

固液分离对牛粪利用效果的影响

关正军, 李文哲^{*}, 郑国香, 毕兰平

(东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 预处理可以提高牛粪利用的效果, 该文研究了利用螺旋压榨固液分离机对牛粪加水固液分离后固形物和分离液的纤维含量, 固形物的热值、分离液的黏度和碳氮比。利用压块成型机对分离后固形物进行压块, 为沼气发酵增温保温提供燃料, 并将分离液与未分离的原牛粪进行厌氧发酵对比试验, 结果表明, 分离液发酵可提高甲烷产率, 缩短发酵水力停留时间。在 (35±2) °C 条件下, 原料挥发性固体含量 (VS) 分别为 4.86% 和 4.98% 时, 30% 接种量, 分离液的产气率比原牛粪提高 32.68%。研究结果对高寒地区牛粪资源化利用具有参考价值。

关键词: 厌氧发酵, 沼气, 固液分离, 牛粪, 压块成型

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.04.046

中图分类号: S216.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-04-0259-05

关正军, 李文哲, 郑国香, 等. 固液分离对牛粪利用效果的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 259—263.

Guan Zhengjun, Li Wenzhe, Zheng Guoxiang, et al. Effect of solid-liquid separation on utilization of dairy manure [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(4): 259—263. (in Chinese with English abstract)

0 引言

与其他动物粪便相比, 牛粪厌氧发酵总固体含量 (Total solid, 以下简称为 TS) 甲烷产率低^[1], 牛粪粗纤维含量多, 占干物质百分比接近 40%^[2], 在中温发酵过程中, 粗纤维在 30 d 以内几乎不降解, 为了保证湿法发酵料液的流动性, 牛粪加水比例为 1:1 以上, TS 在 8% 左右^[3-4], 碳氮比过高, 微生物活动所需要的氮源不足, 微生物活性弱, 产气效率低, 发酵设备利用率差^[2], 尤其在高寒地区为了维持发酵系统的温度和发酵速度就需要为系统提供足够多的热量, 严重影响养牛场沼气工程建设的积极性。因此, 研究牛粪的预处理, 分离粗纤维生产成型燃料, 分离液厌氧发酵生产沼气将对提高牛粪厌氧发酵效率、促进养牛场沼气工程建设具有重要意义。

固液分离在提高畜禽粪便厌氧发酵效果和臭味控制方面作用显著^[5-6], 日本北海道大学的岩渊和则等人研究了牛粪固液分离机特性和分离液沼气发酵试验, 得出分离液容积产气率远高于未分离原牛粪的结论, 原因可能是经过固液分离处理后, 分离液中微小的易分解的固形物含量增加^[7]。

目前为止, 利用牛粪固液分离后固形物压块成型燃料的相关研究文献未见报道, 而利用作物秸秆生产成型燃料的文献较多, 压块成型可以提高燃烧性能和储运性

能, 利用作物秸秆压块生产成型燃料成为当前生物质能源研究热点之一^[8-10], 与采用农作物秸秆作为成型原料相比, 螺旋挤压固液分离后的固形物经过干燥后生产成型燃料, 可以节约原料粉碎的能量消耗和原料运输费用, 生产的成型燃料可以为分离液厌氧发酵系统增温保温提供热源。

该文从对奶牛粪综合资源化利用的目的出发, 在对固液分离参数优化的基础上^[11], 用自行研制的螺旋压榨固液分离机对牛粪进行固液分离, 利用分离后的固形物进行压块生产成型燃料试验; 对分离后的液体进行物理参数测试, 并将其与未分离牛粪在相同条件下进行中温厌氧发酵试验, 探讨提高牛粪综合利用效果。

1 材料与方法

1.1 牛粪固液分离试验

1.1.1 试验材料

本试验所用牛粪取自哈尔滨市完达山奶牛养殖基地, 新鲜牛粪 TS 约为 15.57%。

1.1.2 试验设备

分离试验所用的主要仪器设备如表 1 所示。

表 1 固液分离试验仪器设备

Table 1 Apparatus equipment for solid-liquid separation experiment

仪器设备	生产厂家
螺旋压榨固液分离机	研制 (实用新型专利号: ZL200920099135.2)
ALC-4100.1 型电子天平	北京赛多利斯仪器系统有限公司
SAMPO DT2234A 型测速仪	深圳欣宝科仪仪器研制中心
电子秒表	深圳正速达电子有限公司
101-1 型电热鼓风干燥箱	天津市泰斯特仪器有限公司
RJM-28-10 型茂福炉	沈阳市节能电炉厂
Fibertec 1020 型纤维分析仪	丹麦 FOSS 公司

收稿日期: 2010-08-17 修订日期: 2011-04-15

基金项目: 863 计划项目 (2007AA100705); 国家科技支撑计划项目 (2006BAD07A10); 黑龙江省科技攻关项目 (GZ09B501)

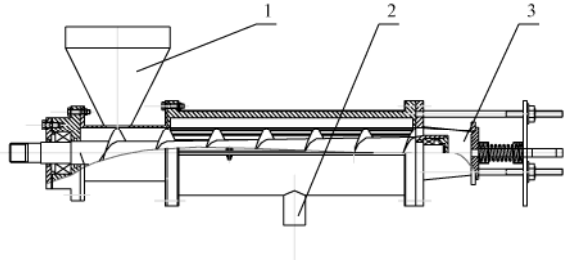
作者简介: 关正军 (1970—), 男, 哈尔滨市人, 副教授, 主要从事生物质转化与利用方面研究工作。哈尔滨 东北农业大学工程学院, 150030。

Email: zhjguan@163.com

※通信作者: 李文哲 (1955—), 男, 哈尔滨市人, 教授, 主要从事生物质转化与利用方面研究工作。哈尔滨 东北农业大学工程学院, 150030。

Email: liwenzhe9@163.com

用自行研制的螺旋压榨固液分离机实现固液分离,示意图见图1,分离螺旋外径为100 mm,采用变轴距变螺距结构,配套MB1.5-Y-1.5-XL15-9-B5型无级调速电机和WB100单级摆线减速机,调速范围20~110 r/min,扭矩范围97~194 N/m²。



1.进料口 2.分离后液体出口口 3.固形物出口口

图1 分离机结构简图

Fig.1 Structure sketch of separator

1.1.3 试验方法

按粪水比2:1加水,调整螺旋转速为68 r/min,分离间隙调整为1.5 mm,进行固液分离试验,对分离前后的物料参数进行测定,主要包括物料的总固体含量(TS)、挥发性固体含量(VS)、灰分^[12]和木质纤维素,试验中TS、VS和灰分等使用ALC-4100.1型电子天平、101-1型电热鼓风干燥箱、RJM-28-10型茂福炉进行测定,木质纤维素用丹麦FOSS公司的Fibertec 1020型纤维分析仪测定,测定方法参照FOSS公司应用简报AN3434 1.2,其中木质纤维素以纤维素、半纤维素和木质素占TS的百分比表示。

1.2 分离固形物压块成型试验

1.2.1 材料

压块成型试验所用材料为分离固形物在自然干燥条件下脱水至含水率16%~20%,收集装袋。

1.2.2 设备

压块成型设备采用黑龙江省农业机械科学研究所研制的辊模碾压平模式9KP-11型颗粒压制机,热值测量采用上海吉昌地质仪器有限公司生产的XRY-1A数显氧弹式热量计测量。

1.2.3 试验方法

水分和灰分的测量与上述试验方法相同,密度采用排水法测量,低位发热量采用XRY-1A数显氧弹式热量计进行测量,热量计的热当量采用苯甲酸标准物进行标定,测量方法参考GB/T 213-2008《煤的发热量测定方法》^[13]。

1.3 厌氧发酵产沼气对比试验

1.3.1 材料

沼气发酵试验采用原牛粪加水稀释与分离液进行对比发酵试验,接种液采用实验室经过培育的富含产甲烷菌的发酵后液体,在发酵前对原料进行参数测量,包括TS、VS(Volatile solid)、木质纤维素、过滤液中化学需氧量(Chemical oxygen demand, 简称为COD)、黏度和碳氮比(C/N),结果如表2所示。

表2 沼气发酵原料参数表

Table 2 Parameters table of methane formational materials

项目	TS/%	VS/%	木质纤维素/%	COD/(mg·L ⁻¹)	黏度/(mpa·s ⁻¹)	碳氮比
稀牛粪	5.79±0.12	4.86±0.21	57.66±0.87	18 516±381	237±23	40.12±0.09
分离液	6.60±0.01	4.98±0.09	37.70±1.32	25 265±1857	182±10	18.79±0.16
接种液	4.37±0.03	3.09±0.06	35.38±0.85	11 768±381	124±4	18.26±0.27

1.3.2 设备

沼气发酵对比试验仪器设备如表3所列。

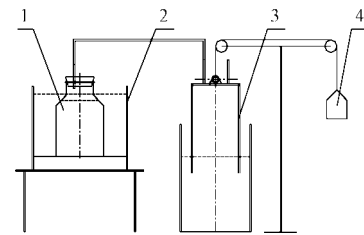
表3 发酵试验仪器设备

Table 3 Apparatus equipment for fermentation experiment

仪器设备	生产厂家
Anke TGL-16G 高速离心机	上海安亭科学仪器厂
Spectrum 722 可见分光光度计	上海光谱仪器有限公司
NDJ-8S 数显粘度计	上海天平仪器厂
Fibertec 1020 型纤维分析仪	丹麦 FOSS 公司
Kjeltec2300 氮分析仪	丹麦 FOSS 公司
liquiTOC 分析仪	德国 Elementar 公司
GC6890 气相色谱	美国 Agilent 公司

1.3.3 试验方法

沼气发酵试验装置如图2所示。发酵罐用水浴槽加热,自动控制发酵温度,集气罐与发酵罐采用乳胶管连接,在集气罐上设有刻度,标识产气量,平衡重来平衡集气罐自身重量。



1.发酵罐 2.水浴槽 3.集气罐 4.平衡重

图2 沼气发酵试验装置

Fig.2 Test device methane fermentation

选择发酵原料占70%,接种量确定为30%,合计发酵容积5 L,发酵温度(35±2)°C,发酵期为20 d,每天振荡搅拌1次,每天读取产气量数据,监测pH值,发酵结束后测量出水TS、VS、COD和纤维含量,产生的沼气中甲烷气体的体积百分含量。

1) COD测定采用快速密闭催化消解法^[14],使用的主要仪器是Anke TGL-16G高速离心机和Spectrum 722可见分光光度计;2)黏度用NDJ-8S数显粘度计测量;3)碳氮比(C/N)的测定是用德国Elementar liquiTOC分析仪测得总碳与用丹麦FOSS公司的Kjeltec2300氮分析仪测得总氮的比值得到,总碳的检测原理是:高温燃烧氧化样品,使含碳样品转化为二氧化碳,通过红外检测器检测二氧化碳含量,从而对样品含碳量进行定量,总氮的检测是:样品经过高温消化后,蒸馏由Kjeltec2300氮分析仪自动完成;4)甲烷的测定条件:采用INNOWAX(19091N-133)毛细管柱,氢火焰离子化检测器(FID),柱

温为 80℃，气化室温度为 100℃，检测室温度为 120℃，载气使用高纯氮气，总压力 130 kPa，总流速 30.2 mL/min，柱流速 1.7 mL/min，分流比 15，H₂ 流速 40 mL/min，空气流速 400 mL/min。

2 试验结果分析

2.1 牛粪固液分离情况

分离前后物料参数见表 4。

表 4 分离前后物料参数
Table 4 Material parameters before and after separation

项目	TS/%	VS/%	灰分/%	木质素/%	纤维素/%	半纤维素/%
新鲜牛粪	15.57±0.01	12.90±0.04	2.66±0.05	7.55±0.08	32.84±0.10	17.27±0.69
分离液	6.60±0.01	4.98±0.09	1.62±0.02	6.99±0.28	17.30±0.31	13.41±0.73
分离固形物	44.87±1.04	37.62±0.81	7.25±0.24	8.43±0.56	52.01±0.42	22.30±0.21

从表 4 中可以看出，经过固液分离后，分离固形物中木质素、纤维素和半纤维素占干物质含量达到 82.74%，在大豆秸和玉米秸之间^[15]，分离固形物的表观形态如图 3，状态蓬松，很容易实现自然脱水，可为生产成型燃料提供原料，由此可见，固液分离可成为提高牛粪资源化综合利用效率的重要途径。



图 3 分离固形物
Fig.3 Separated solid matter

2.2 压块成型试验结果

压块成型参数成型孔长径比选定为 5:1，即平模的厚度为 30 mm，模孔的直径为 6 mm，成型后颗粒形状如图 4。



图 4 压块成型颗粒
Fig.4 Press moulding granules

压块成型燃料性能参数见表 5。

表 5 压块成型燃料性能参数
Table 5 Parameters of press moulding fuel

水分/%	灰分/%	低位发热量/(kJ·kg ⁻¹)	成型率%	密度/(kg·m ⁻³)
12.52±0.39	10.38±0.21	16847±337	85±5	1220±18

能量消耗和关键工作部件寿命是制约秸秆压块生产成型燃料技术的制约因素^[10]，粉碎过程能量消耗占整个过程中 20% 以上^[16]，采用牛粪中分离出的纤维压块成型与采用作物秸秆压块成型相比，可以不用单独进行粉碎，节约生产过程能量消耗。所产固体燃料为沼气发酵系统提供增温热源，节约运输费用。根据分离固形物压块成型颗粒占压块原料的质量比计算，成型率达到 85%，从表 5 中对成型块测试试验结果可以看出，采用牛粪固液分离的固形物，自然干燥后压块加工成型燃料密度达到 1 220 kg/m³，低位发热量达到 16 847 kJ/kg，各指标值不低于采用麦秸、稻秸、玉米秸和豆秆成型块的指标值^[16]，其原因是由于经过牛胃对秸秆中的粗蛋白和粗脂肪的消化吸收，热值高的粗纤维和木质素比率增加^[17]，在分离前加水对纤维具有洗涤作用，使灰分和细小纤维进入到液体中的缘故。

2.3 厌氧发酵产沼气结果分析

2.3.1 发酵过程分析

从图 5 中可以看出，与稀牛粪相比，分离液在发酵过程中产气高峰明显提前，高产气周期在第 13 天基本结束，而稀牛粪发酵时间较长，后期产气较分离液多，发酵时间长。

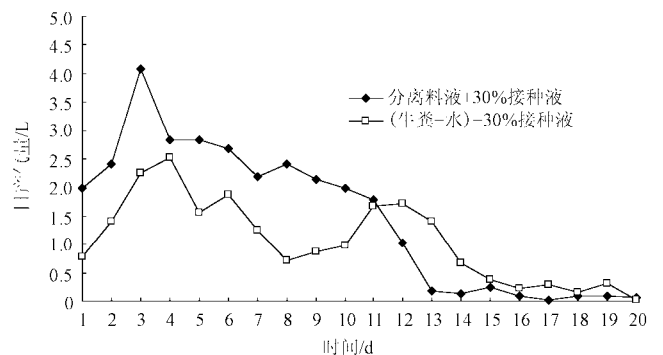


图 5 沼气发酵过程日产气量对比
Fig.5 Contrasts of daily gas production in methane fermentation

2.3.2 沼气发酵结果分析

对沼气发酵后沼液中 TS、VS、COD 和木质纤维素以及总产气量测量数据如表 6。

根据进水和出水 COD 和 VS 值可以计算出 COD 和 VS 的去除率，根据总产气量和用气相色谱 GC6890 测得的甲烷体积百分数可以计算单位 TS 和 VS 的甲烷产率，计算结果见表 7。

表6 沼气发酵参数表
Table 6 Parameters of methane formational

项目	pH 值	发酵后 TS/%	发酵后 VS/%	出水滤液中 COD/(mg·L ⁻¹)	木质纤维素/%	总产气量/L	产气提高率/%
稀牛粪+30%接种液	6.9~7.7	4.19±0.05	3.15±0.16	7340±526	44.53±1.26	22.09±0.18	—
分离液+30%接种液	6.9~7.6	4.18±0.13	2.76±0.23	8394±1012	32.94±0.72	29.31±0.24	32.68

表7 沼气发酵性能对比
Table 7 Contrasts of methane fermentation performance

项目	滤液中 COD 去除率/%	VS 去除率/%	木质纤维降解率/%	甲烷体积分数/%	TS 甲烷产率/(L·kg ⁻¹)	VS 甲烷产率/(L·kg ⁻¹)
稀牛粪+30%接种液	49.10	35.19	33.57	45.90±0.90	49.94	59.50
分离液+30%接种液	65.40	44.58	37.27	73.72±2.50	93.95	124.51

沼气发酵试验结果对比表明,原料 VS 很接近的条件下,无论是总产气量、气体中甲烷含量还是甲烷得率都获得显著的提高,其中原因主要是分离后的液体黏度降低且颗粒小,有利于微生物的传质。P.L.N.Kaparaju 等人研究固液分离后不同尺寸颗粒的发酵原料对 VS 产气率的影响规律,得出分离后颗粒尺寸减小提高产气率的结论^[18],碳氮比相对降低,接近适合于微生物生长繁殖的范围^[19],提高了微生物的代谢活性。从甲烷含量来看,分离液发酵达到 73.72%,与稀猪粪发酵水平相当^[6];H.M.El-Mashad 等人研究利用牛粪与食品厂废弃物混合发酵,得出较单一原料发酵效率高的结论^[20],固液分离后的分离液 TS 显著下降,黏度降低,为与其他有机废弃物进行混合发酵提供条件。

2.4 经济性分析

以 1 000 m³ 的养牛场沼气工程为例,水力停留时间 20 d,传统处理方法每天处理牛粪 20 t(假设利用秸秆压块进行加热);应用研制的固液分离设备,沼气工程每天处理量为 36 t,处理每 t 牛粪能量消耗为 5 kwh,经过核算每 t 牛粪分离干物质压块节约粉碎能耗为 2.5 kwh^[16],合计增加能耗 90 kwh,利用相同规模发酵设备,多产气 160 m³,保守计算,沼气发电为 1.5 kwh/m³,可多发电 240 kwh,在忽略料液输送、搅拌和运输节约成本条件下,相同规模的发酵设备每天可以多获得 150 kwh 电能。

3 结 论

本文以提高牛粪资源化综合利用效果为目标,利用螺旋压榨固液分离机对稀释牛粪进行分离,用分离后固形物自然干燥后进行压块,对分离液与接近 VS 的稀释牛粪在相同条件下进行厌氧发酵试验。1) 分离后固形物干燥压块热值可以达到 16 847 kJ/kg,密度达到 1 220 kg/m³,与采用作物秸秆压块相比可以节约粉碎、运输等环节,生产的成型燃料可以为高寒地区沼气工程冬季增温保温提供燃料;2) 在中温(35±2)℃条件下,原料挥发性固体含量 VS 分别为 4.86%和 4.98%时,分离液较稀牛粪发酵产气量可以提高 32.68%,甲烷产率也都有大幅度提高,同时,可以缩短水力停留时间,提高设备利用率;由此可见,固液分离预处理对提高牛粪资源化综合利用效果具有显著作用。

[参 考 文 献]

- [1] Itodo I N, Awulu J O. Effects of total solids concentrations of poultry, Cattle and piggery waste slurries on biogas yield[J]. American Society of Agricultural Engineers, 1999, 42(6): 1853—1855.
- [2] 张克强,高怀友. 畜禽养殖业污染物处理与处置[M]. 化学工业出版社, 2003.
- [3] 李杰,李文哲,许洪伟,等. 牛粪湿法厌氧消化规律及载体影响的研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(3): 186—191. Li Jie, Li Wenzhe, Xu Hongwei, et al. Rules of anaerobic digestion of cow manure by wet method and the effect of carriers[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(3):186—191. (in Chinese with English abstract)
- [4] 胡启春,宋立. 奶牛养殖场粪污处理沼气工程技术与模式[J]. 中国沼气, 2005, 23(4): 22—25. Hu Qichun, Song Li. Biogas engineering technology and modes for the treatment of dairy manure[J]. Transactions of the China biogas, 2005, 23(4): 22—25. (in Chinese with English abstract)
- [5] 李长生,王应宽. 集约化猪场粪污处理工艺的研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(1): 86—90. Li Changsheng, Wang Yingkuan. Technology of swine manure treatment on intensive scaled swine farms[J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(1): 86—90. (in Chinese with English abstract)
- [6] Zhang R H, Weaterman P W. Solid-liquid separation of animal manure for odor control and nutrient management[J]. American Society of Agricultural Engineers 1997, 13(5): 657—664.
- [7] 岩淵和則,樋元淳一,等. 牛糞の固液分離特性試験と搾汁液によるメタン発酵[J]. 北海道大学農学部邦文紀要, 1987, 15(3): 249—256. Kazunori Iwabuchi, Jun-ichi Himoto, Juzo Matsuda. Studies on a performance test of mechanical slurry separator, and mesophilic anaerobic digestion of the separated juice[J]. Journal of Agriculture Faculty Hokkaido University, 1987, 15(3): 249—256. (in Japanese with English abstract)
- [8] 王民,郭康权,朱文荣. 秸秆制作成型燃料的试验研究[J]. 农业工程学报, 1993, 9(1): 99—104. Wang Min, Guo Kangquan, Zhu Wenrong. A preliminary study on the preparation of pressurized straw briquette[J].

- Transactions of the CSAE, 1993, 9(1):99-104. (in Chinese with English abstract)
- [9] 刘俊红, 张百良, 王革华. 成型燃料规模化生产的影响因素研究[J]. 中国农学通报, 2006, 22(2): 427-429.
Liu Junhong, Zhang Bailiang, Wang Gehua. The study on influential factors of the industria production of straw densification briquetting fuels[J]. Transactions of the Chinese agricultural Science bulletin, 2006, 22(2): 427-429. (in Chinese with English abstract)
- [10] 刘向东, 常同立, 王述洋. 北方秸秆燃料高效应用分析及固化成型技术[J]. 能源研究与信息, 2010, 26(1): 21-26.
Liu Xiangdong, Chang Tongli, Wang Shuyang. Analysis of high-efficiency utilization of straw and the biomass-fuel briquetting technology[J]. Transactions of the Energy Research and Information, 2010, 26(1): 21-26. (in Chinese with English abstract)
- [11] 关正军, 李文哲, 杨柏松, 等. 牛粪螺旋压榨固液分离工艺参数优化[J]. 农业工程学报, 2010, 26(12): 276-279.
Guan Zhengjun, Li Wenzhe, Yang Baisong, et al. Optimization on parameters of solid-liquid separation process of dairy manure by screw press[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(12): 276-279. (in Chinese with English abstract)
- [12] 任南琪, 王爱杰. 厌氧生物技术原理与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [13] GB/T 213-2008. 《煤的发热量测定方法》[S]. 中国标准出版社, 2008, 11.
- [14] 国家环境保护总局. 《水和废水监测分析方法》[S]. 中国环境科学出版社, 2002, 12.
- [15] 边炳鑫, 赵由才. 农业固体废物的处理与综合利用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [16] 杜德利, 王镇. 生物质致密成型产品的生产及应用[J]. 农业工程学报, 2006, 22(增刊1): 146-150.
Du Deli, Wang Zhen. Production and application of biomass solid product[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(Supp1): 146-150. (in Chinese with English abstract)
- [17] 吕美巧, 吴雄彪, 白晓虎. 一种小型秸秆膨化机的研制[J]. 科技通报, 2009, 25(5): 620-623.
Lü Meiqiao, Wu Xiongbiao, Bai Xiaohu. Design and study of a small crop straw extruder[J]. Transactions of the Bulletin of Science and Technology, 2009, 25(5): 620-623. (in Chinese with English abstract)
- [18] Kaparaju P L N, Rintala J A. Effects of solid-liquid separation on recovering residual methane and nitrogen from digested dairy cow manure[J]. Bioresource Technology, 2008, 99: 120-127.
- [19] 张克强, 高怀友. 畜禽养殖业污染物处理与处置[M]. 化学工业出版社, 2003.
- [20] El-Mashad H M, Zhang R. Co-digestion of food waste and dairy manure for biogas production[J]. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2007, 50(5): 1815-1821.

Effect of solid-liquid separation on utilization of dairy manure

Guan Zhengjun, Li Wenzhe^{*}, Zheng Guoxiang, Bi Lanping

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

Abstract: Pretreatment may increase the effect of dairy manure utilization, In this paper, dairy manure with water was separated using screw solid-liquid separator, fiber content of solid matter and separated liquid, heat value of solid matter and viscosity coefficient and C/N ratio of separated liquid were investigated. Solid matters were pressed into block by press mounding machine, providing fuel for temperature raising and maintaining in biogas fermentation. Anaerobic fermentation tests were carried and contrasted by using separated liquid and integrated original dairy manure. Results showed that methane-producing rate could be improved and hydraulic retention time decreased for separated liquid fermentation. Gas-producing rate of separated liquid increased by 32.68% than that of original dairy manure when materials VS were 4.86% and 4.98% with 30% inoculums at (35±2)°C, respectively. The results can provide references for reclamation of dairy manure in high-cold areas.

Key words: anaerobic fermentation, biogas, solid-liquid separation, dairy manure, press mounding