时,厌氧发酵后生粪中的病原菌和部分植物病虫害生物源大部分已被杀灭,作为肥料安全、清洁无污染。

我国厌氧发酵沼气生产技术主要有:户用沼气技术,多年的实践证明,户用沼气只适用有条件的农户使用,并且没有从根源上解决环境卫生问题;村屯集中供气沼气工程,建设规模一般在 $1\ 000\ \text{m}^3$ 左右,相比分散的户用沼气,在建设质量、运行管理、环境卫生等方面都能得到一定的保障;产业沼气,以沼气的工业化利用为目的,进行沼气的规模化生产,获得的沼气经过净化、提纯、压缩,可以制成甲烷含量在95%以上的生物天然气,由管道或气罐输送和装运,当作车用或生活燃料,像天然气一样方便地利用,其特点是原料集中,沼气沼肥都是商品。目前产业沼气在南方开始兴起,将逐渐形成生物天然气生产行业。由于目前用于沼气生产的是废弃物,其能量密度低,原料供应半径过大时,运输成本增加,制约产业沼气发展^[46]。

3.2.3 发展生态沼气工程技术

从生态农业的角度出发,可以将村屯规模的沼气生产称为生态沼气,作为生态沼气应该以有机农产品为目标产物,并通过集中供气解决农民家庭用能问题,按局部构建以厌氧发酵为核心的生物质循环利用体系,使沼气工程与生态农业紧密结合,充分发挥沼气工程在净化环境、维护生态、能源生产方面的作用。其特点是沼肥一般不是商品,终端商品应该是有机农产品。因此需要进一步研发多元原料共

发酵沼气生产、液态沼肥田间直接施用、固态沼肥施肥、沼肥对土壤及作物生长的影响、秸秆的有效利用等生态沼气工程技术与装备,并因地制宜地构建如

图1所示的分散资源、分布利用、统一经营的生态农业循环模式,从而在每一个局部实现环境净化和生态的良性循环,最终实现多点连片。

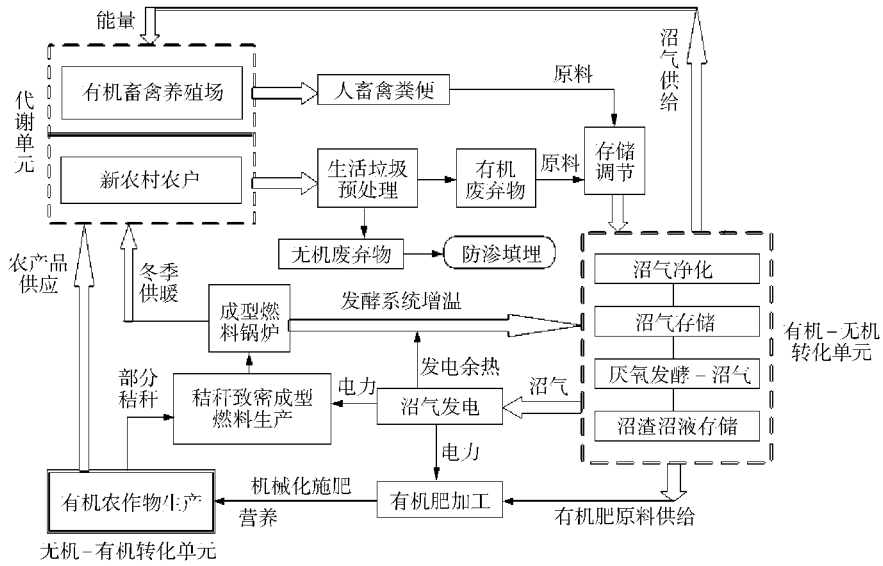


图1 以生态沼气工程为核心的生态农业循环模式

Fig. 1 ECO-agricultural circular model of biogas as core in ecological engineering

3.2.4 研究和建立生物质经济学

立项支持生物质经济学的研究,利用经济学分析方法,研究和确立畜禽养殖废弃物资源化利用的生产模式和技术路线,科学合理地构建种植业和养殖业的框架比例,所谓框架就是局部区域空间尺度,比例就是在某一局部区域内种植业和养殖业各自占有的份额和分布,这个比例应该有利于废弃生物质的循环利用和生态的良性循环,并利用经济学方法构建相应的分析模型,对其进行科学的规划、评估和预测,为农业生产结构的调整提供理论依据。

4 结论

(1) 畜禽养殖废弃物的资源化不但可以从源头上解决污染问题,而且可为农村提供宝贵的生产资料和生活资料。为此,资源化技术受到广泛关注并

迅速发展。但在畜禽养殖废弃物总量计算标准、资源化政策扶持以及利用手段和机制、产污排污执法力度和监管机制等方面还存在一定的问题,制约了资源化产业的发展。

(2) 畜禽养殖废弃物资源化技术应与生态农业技术紧密结合,在局部区域内构建废弃生物质循环利用生态农业经济模式,针对畜禽养殖废弃物的特性,以能源化和肥料化相结合的厌氧发酵技术为核心,大力发展生态沼气工程技术,通过生态效益、环境效益促进畜禽养殖废弃物资源化产业的良性发展。

(3) 制定科学合理的政策,激发企业向环保事业投资的积极性。同时,利用经济学分析方法,确立资源化利用生产模式和技术路线,科学地构建种植业和养殖业的框架比例。

参 考 文 献

- 陈鹏举,向忠菊. 畜禽粪便资源化处理技术在农业污染防治中的应用[J]. 家畜生态学报,2010,31(2):106~108.
Chen Pengju, Xiang Zhongju. The comprehensive utilization technology of livestock and poultry feces resource in the prevention of the agricultural environment pollution[J]. Acta Ecologiae Animalis Domastici, 2010,31(2):106~108. (in Chinese)
- 中华人民共和国环境保护部,中华人民共和国国家统计局,中华人民共和国农业部. 第一次全国污染源普查公报[R]. 中华人民共和国国家统计局,2010.
- Moore J A, Gamroth M J. Calculating the fertilizer value of manure from livestock operations[R]. Oregon State University Administrative Services A442 EC1094, 1993:1~7.
- 栾冬梅,李士平,李文哲,等. 规模化奶牛场育成牛和泌乳牛产排污系数的测算[J]. 农业工程学报,2012,28(16):185~189.
Luan Dongmei, Li Shiping, Li Wenzhe, et al. Calculation of pollutants producing and discharging coefficients of heifers and lactating dairy cows in large-scale dairy farms[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2012,28(16):185~189. (in Chinese)
- 张蓓,李汉平,张春光. 牛粪 COD 负荷、产污系数及原始产污总量的测算[J]. 西南农业学报,2011,24(4):1503~1533.

- Zhang Bei, Li Hanping, Zhang Chunguang. Determining COD load of cattle dung and calculating COD formation coefficient and total COD amount engendered from cattle dung in China[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2011, 24(4): 1 503 ~ 1 533. (in Chinese)
- 6 汪开英, 代小蓉, 李震宇, 等. 不同地面结构的育肥猪舍 NH_3 排放系数[J]. 农业机械学报, 2010, 41(1): 163 ~ 166.
Wang Kaiying, Dai Xiaorong, Li Zhenyu, et al. NH_3 emission factors of fattening pig buildings with different floor systems[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(1): 163 ~ 166. (in Chinese)
- 7 张田, 卜美东, 耿维. 中国畜禽粪便污染现状及产沼气潜力[J]. 生态学杂志, 2012, 31(5): 1 241 ~ 1 249.
Zhang Tian, Bu Meidong, Geng Wei. Pollution status and biogas-producing potential of livestock and poultry excrements in China [J]. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(5): 1 241 ~ 1 249. (in Chinese)
- 8 程文定, 郜敏, 何毅, 等. 畜禽粪便饲料资源化开发应用的研究[J]. 饲料研究, 2006(8): 62 ~ 65.
- 9 Anderson N, Strader R, Davidson C. Airborne reduced nitrogen; ammonia emissions from agricultural and other sources [J]. Environment International, 2003, 29(2 ~ 3): 277 ~ 286.
- 10 汪开英, 魏波, 应洪仓, 等. 不同地面结构育肥猪舍的恶臭排放影响因素分析[J]. 农业机械学报, 2011, 42(9): 186 ~ 190.
Wang Kaiying, Wei Bo, Ying Hongcang, et al. Odor emissions and impact factors of fattening pig rooms with different floor systems [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(9): 186 ~ 190. (in Chinese)
- 11 孙利娜, 谷子林, 李素敏, 等. 畜禽养殖场空气污染的營養性防治对策[J]. 广东畜牧兽医科技, 2009, 34(6): 12 ~ 15.
- 12 张鹤平. 畜牧场恶臭及有害气体的危害及控制[J]. 邯郸农业高等专科学校学报, 2001, 18(1): 25.
- 13 布仁, 王学理. 畜禽养殖场污染及其治理对策的探讨[J]. 中国动物检疫, 2008, 25(10): 210 ~ 213.
- 14 谭支良, 周传社. 现代畜牧业可持续发展: 环境问题与现实选择[J]. 农业现代化研究, 2008, 29(6): 654 ~ 656.
Tan Zhiliang, Zhou Chuanshe. Sustainable development of modern intensive animal husbandry: environmental issues and realistic options[J]. Research of Agricultural Modernization, 2008, 29(6): 654 ~ 656. (in Chinese)
- 15 Berka C, Schreier H, Hall K. Linking water quality with agricultural intensification in a rural watershed[J]. Water, Air & Soil Pollution, 2001, 127: 389 ~ 401.
- 16 Ron Fleming, Marcy Ford. Comparison of storage, treatment, utilization, and disposal systems for human and livestock wastes [R]. Ridgetown, Ontario: Ridgetown College-University of Guelph, 2002: 1 ~ 25.
- 17 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.
Zhao Qingling, Yang Jitao, Li Suiliang, et al. The present situation and prospect of resource technology on the feces of livestock and poultry[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2003, 37(2): 184 ~ 187. (in Chinese)
- 18 高定, 陈同斌, 刘斌, 等. 我国畜禽养殖业粪便污染风险与控制策略[J]. 地理研究, 2006, 25(2): 311 ~ 319.
Gao Ding, Chen Tongbin, Liu Bin, et al. Releases of pollutants from poultry manure in China and recommended strategies for the pollution prevention[J]. Geographical Research, 2006, 25(2): 311 ~ 319. (in Chinese)
- 19 Oenema O, Van Liere L, Plette S, et al. Environmental effects of manure policy options in the Netherlands [J]. Water Science & Technology, 2004, 49(3): 101 ~ 108.
- 20 Jackson B P, Bertsch P M, Cabrera M L, et al. Trace element speciation in poultry litter[J]. Journal of Environmental Quality, 2003, 32(2): 535 ~ 540.
- 21 Takeshi Yamada, Keisuke Miyauchi, Hideyo Ueda, et al. Composting cattle dung wastes by using a hyperthermophilic pre-treatment process: characterization by physicochemical and molecular biological analysis [J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2007, 104(5): 408 ~ 415.
- 22 相俊红, 胡伟. 我国畜禽粪便废弃物资源化利用现状[J]. 现代农业装备, 2006(2): 59 ~ 63.
- 23 Hiroshi Yokoyama, Miyoko Waki, Akifumi Ogino, et al. Hydrogen fermentation properties of undiluted cow dung[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2007, 104(1): 82 ~ 85.
- 24 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.
- 25 李轶, 李磊, 张大雷, 等. 餐厨垃圾和牛粪混合厌氧发酵工艺优化[J]. 农业机械学报, 2012, 43(增刊): 180 ~ 185.
Li Yi, Li Lei, Zhang Dalei, et al. Process optimization of anaerobic fermentation with mixed material of food garbage and cow dung[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(Supp.): 180 ~ 185. (in Chinese)
- 26 楚莉莉, 李铁冰, 冯永忠, 等. 猪粪麦秆不同比例混合厌氧发酵特性试验[J]. 农业机械学报, 2011, 42(4): 100 ~ 104.
Chu Lili, Li Yibing, Feng Yongzhong, et al. Characteristics of do-digestion of pig dung and wheat straw in various ratios[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(4): 100 ~ 104. (in Chinese)
- 27 刘刈, 宋立, 邓良伟. 我国规模化养殖场粪便污水处理利用现状及对策[J]. 猪业科学, 2011, 28(6): 30 ~ 42.
- 28 Alatraste-Mondragón F, Samar P, Cox H H J, et al. Anaerobic codigestion of municipal, farm, and industrial organic wastes: a survey of recent literature[J]. Water Environment Research, 2006, 78(6): 607 ~ 636.
- 29 Umetsu K, Yamazaki S, Kishimoto T, et al. Anaerobic co-digestion of dairy manure and sugar beets[J]. International Congress Series, 2006, 1293: 307 ~ 310.
- 30 Bailey K L, Lazarovits G. Suppressing soil-borne diseases with residue management and organic amendments[J]. Soil & Tillage Research, 2003, 72(2): 169 ~ 180.
- 31 汪丽婷, 马友华, 储茵, 等. 畜禽粪便废弃物处理与低碳技术应用[J]. 农业环境与发展, 2010(5): 57 ~ 60.
Wang Liting, Ma Youhua, Chu Yin, et al. The application of poultry excrement's waste disposal and low-carbon technology[J].

- Agro-Environment & Development,2010(5):57~60. (in Chinese)
- 32 Kuchenrich R D, Martin W J, Smith D G, et al. Design and operation of an aerated windrow composting facility [J]. Journal of the Water Pollution Control Federation, 1985, 57(3): 213~219.
- 33 Steininger K W, Voraberger H. Exploiting the medium term biomass energy potentials in Austria [J]. Environmental and Resource Economics, 2003, 24 (4): 359~377.
- 34 Cook J, Beyea J. Bioenergy in the United States: progress and possibilities [J]. Biomass and Bioenergy, 2000, 18(6): 441~455.
- 35 Aarts H F M, Habekotte B, van Keulen H. Nitrogen (N) management in the 'De Marke' dairy farming system [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2000, 56(3): 231~240.
- 36 罗立娜,李文哲,徐名汉,等. 预处理方式对水稻秸秆厌氧发酵产气特性的影响 [J]. 农业机械学报, 2012, 43(11): 152~156.
Luo Lina, Li Wenzhe, Xu Minghan, et al. Effect of pretreatment methods on anaerobic fermentation characteristics from rice straw [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(11): 152~156. (in Chinese)
- 37 Sheldrick William, Syers J K, Lingard John. Contribution of livestock excreta to nutrient balances [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2003, 66(2): 119~131.
- 38 国家环境保护总局. 畜禽养殖污染防治管理办法 [Z]. 国家环境保护总局令第9号, 2001.
- 39 黄鸿翔,李书田,李向林,等. 我国有机肥的现状与发展前景分析 [J]. 土壤肥料, 2006 (1): 3~8.
Huang Hongxiang, Li Shutian, Li Xianglin, et al. Analysis on the status of organic fertilizer and its development strategies in China [J]. Soils and Fertilizers, 2006 (1): 3~8. (in Chinese)
- 40 张方方,吴亚琪. 浙江省农村废弃物现状调查及资源化利用 [J]. 现代农业科学, 2009, 16(4): 160~161.
Zhang Fangfang, Wu Yaqi. Status quo investigation and recycling utilization of rural residues in Zhejiang province [J]. Modern Agricultural Sciences, 2009, 16(4): 160~161. (in Chinese)
- 41 严立冬. 农业废弃物的资源化利用 [J]. 环境与开发, 1998, 13(2): 21~23.
Yan Lidong. Talk about the recyclical use of agricultural refuse [J]. Environment and Exploitation, 1998, 13(2): 21~23. (in Chinese)
- 42 景全荣,黄希国,吴丽丽,等. 连续干式厌氧发酵中试系统设计与试验 [J]. 农业机械学报, 2012, 43(增刊): 186~189.
Jing Quanrong, Huang Xiguo, Wu Lili, et al. Design and experiment of dry anaerobic digestion pilot plant for biogas producing [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(Supp.): 186~189. (in Chinese)
- 43 杨帆,李荣,崔勇,等. 我国有机肥料资源利用现状与发展建议 [J]. 中国土壤与肥料, 2010(4): 77~81.
Yang Fan, Li Rong, Cui Yong, et al. Utilization and develop strategy of organic fertilizer resources in China [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2010(4): 77~81. (in Chinese)
- 44 孙永明,李国学,张夫道,等. 中国农业废弃物资源化现状与发展战略 [J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 169~173.
Sun Yongming, Li Guoxue, Zhang Fudao, et al. Status quo and developmental strategy of agricultural residues resources in China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(8): 169~173. (in Chinese)
- 45 夏吉庆,马添翼,毕经毅,等. 牛粪厌氧发酵污泥回流试验 [J]. 农业机械学报, 2011, 42(4): 105~109.
Xia Jiqing, Ma Tianyi, Bi Jingyi, et al. Sludge recycle trial of cattle manure anaerobic fermentation [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(4): 105~109. (in Chinese)
- 46 王亮,刘克锋,孙向阳,等. 牛粪好氧发酵规模化生产参数优化 [J]. 农业机械学报, 2012, 43(1): 115~121.
Wang Liang, Liu Kefeng, Sun Xiangyang, et al. Parameter optimization for large-scale production of cattle manure aerobic fermentation [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(1): 115~121. (in Chinese)

~~~~~

(上接第 118 页)

- 27 蒋树芳,万书勤,康跃虎,等. 华北地区滴灌控制基质势对生菜产量和水分利用的影响 [J]. 水资源与水工程学报, 2011, 22(6): 72~76.  
Jiang Shufang, Wang Shuqin, Kang Yuehu, et al. Effects of soil potential on lettuce growth and water use efficiency under drip irrigation in semi-humid regions of north China [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2011, 22(6): 72~76. (in Chinese)
- 28 Theodore W Sammis. Comparison of sprinkler, trickle, subsurface, and furrow irrigation methods for row crops [J]. Agronomy Journal, 1980, 72(5): 701~704.
- 29 贾俊姝,康跃虎,万书勤,等. 不同土壤基质势对滴灌枸杞生长的影响研究 [J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(6): 81~84.  
Jia Junshu, Kang Yuehu, Wang Shuqin, et al. Effect of soil matric potential on *Lycium barbarum* L. growth under drip-irrigation [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2011, 30(6): 81~84. (in Chinese)
- 30 Rivière L M, Caron J. Research on substrates: state of the art and need for the coming 10 years [J]. Acta Horticultural, 2001, 548: 29~42.
- 31 范严伟. 膜孔灌溉入渗特性的数值模拟研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.  
Fan Yanwei. Study on numerical simulation of interference infiltration characteristic in film hole irrigation [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2008. (in Chinese)