

羊、鸭、兔粪厌氧消化产沼气潜力与特性

宋立¹, 邓良伟^{1*}, 尹勇², 蒲小东¹, 王智勇¹

(1. 农业部沼气科学研究所, 成都 610041; 2. 四川省农村能源办公室, 成都 610041)

摘要: 为弄清羊、鸭、兔粪便厌氧消化产沼气潜力及特性, 试验以各新鲜粪便为发酵原料, 以自行培养的厌氧污泥为接种物, 在(35±1)℃、(25±1)℃和常温(9~19℃)条件下进行了批式厌氧消化试验, 研究了各粪便厌氧消化的产气速率与产气量、酸碱度变化、消化料液 COD 及 NH₄⁺-N 的去除效率。试验结果显示: (35±1)℃时各原料总固体(TS)产气率为: 羊粪 0.273 m³/kg, 鸭粪 0.441 m³/kg, 兔粪 0.210 m³/kg; (25±1)℃(羊粪为(27±2)℃)时为: 羊粪 0.206 m³/kg, 鸭粪 0.359 m³/kg, 兔粪 0.174 m³/kg; 常温时鸭粪为 0.082 m³/kg, 兔粪为 0.098 m³/kg。各粪便(35±1)℃消化前 30 d 产气量占总产气量的比例为: 羊粪 83.3%, 鸭粪 89.7%, 兔粪 91.4%; (25±1)℃(羊粪为(27±2)℃)消化前 30 d 产气量占总产气量的比例为: 羊粪 74.4%, 鸭粪 64.5%, 兔粪 84.8%。对比猪、鸡、牛粪厌氧消化产气潜力, (35±1)℃发酵条件下 6 种粪便的原料总固体产气率表现为: 鸡粪>鸭粪>猪粪>牛粪>羊粪>兔粪。各粪便发酵启动时加入质量分数为 30% 的厌氧污泥, 厌氧消化过程中均能实现酸碱度自平衡。厌氧消化对各粪便 COD 有明显的去除效果, 对 NH₄⁺-N 无去除效果。
关键词: 厌氧消化, 粪便, 沼气, 产气速率, 化学需氧量, 氨氮

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.10.047

中图分类号: S216.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-10-0277-06

宋立, 邓良伟, 尹勇, 等. 羊、鸭、兔粪厌氧消化产沼气潜力与特性[J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 277-282.
Song Li, Deng Liangwei, Yin Yong, et al. Biogas production potential and characteristics of manure of sheep, duck and rabbit under anaerobic digestion[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(10): 277-282. (in Chinese with English abstract)

0 引言

沼气发酵原料主要包括: 畜禽养殖废弃物, 如猪、鸡、牛、羊、鸭、兔等家畜家禽粪便; 农作物的秸秆、杂草、树叶等; 以及农产品加工的废物、废水, 如酒精废醪、丙酮丁醇废醪、味精、柠檬酸、淀粉、豆制品等加工废水^[1-8]。目前, 国内沼气发酵原料以猪、鸡、牛粪为主, 3 种粪便的总固体(total solid, 简称 TS)分别为: 猪粪 18%, 鸡粪 30%, 牛粪 17%; (35±1)℃时的原料总固体(TS)产气率分别为: 猪粪 0.42 m³/kg, 鸡粪 0.49 m³/kg, 牛粪 0.30 m³/kg^[1,7-8]。

研究人员^[1-8]也对人粪、马粪、玉米秸、麦秆、稻草、青草等沼气发酵原料的产气潜力及特性进行了研究, 这些原料的总固体(TS)产气量分别为 0.43、0.34、0.5、0.45、0.42、0.44 m³/kg。近几年研究人员^[9-12]又对西瓜皮、马蹄莲秸秆、蚕豆壳、羊粪等原料的产气潜力进行了试验, 原料总固体产气量分别为 0.669、0.795、0.161、0.43 m³/kg。以上研究都是以原料产沼气潜力为核心进行

的, 但还没有鸭粪、兔粪产沼气潜力的相关研究报道, 羊粪的产沼气潜力是以发酵 20 d 得出的, 不具有实际意义。本研究以羊、鸭、兔粪为发酵原料, 以原料产沼气潜力和污染物降解为试验核心展开, 以期对羊、鸭、兔养殖场配套沼气工程的工艺设计、粪污处理环保工程设计提供基础参数。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验所用羊、鸭、兔粪分别取自专业户养殖场, 接种污泥取自农业部沼气科学研究所工程中心实验室。羊、鸭、兔新鲜粪便物理化学特性见表 1。

1.2 试验装置

本试验采用批式厌氧消化工艺。试验装置包括厌氧消化装置: 1 L 自制玻璃发酵罐; 管道系统: 玻璃管和乳胶管; 气体收集测量系统: 1 L 广口瓶、带刻度集水瓶; 恒温系统: 普通型电热恒温水浴锅。

1.3 试验方法

将取回的新鲜羊、鸭、兔粪便分别去除杂质, 并特别对羊粪进行粉碎, 根据预备试验经验粪便与接种污泥按质量比 7:3 混合(污泥质量分数 30%), 然后加水稀释到总固体(TS)质量分数为 8% 的发酵液, 将各类粪便发酵液 0.9 L 分别装入消化罐内, 每种发酵料液在不同发酵条件下做 3 个重复样。

1.3.1 不同温度条件下原料产气量及产气速率试验

根据厌氧消化温度条件^[6], 试验温度设为(35±1)℃、

收稿日期: 2010-02-10 修订日期: 2010-05-06

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划(2006BAJ04B02); 国家“十一五”科技支撑计划(2008BAD4B15)

作者简介: 宋立(1980-), 男, 四川成都人, 助理研究员, 主要从事农业废弃物处理利用技术研究。成都 农业部沼气科学研究所, 610041。

Email: songli1122@yahoo.cn

*通信作者: 邓良伟(1966-), 男, 四川安岳人, 研究员, 博士, 主要从事废水生物处理研究。成都 农业部沼气科学研究所, 610041。

Email: dlwbrtc@yahoo.com.cn

表1 羊、鸭、兔粪物理化学特性

Table 1 Physical-chemical properties of sheep manure, duck manure and rabbit manure

样品	TS/%	VS/%	COD/(mg·L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N/(mg·L ⁻¹)	TN/%	TP/%	TK/%	TC/%	pH值
羊粪	30.30	20.60	137500	2102	3.15	1.33	0.25	33.44	7.98
鸭粪	16.40	13.00	114600	4845	3.77	2.36	0.14	35.00	6.82
兔粪	36.90	25.30	101200	2555	2.35	1.22	0.22	34.54	8.05

注: TS为总固体, VS为挥发性固体, COD为化学需氧量, NH₄⁺-N为氨氮, TN为总氮, TP为总磷, TK为全钾, TC为总碳。

(25±1)℃和常温(试验期室内水温在9~19℃的范围内),恒温试验用恒温水浴锅维持温度,常温试验将装置置于室内环境。每天记录原料产气量。

1.3.2 各阶段原料产气特性和pH值影响试验

60 d 试验期内,定期测定消化液pH值及产气成分。

1.3.3 厌氧消化对污染物的去除效率试验

在不同温度条件下,每周定期测定厌氧消化液的COD_{Cr}、NH₄⁺-N,计算厌氧消化对污染物的去除效率。

1.4 分析方法

pH值:玻璃电极法;COD_{Cr}:重铬酸钾法;NH₄⁺-N:钠氏试剂光度计;总固体(TS):烘干法;VS(挥发性固体):烘干法;产气成份:红外气体分析仪(型号:Gasboard-3200L,产地:中国武汉);全氮:紫外分光光度法;全磷:钼锑抗分光光度法;全钾:火焰原子吸收法;有机碳:非分散红外吸收法;以上分析方法参考《水和废水监测分析方法》第4版^[13]。

2 结果与分析

2.1 原料产气速率与产气潜力分析

2.1.1 鸭粪厌氧消化产气速率及产气潜力分析

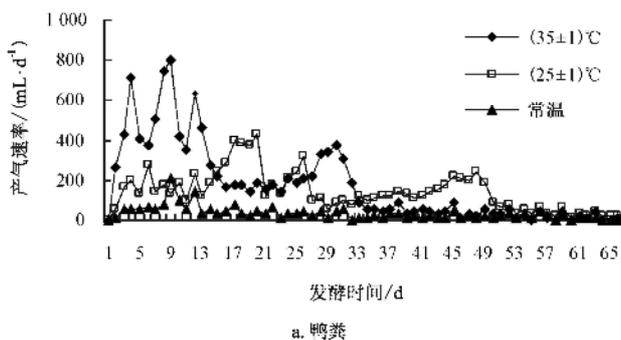
(35±1)℃时鸭粪发酵料液产气速率在第8天达到最大值,发酵前20 d累计产气量占产气总量的67.6%,前30 d占89.7%。(25±1)℃时产气峰值出现在第19天,前30 d累计产气量占总产气量的64.5%。常温发酵产气速率超过100 mL/d的仅有2 d,分别为第8天和第11天;发酵前30 d累计产气量占产气总量的78.3%。

3种温度条件下,鸭粪厌氧消化产气峰值都出现在发酵的前20 d,且发酵30 d的累计产气量占总产气量的比例都超过了60%;对比3种温度条件下的原料产气率,(35±1)℃时鸭粪的原料产气率是(25±1)℃时的1.23倍,是常温的5.40倍,因此鸭粪(35±1)℃发酵时产沼气效果最好(表2,图1)。

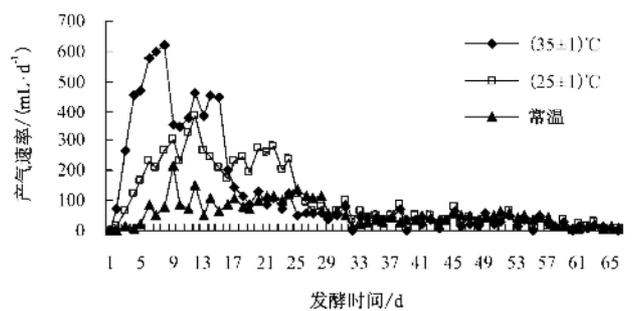
表2 不同温度条件下羊、鸭、兔粪发酵产沼气速率与产气潜力

Table 2 Biogas production rate and biogas production potential of sheep manure, duck manure and rabbit manure at different temperatures

原料	发酵温度	各阶段累计产气量百分比/%						原料产气率	
		10 d	20 d	30 d	40 d	50 d	60 d	鲜粪/(m ³ ·t ⁻¹)	总固体/(m ³ ·kg ⁻¹)
羊粪	(35±1)℃	24.5	65.0	83.3	92.6	97.2	100	83.0	0.273
	(27±2)℃	13.2	44.2	74.4	87.4	95.5	100	62.0	0.206
	常温	/	/	/	/	/	/	/	/
鸭粪	(35±1)℃	44.6	67.6	89.7	95.6	98.5	100	72.3	0.441
	(25±1)℃	16.8	47.4	64.5	77.3	95.5	100	58.8	0.359
	常温	35.4	60.4	78.3	85.6	93.7	100	13.4	0.082
兔粪	(35±1)℃	51.5	87.8	91.4	95.2	98.2	100	77.5	0.210
	(25±1)℃	29.1	66.4	84.8	91.9	97.1	100	64.2	0.174
	常温	17.3	42.7	69.5	78.4	91.1	100	36.1	0.098



a. 鸭粪



b. 兔粪

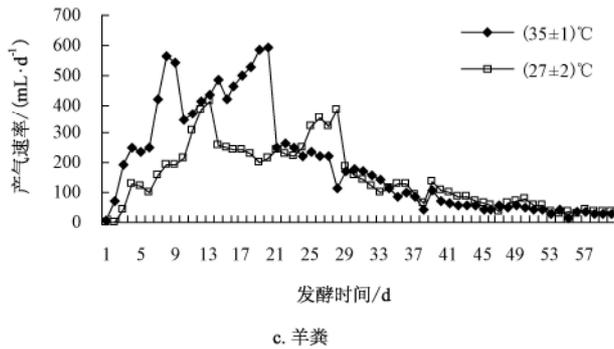


图 1 3 种粪便厌氧消化产沼气的速率随温度变化

Fig.1 Variations of biogas production rate of three kinds of manure for anaerobic digestion at different temperatures

2.1.2 兔粪厌氧消化产气速率及产气潜力分析

(35±1) °C 时兔粪发酵料液产气速率在第 7 天达到最大值, 发酵前 20 d 累计产气量占产气总量的 87.8%, 前 30 d 占 91.4%。(25±1) °C 时产气峰值出现在第 11 天, 前 30 d 累计产气量占产气总量的 84.8%。常温发酵第 8 天出现产气峰值, 试验期内产气速率较高的时间在第 19 天到第 27 天, 发酵前 30 d 累计产气量占产气总量的 69.5%。

3 种温度条件下, 兔粪厌氧消化的产气峰值一般出现在发酵的前 15 d, 但常温发酵产气主要集中在 19~27 d。发酵 30 d 的累计产气量占总产气量的比例都在 69% 以上; (35±1) °C 时兔粪的原料产气率是 (25±1) °C 时的 1.21 倍, 是常温的 2.15 倍, 因此兔粪 (35±1) °C 发酵时产气效果最好 (表 2, 图 1)。

2.1.3 羊粪厌氧消化产气速率及产气潜力分析

以羊粪为沼气发酵原料, 进行了 2 次产气试验。第 1 次试验 (35±1) °C 的原料总固体 (TS) 产气率为 0.084 m³/kg, (25±1) °C 为 0.058 m³/kg, 常温为 0.015 m³/kg, 但根据邵希豪等^[14]沼气潜力的计算方法, 以及王新谋等^[15]提供的基础参数, 羊粪总固体产气率应该约为 0.35 m³/kg, 同时本试验结果与路娟娟等^[16]的研究结果: 羊粪发酵产沼气潜力为 214.47 mL/g 相差甚远。于是又进行了第 2 次以羊粪为原料的产气潜力试验。

第 2 次试验 (注: 以下相关羊粪的分析均针对该次试验), 从某大耳羊原种场取样进行发酵, (35±1) °C 时原料总固体 (TS) 产气率为 0.273 m³/kg, 产气速率在第 20 天达到最大值, 发酵 20 d 累计产气量占总产气量的 65.0%, 前 30 d 占 83.3%。(27±2) °C 时原料总固体 (TS) 产气率为 0.206 m³/kg, 产气峰值出现在第 13 天, 前 30 d 累计产气量占总产气量的 74.4%。本次试验是在夏季进行, 重复常温 (9~19 °C) 试验较困难, 因此未进行常温条件试验。

2 种温度条件下, 羊粪厌氧消化的产气峰值一般出现在发酵的前 20 d。发酵 30 d 的累计产气量占总产气量的比例都在 74.0% 以上; (35±1) °C 时羊粪的原料产气率是 (27±2) °C 时的 1.33 倍, 因此羊粪 (35±1) °C 温度条件下产沼气效果较好 (表 2, 图 1)。

综上所述, 在 (35±1) °C、(25±1) °C (羊粪为 (27±2) °C) 和常温 3 种温度条件下, 羊、鸭、兔粪厌氧发酵产沼

气总表现为温度越高原料产气率越高, 即在 (35±1) °C 发酵温度条件下各粪便的原料产沼气性能最好。对比 (35±1) °C 发酵温度条件下猪粪总固体 (TS) 产气率 0.42 m³/kg、鸡粪 0.49 m³/kg、牛粪 0.30 m³/kg^[1,7-8], 6 种畜禽粪便的原料总固体 (TS) 产气率表现为: 鸡粪 > 鸭粪 > 猪粪 > 牛粪 > 羊粪 > 兔粪。

2.2 酸碱度变化与甲烷含量分析

2.2.1 酸碱度变化分析

羊粪、兔粪稀释 10 倍料液呈弱碱性, pH 值为 7.98 和 8.05; 鸭粪稀释 10 倍料液呈弱酸性, pH 值为 6.82。从图 2 可以看出羊、鸭、兔粪发酵初期, pH 值均呈下降趋势, 且发酵温度越高下降速率越快。(35±1) °C 羊粪料液发酵 1 周 pH 值降至最低值 6.30, 随后升高, 2 周后 pH 值维持在 6.80~7.10 的范围内; (27±2) °C 发酵料液 pH 值变化规律与 (35±1) °C 料液相似, 见图 2a。鸭粪料液在发酵初期迅速酸化, (35±1) °C 发酵 5 d 的 pH 值便降至 6.10, 在随后 5 d 升高至 6.80, 进入了厌氧消化最适 pH 值范围;

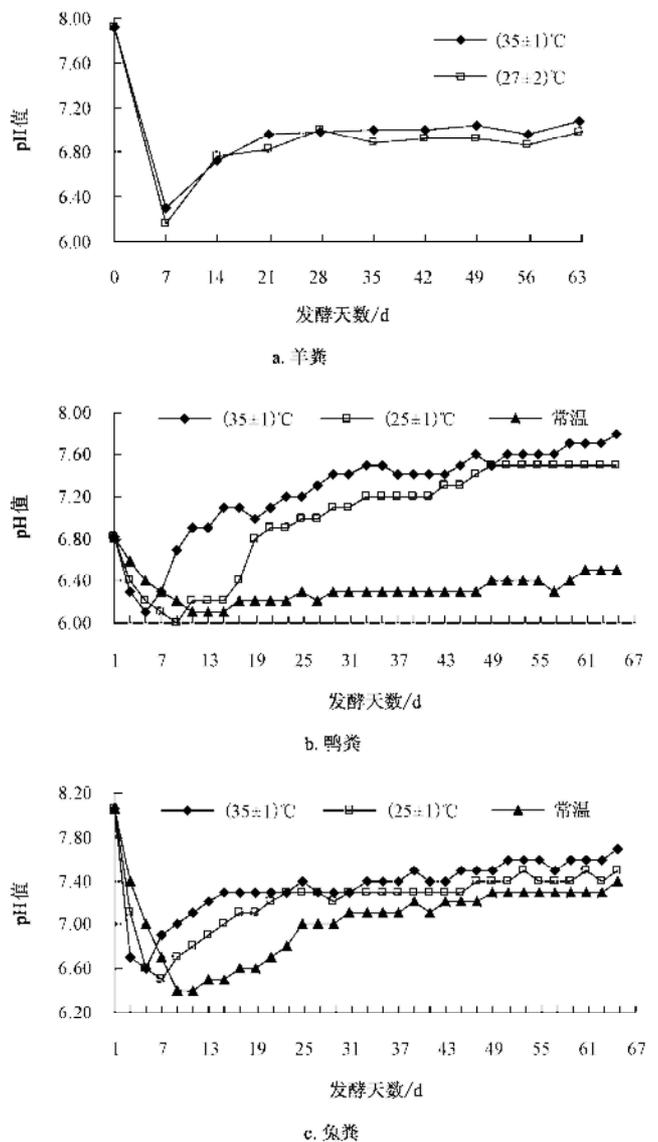


图 2 3 种粪便厌氧消化 pH 值随时间的变化

Fig.2 Variations of pH value of three kinds of manure for anaerobic digestion with different times

(25±1)℃发酵料液在发酵9 d时, pH值降至最低值6.00, 随后9 d的pH值升高至6.80, 并维持在pH值6.80~7.50的范围, 见图2b。兔粪料液发酵周期内pH值变化趋势与(25±1)℃的鸭粪料液类似, 但兔粪料液pH值变化在厌氧消化最适pH值范围内的天数最多, (35±1)℃料液只有第3~5 d略偏酸性, 最小pH值为6.6; (25±1)℃料液第5~10 d略偏酸性, 最小pH值为6.5; 常温料液第7~22天略偏酸性, 最小pH值为6.4, 见图2c。

2.2.2 产气甲烷体积分数与酸碱度变化关系分析

根据羊粪、鸭粪发酵产生沼气中甲烷体积分数的变

化, 对比pH值制作拟合曲线并生成二元回归方程, 见图3。分析得知: 当(35±1)℃时羊粪料液pH值为6.70~7.00, (27±2)℃时为6.80~7.10; (35±1)℃时鸭粪料液pH值为6.60~7.50, (25±1)℃时为6.70~7.50时, 各料液产沼液中甲烷体积分数可达到60%以上。利用二元回归方程计算出不同发酵温度羊粪料液pH值为6.90时, 鸭粪料液pH值为7.15时, 可达最大甲烷体积分数。由此推断羊粪厌氧消化最适产甲烷pH值为6.80~7.00, 鸭粪最适产甲烷pH值为7.00~7.30。由于兔粪产气成份测试数据小于6个, 对其分析不具有科学价值, 故在此不做讨论。

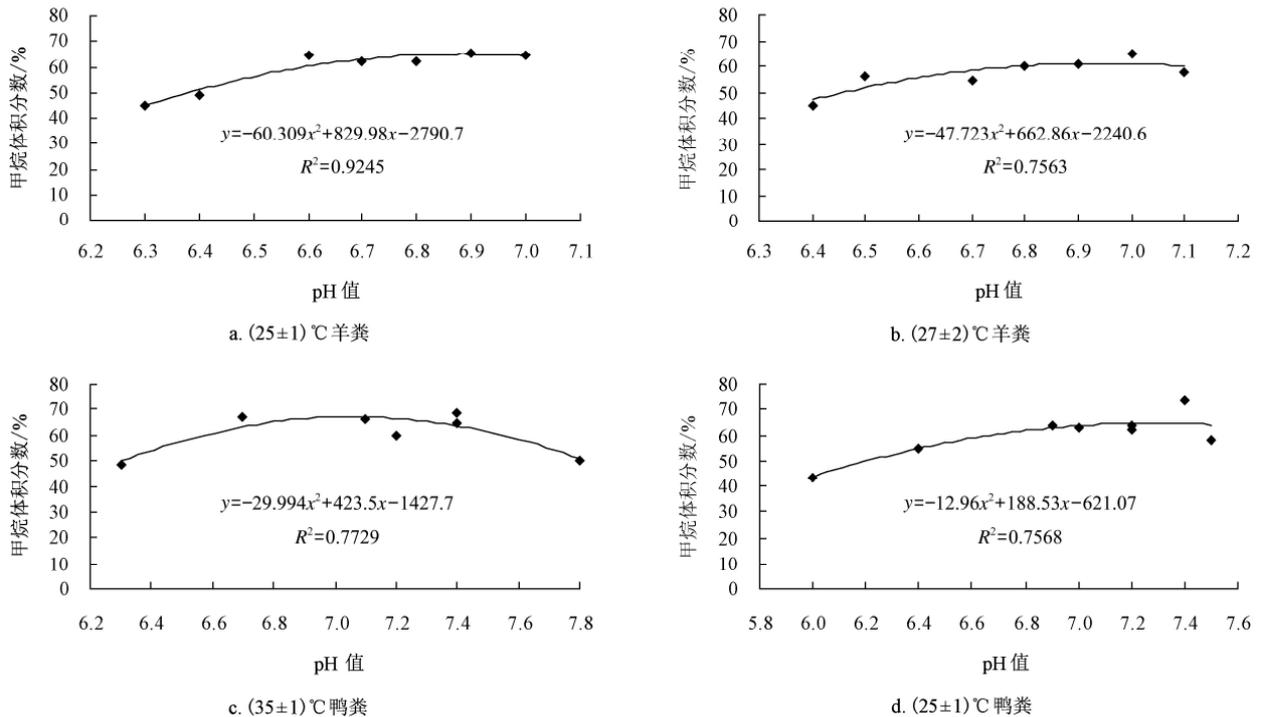


图3 2种粪便厌氧消化产甲烷体积分数随酸碱度变化

Fig.3 Variations of methane concentration of two kinds of manure for anaerobic digestion with different pH value

2.3 发酵液化学需氧量降解效果分析

新鲜羊粪COD质量浓度为137 500 mg/L, 调配TS质量分数为8%羊粪发酵料液上清液的COD质量浓度约为6 200 mg/L, 经过1周消化(35±1)℃发酵料液COD质量浓度略有升高, 第2~4周两种温度发酵料液COD质量浓度呈下降趋势, 且下降速度较快。发酵料液COD质量浓度降低速率呈: (35±1)℃料液 > (27±2)℃料液。第5~9周各发酵料液COD质量浓度下降趋势较为缓慢。试验结束后, (35±1)℃羊粪发酵料液上清液COD总去除率为80.8%, 其中前30 d即去除69.8%; (27±2)℃料液上清液COD总去除率为78.2%, 其中前30 d即去除67.5%, 见图4a。

新鲜鸭粪COD质量浓度为114 600 mg/L, TS质量分数为8%鸭粪发酵料液上清液的COD质量浓度约为18 000 mg/L, 第1周各温度发酵料液COD质量浓度下降速度较快, 在之后的8周里COD质量浓度均呈下降趋势, 但下降速度较慢。且有发酵料液COD质量浓度降低速率呈: (35±1)℃料液 > (25±1)℃料液 > 常温料液。60 d的

试验周期结束后, (35±1)℃鸭粪发酵料液上清液COD去除87.7%, (25±1)℃料液上清液COD去除81.5%, 常温料液上清液COD去除53.8%, 见图4b。

新鲜兔粪COD质量浓度为101 000 mg/L, TS质量分数为8%发酵料液上清液的COD质量浓度约为10 000 mg/L, 第1周各温度发酵料液COD质量浓度下降速度较快, 在之后的8周里各温度发酵料液上清液COD质量浓度均呈下降趋势。且有发酵料液COD质量浓度降低速率总体呈: (35±1)℃料液 > (25±1)℃料液 > 常温料液。60 d的试验周期结束后, (35±1)℃兔粪发酵料液上清液COD去除86.0%, (25±1)℃料液上清液COD去除79.0%, 常温料液上清液COD去除70.8%, 见图4c。

2.4 发酵液氨氮去除效果分析

羊、鸭、兔新鲜粪便的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 质量浓度分别约为2 100、4 850、2 550 mg/L。TS质量分数为8%料液厌氧消化启动初期, 羊粪料液的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 质量浓度为268 mg/L, 鸭粪料液的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 质量浓度为1 147 mg/L, 兔粪料液的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 质量浓度为612 mg/L。在反应初期(约7 d左右)

各发酵原料的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 质量浓度在不同温度条件下都呈下降趋势。随着系统的逐渐恢复， $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 质量浓度也呈持续上升的趋势^[17]，但始终维持在一定范围内。在 60 d 的试验周期内，不同温度条件下羊粪发酵料液 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 质量浓度始终维持在 167~368 mg/L 范围内，见图 5a；鸭粪料液 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 质量浓度维持在 862~1 165 mg/L 范围内，见图 5b；兔粪料液 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 质量浓度维持在 275~766 mg/L 范围内，见图 5c。

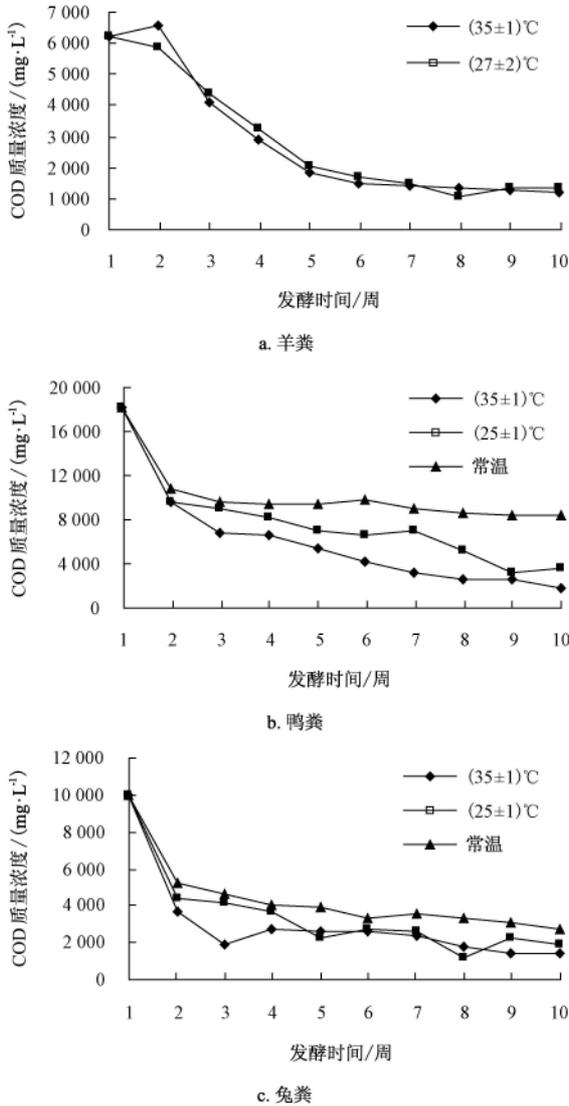


图 4 3 种粪便厌氧消化 COD 质量浓度随时间变化
Fig.4 Variations of COD mass concentrations of three kinds of manure for anaerobic digestion with different times

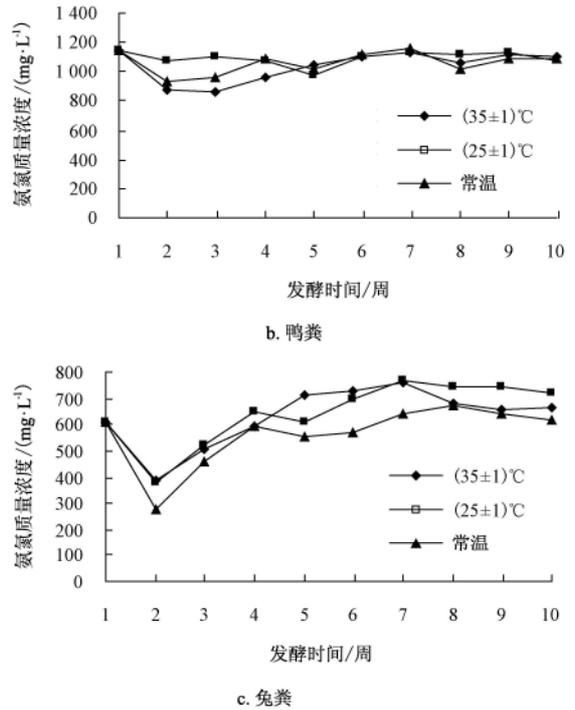
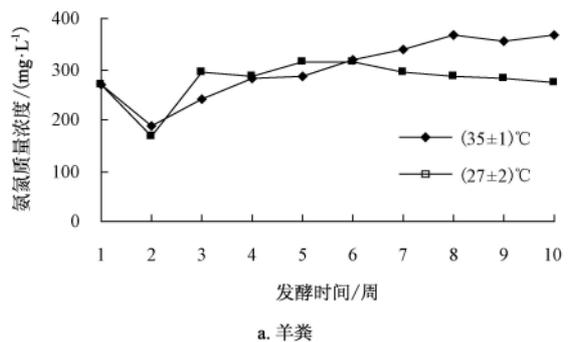


图 5 3 种粪便厌氧消化液 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 质量浓度随时间变化
Fig.5 Variations of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ mass concentrations of three kinds of manure for anaerobic digestion with different times

3 结 论

1) 羊粪、鸭粪或兔粪厌氧消化产沼气，在一定温度条件下原料总固体产气率表现为：鸭粪>羊粪>兔粪；在不同温度条件下各粪便原料产气率表现为： $(35\pm 1)^\circ\text{C} > (25\pm 1)^\circ\text{C}$ (羊粪为 $(27\pm 2)^\circ\text{C}$) > 常温。

2) $(35\pm 1)^\circ\text{C}$ 时各原料总固体产气率分别为：羊粪 $0.273 \text{ m}^3/\text{kg}$ ，鸭粪 $0.441 \text{ m}^3/\text{kg}$ ，兔粪 $0.210 \text{ m}^3/\text{kg}$ ，3 种粪便产沼气高峰都出现在前 20 d，前 20 d 产气量占总产气量的比例为：羊粪 65.0%，鸭粪 67.6%，兔粪 87.8%，前 30 d 产气量占总产气量的比例为：羊粪 83.3%，鸭粪 89.7%，兔粪 91.4%； $(25\pm 1)^\circ\text{C}$ (羊粪为 $(27\pm 2)^\circ\text{C}$)时各原料总固体产气率为：羊粪 $0.206 \text{ m}^3/\text{kg}$ ，鸭粪 $0.359 \text{ m}^3/\text{kg}$ ，兔粪 $0.174 \text{ m}^3/\text{kg}$ ，3 种粪便的产气高峰都出现在前 30 d，前 30 d 的产气量占总产气量的比例为：羊粪 74.4%，鸭粪 64.5%，兔粪 84.8%。这将为设计以羊粪、鸭粪或兔粪为原料的厌氧消化反应提供选定水力滞留期 (HRT) 的依据。

3) 以羊、鸭、兔粪为沼气发酵原料，当启动调试时加入质量分数为 30% 的厌氧污泥，各发酵料液均能实现酸碱度自平衡，并达到最佳厌氧消化的酸碱度。

4) 厌氧消化对羊、鸭、兔粪发酵料液上清液的 COD 有明显去除效果，但对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 并无去除效果。

[参 考 文 献]

[1] Callaghan F J, Wase D A J, Thayanithy K, et al. Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure[J]. Biomass and Bioenergy, 2002, 22(1): 71-7.

[2] Fountoulakis M S, Drakopoulou S, Terzakis S, et al. Potential

- for methane production from typical Mediterranean agro-industrial by-products[J]. *Biomass and Bioenergy*, 2008, 32(2): 155–161.
- [3] Nallathambi Gunaseelan V. Biochemical methane potential of fruits and vegetable solid waste feedstocks[J]. *Biomass and Bioenergy*, 2004, 26(4): 389–99.
- [4] Kalia A K, Singh S P. Effect of mixing digested slurry on the rate of biogas production from dairy manure in batch fermenter[J]. *Energy Sources*, 2001, 23(8): 711–715.
- [5] 张翠丽, 杨改河, 任广鑫, 等. 温度对4种不同粪便厌氧消化产气效率及消化时间的影响[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(7): 209–212.
Zhang Cuili, Yang Gaihe, Ren Guangxin, et al. Effects of temperature on biogas production efficiency and fermentation time for anaerobic digestion of four manures[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(7): 209–212. (in Chinese with English abstract)
- [6] 周孟津. 沼气实用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 22–54.
- [7] 姚爱莉. 我国农村常用沼气发酵原料的产气潜力与特性[J]. *中国沼气*, 1988, 6(1): 20–24.
- [8] GB 9958–1988, 农村家用沼气发酵工艺规程[S].
- [9] 陈丽琼, 尹芳, 官会林, 等. 西瓜皮发酵产沼气潜力的研究[J]. *农业与技术*, 2005, 25(4): 75–78.
Chen Liqiong, Yin Fang, Guan Huilin, et al. Study on the yield of biogas production of watermelon skin[J]. *Transactions of the Agriculture and Technology*, 2005, 25(4): 75–78. (in Chinese with English abstract)
- [10] 苏有勇, 张无敌. 马蹄莲秸秆发酵产沼气潜力的研究[J]. *农业与技术*, 2003, 23(6): 53–57.
Su Youyong, Zhang Wudi. Potential of the biogas fermentation with calla straw[J]. *Transactions of the Agriculture and Technology*, 2003, 23(6): 53–57. (in Chinese with English abstract)
- [11] 尹雯, 茹菁宇, 刘士清, 等. 蚕豆壳发酵产沼气潜力的研究[J]. *阳光能源*, 2006, (2): 57–58.
Yin Wen, Ru Jingyu, Liu Shiqing, et al. The study of biogas fermentation with hull of horse bean[J]. *Transactions of the Solar and renewable energy sources*, 2006, (2): 57–58. (in Chinese with English abstract)
- [12] 刘德江, 高桂丽, 朱妍梅, 等. 猪粪、牛粪、羊粪沼气发酵比较试验[J]. *塔里木大学学报*, 2005, (2): 10–12.
Liu Dejiang, Gao Guili, Zhu Yanmei, et al. The comparison experiment of biogas fermentation with pig dung, cow dung or sheep dung[J]. *Transactions of the Journal of Tarim University*, 2005, (2): 10–12. (in Chinese with English abstract)
- [13] 王心芳. 水和废水监测分析方法[M]. 第4版. 北京: 中国环境科学出版社.
- [14] 邵希豪, 黄金平. 十种沼气发酵原料的产气潜力[J]. *江西省科学院院刊*, 1984, 2(3): 56–59.
Shao Xihao, Huang Jinping. On the potentiality of biogas production of ten kinds raw materials for biogas fermentation[J]. *Transactions of the Bulletin of Jiangxi academy of sciences*, 1984, 2(3): 56–59. (in Chinese with English abstract)
- [15] 王新谋. 家畜粪便学[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1997.
- [16] 路娟娟, 张无敌, 刘士清, 等. 羊粪沼气发酵产气潜力的试验研究[J]. *可再生能源*, 2006, (5): 29–31.
Lu Juanjuan, Zhang Wudi, Liu Shiqing, et al. Potential research of biogas fermentation with goat dung[J]. *Transactions of the Renewable Energy*, 2006, (5): 29–31. (in Chinese with English abstract)
- [17] 蒋建国, 王岩, 隋继超, 等. 厨余垃圾高固体厌氧消化处理中氨氮浓度变化及其影响[J]. *中国环境科学*, 2007, 27(6): 721–726.
Jiang Jianguo, Wang Yan, Sui Jichao, et al. Variations of the ammonia concentration of high solid anaerobic digestion technology for organic waste[J]. *Transactions of the China Environmental Science*, 2007, 27(6): 721–726. (in Chinese with English abstract)

Biogas production potential and characteristics of manure of sheep, duck and rabbit under anaerobic digestion

Song Li¹, Deng Liangwei^{1*}, Yin Yong², Pu Xiaodong¹, Wang Zhiyong¹

(1. *Biogas Scientific Research Institute of the Ministry of Agriculture, Chengdu 610041, China;*

2. *Rural Energy Office of Sichuan Province, Chengdu 610041, China*)

Abstract: In order to investigate the biogas production potential of sheep manure, duck manure and rabbit manure for anaerobic digestion and their characteristics, taking the three kinds of manure as the digestion material and the self-culture anaerobic sludge as the inoculation substances, under three different temperatures of $(35\pm 1)^\circ\text{C}$, $(25\pm 1)^\circ\text{C}$ and normal temperature $(9\text{--}19)^\circ\text{C}$, the experiments of anaerobic digestion of sequencing batch reactor were conducted. The biogas production rate, biogas yield, variations of pH value and variations of methane concentration with different pH, and the removal efficiency of COD and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ of wastewater of three kinds of manure were studied. The results showed that at $(35\pm 1)^\circ\text{C}$, biogas production potential of material (TS) was $0.273\text{ m}^3/\text{kg}$ for sheep manure, $0.441\text{ m}^3/\text{kg}$ for duck manure, and $0.210\text{ m}^3/\text{kg}$ for rabbit manure. At $(25\pm 1)^\circ\text{C}$, biogas production potential (TS) of material was $0.206\text{ m}^3/\text{kg}$ for sheep manure, $0.359\text{ m}^3/\text{kg}$ for duck manure, and $0.174\text{ m}^3/\text{kg}$ for rabbit manure. At normal temperature, biogas production potential of material (TS) was $0.082\text{ m}^3/\text{kg}$ for duck manure, and $0.098\text{ m}^3/\text{kg}$ for rabbit manure. Three kinds of feedstocks could achieve pH self-balancing at startup of anaerobic fermentation fed with adequate anaerobic sludge. Anaerobic digestion could evidently remove COD of three kinds of manure, but it could not decrease $\text{NH}_4^+\text{-N}$.

Key words: anaerobic digestion, manures, biogas, biogas production rate, COD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$