

镁离子对沼气反应器中莴笋皮和马铃薯皮发酵产气特性的影响

王永忠, 彭震, 廖强, 朱恂, 陈蓉

(重庆大学工程热物理研究所, 重庆大学低品位能源利用及系统教育部重点实验室, 重庆 400030)

摘要: 为了提高沼气反应器对发酵原料利用率, 缩短发酵周期, 提高产气率, 该文试验研究了镁离子添加量分别对以莴笋皮和马铃薯皮为发酵原料的抗结壳沼气反应器产气性能的影响。结果表明: 以莴笋皮为发酵原料, 每升沼液中镁盐最佳添加量为 0.30 g, 池容产气率为 0.398 m³/(m³·d), 发酵后期甲烷浓度稳定在 70%左右, 总产气量提高了 71.4%; 以马铃薯皮为发酵原料, 每升沼液中镁盐最佳添加量为 0.10 g, 池容产气率达到 0.804 m³/(m³·d), 发酵后期甲烷浓度稳定在 68%左右, 总产气量提高了 41.6%。因此适量的镁离子添加量能缩短沼气反应器的发酵启动时间, 促进甲烷合成, 显著提高反应器的产气性能。

关键词: 发酵, 沼气, 镁, 离子, 厌氧菌, 沼气反应器

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.06.035

中图分类号: TK6; S216.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-06-0217-05

王永忠, 彭震, 廖强, 等. 镁离子对沼气反应器中莴笋皮和马铃薯皮发酵产气特性的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 217-221.

Wang Yongzhong, Peng Zhen, Liao Qiang, et al. Effect of magnesium ions on biogas production characteristics of lettuce and potato peelings in anaerobic digester[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(6): 217-221. (in Chinese with English abstract)

0 引言

中国可用于厌氧发酵产沼气的资源种类繁多, 资源总量丰富。户用沼气技术在中国农村发展迅速^[1-2], 但仍存在以下因素限制: 原料利用率低、产气率低、甲烷含量低、热值低^[3-4]、发酵原料产生的浮渣易在沼液表面结壳及沼气池发酵启动时间长等。目前一种新型带抗结壳装置沼气反应器已研制成功, 该装置有效地消除了沼气反应器内沼渣结壳的现象并在一定程度上提高了沼气产率^[5]。但由于发酵原料营养成分单一, 微生物代谢所必需金属元素含量较低, 仍然延长了抗结壳沼气反应器的发酵启动时间, 降低了发酵原料的水解率和产气率^[6]; 另一方面, 不同的发酵原料, 其纤维素、木质素等含量各异, 水解发酵程度和产气效果均存在差异^[7-9], 而纤维素的水解是限制固体废弃物厌氧处理的关键步骤^[10-11]。研究表明适当补充外源添加剂能克服原料成分单一对产气性能的限制, 加速厌氧微生物新陈代谢, 有效提高沼气发酵的原料利用率和沼气产气率^[12-14]。如 Kaan 等^[15]研究发现铁离子和铝离子能促进污水厌氧发酵产气量; Yadvika 等^[16]研究发现镁离子能改善细胞通透性, 产生特殊水解酶; 张无敌等^[17]研究发现水解酶能增强沼气发酵过程中水解阶段的代谢速率, 从而提高沼气产量; 马磊等^[18]研究发现添加镁离子明显提高了餐厨

垃圾水解率, 产气高峰提前; 王永泽等研究了沼液 pH 值对沼气发酵的影响^[19]。此外, 人们研究了尿素和纤维素对粪便和秸秆发酵的影响, 发现适宜添加量能提高产气率^[20-21]。目前, 关于对沼气发酵过程中产气量、甲烷浓度、沼液 pH 值等影响的系统研究分析报道较少。

本课题将以前期研制的新型抗结壳装置沼气反应器为载体, 系统研究不同添加量的镁盐对以纤维素含量为主的莴笋皮和以淀粉为主的马铃薯皮为发酵原料的抗结壳沼气反应器发酵产气及沼液特性的影响, 发现适量的镁离子添加量能缩短沼气反应器的发酵启动时间, 促进甲烷合成, 显著提高反应器的产气性能。

1 材料与方法

1.1 试验装置

1.1.1 沼气发生系统

沼气发生系统由沼气反应器、温控系统、气体收集器等组成, 如图 1 所示。其中圆柱体形反应器主体(直径 220 mm, 高度 300 mm)为有机玻璃材质, 其总容积为 11.4 L, 反应器有效容积为 9.0 L。反应器四周及上下底面均包裹保温材料以减少与外界的热交换, 侧面开设 3 个取样孔, 取样孔距反应器底面高度分别为 50、100 和 200 mm。抗结壳装置布置于反应器内沼液液面下; 在反应器下部布置一节点加热器, 与调压器及数采系统组成反应器的温控系统。产生的气体以排水法收集。

1.2 菌种和发酵原料

产甲烷菌群取自野外采集的污水沟活性污泥。发酵原料为莴笋皮残渣和马铃薯皮残渣, 其总固体物(TS)质量分数分别为(15±3)%、(20±3)%, 处理为 5 cm

收稿日期: 2011-06-07 修订日期: 2012-02-23

基金项目: 重庆市科技攻关项目(CSTC, 2009AC6056); “211 工程”三期建设(No.S-09101); “研究生科技创新基金”个人项目(No.CDJXS11140006); 国家杰出青年基金项目(50825602)

作者简介: 王永忠(1967-), 男, 四川资阳人, 副教授, 主要研究方向为环境与能源生物技术中的热物理问题。重庆 重庆大学工程热物理研究所, 400030。Email: wangyzh@cqu.edu.cn

左右的长度, 室温厌氧堆沤预处理 7 d。

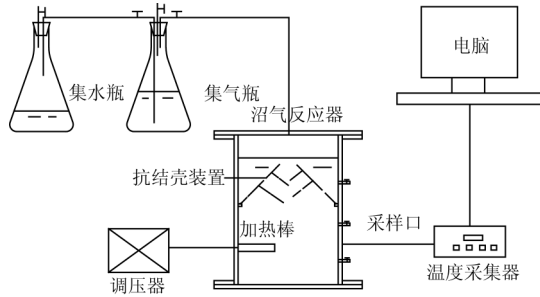


图 1 试验装置系统图
Fig.1 System chart of experimental device

1.3 操作方法

将 2.0 kg 经堆沤预处理后的发酵原料与 2.0 L 活性污泥均匀混合装入反应器, 向反应器中加入适量水, 配制成固体物质量浓度为 4% 的发酵液, 分别向反应器内加入一定量的 $MgSO_4$ 并调节初始 pH 值为 6.8 左右。固定抗结壳装置, 密封反应器, 并通入氩气以创造厌氧环境。整个反应器系统处于静置的自然发酵过程。发酵过程中调节节点加热棒的加热功率, 使反应器内沼液温度控制在 $(27 \pm 3)^\circ C$ 范围内。发酵期间定时取样检测产气量、甲烷浓度和沼液 pH 值。反应器内沼液 pH 值以反应器上、中、下层沼液取样之平均值表示。

1.4 检测方法和仪器

系统产气量采用排饱和食盐水法测量; 药品质量称量采用精密分析电子天平 (Sartorius BP114, 德国); 沼液 pH 值以 pH 酸度计 (Ecoscan-pH6, 新加坡) 测量; 甲烷浓度以气相色谱仪 (SC-3000, 川仪九厂) 测量, 技术参数: 载气为氩气, 流量为 25 mL/min, 热导检测器, 桥流 80 mA, 柱箱温度 $55^\circ C$, 汽化温度和检测室温度均为 $100^\circ C$; 沼液温度由 Agilent 数据采集器采集。

2 结果与分析

2.1 茼笋皮为原料的抗结壳沼气反应器的添加试验

茼笋皮富含纤维素、木质素等难降解物质, 而添加 $MgSO_4$ 能加快厌氧微生物对此类物质的分解, 有利于发酵过程的进行, 因为 Mg^{2+} 具有提高菌种活性, 促进酶的活化, 改善细胞通透性的作用^[22]。试验时, 抗结壳沼气反应器每升沼液中 $MgSO_4$ 的添加量分别为 0.05、0.10、0.30、0.50 g, 监测 30 天发酵过程中抗结壳沼气反应器沼液 pH 值、产气量和甲烷浓度等变化。

2.1.1 沼液 pH 值的变化

不同 $MgSO_4$ 添加量下, 反应器内沼液 pH 值随时间的变化如图 2 所示。由图 2 发现, 在发酵初期, 未添加 $MgSO_4$ 反应器沼液 pH 值在第 4 天降至最低值 5.2, 之后缓慢回升, 末期稳定在 6.8 左右, 表明系统自我调节酸碱平衡的能力相对较弱。添加少量 $MgSO_4$ (0.05 g/L) 反应器沼液 pH 值发酵初期下降较慢, 第 4~8 天缓慢回升, 之后回升较快; $MgSO_4$ 添加量增至 0.10 g/L 时, 反应器沼液 pH 值发酵初期下降进一步减慢, 最低 pH 值稳定于

5.6 左右, 高于同期其他低浓度镁盐添加试验组。 $MgSO_4$ 添加量进一步增至 0.30 g/L 及以上时, 沼液 pH 值回升进一步加快, 其值处于较高水平, 系统响应较快。发酵末期, 各 $MgSO_4$ 添加组 pH 值均回升至 7.1 左右, 高于未添加组, 添加量对沼液 pH 值影响较小。

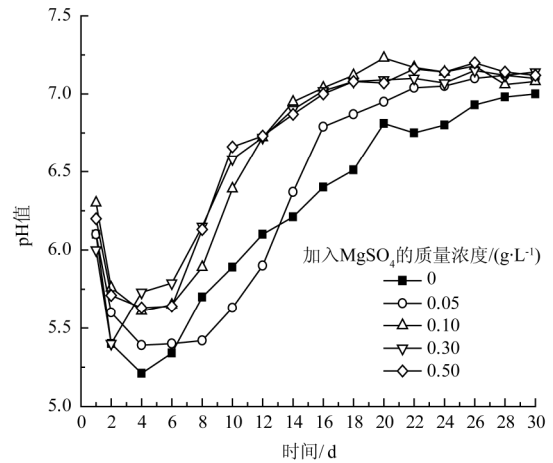
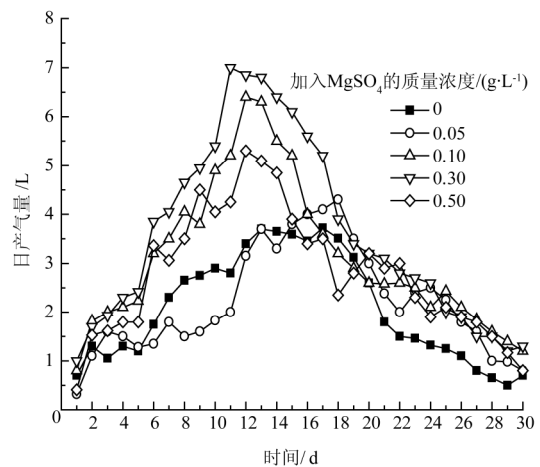


图 2 硫酸镁添加量对以茼笋皮为原料的沼液 pH 值变化的影响
Fig.2 Effect of supplement amount of magnesium sulfate on pH value of biogas slurry

2.1.2 日产气量的变化

$MgSO_4$ 添加量对反应器日产气量影响如图 3 所示。由图 3 发现, 未添加 $MgSO_4$ 反应器产气在发酵第 17 天最大, 为 3.72 L, 之后伴随物料消耗, 产气下降。添加少量 $MgSO_4$ (0.05 g/L) 时, 发酵初期产气高于未添加组, 在发酵的第 5~13 天, 产气低于未添加组, 这与其沼液 pH 值回升缓慢有关。 $MgSO_4$ 添加量增加为 0.10 g/L 时, 发酵前期, 日产气量显著增加, 产气高峰提前至第 12 天, 峰值提高到 6.4 L。 $MgSO_4$ 添加量继续增加至 0.30 g/L 时反应器在第 11 天出现产气峰值, 为 7.0 L, 较未添加组的日产气峰值提高了 88.2%, 此时沼液 pH 值接近 7.0, 表明该添加量满足菌种需求, 增强了系统调节酸碱平衡的能力, 促进了产甲烷菌群的代谢。而 $MgSO_4$ 添加量增至



注: 2.0 kg 经堆沤预处理后的茼笋皮与 2.0 L 活性污泥为反应物。

图 3 硫酸镁添加量对以茼笋皮为原料的沼液日产气量影响
Fig.3 Effect of supplement amount of magnesium sulphate on daily biogas production

0.5 g/L 时, 尽管沼液能较快地调节酸碱平衡, 但发酵的中、前期日产气量反而下降, 表明较高浓度的镁离子添加量抑制了产甲烷细菌的活性。发酵末期, 各镁盐添加量下的反应器总产气量均高于未添加组的, 试验结束, 每升沼液中 MgSO_4 添加量为 0.05、0.10、0.30、0.50 g 时, 总产气量分别为 66.4、93.7、107.3、83.64 L, 相当于池容产气率为 0.246、0.347、0.398、0.31 $\text{m}^3/(\text{m}^3\cdot\text{d})$, 与未添加组的 62.62 L 相比, 分别提高 6%、49.6%、71.4%、33.6%。

2.1.3 产气中甲烷浓度的变化

不同 MgSO_4 添加量下, 反应器产气中甲烷浓度随时间的变化如图 4 所示。从图 4 中可以看出, 随着产甲烷菌群的生长繁殖, 其活性增强, 产气中甲烷体积分数呈逐渐上升趋势。从发酵第 4 天起, 添加 MgSO_4 后的沼气反应器产气中甲烷体积分数较接近, 但明显高于未添加组的, 表明添加 MgSO_4 有利于提高产甲烷菌活性, 甲烷体积分数相比提高。其中 MgSO_4 添加量为 0.30 g/L 时, 得到相对较高的甲烷浓度, 其最高体积分数达到 71% 以上。

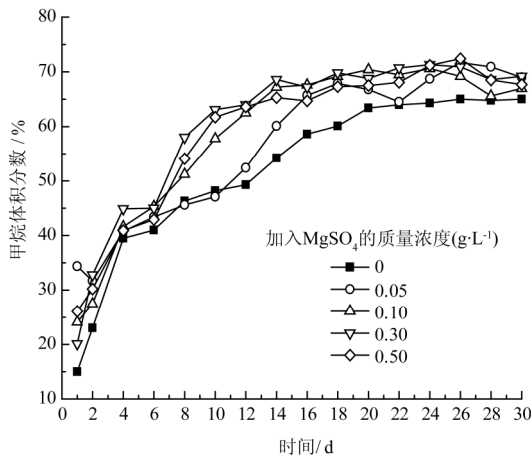


图 4 硫酸镁添加量对以茼筴皮为原料时产气中甲烷浓度影响
Fig.4 Effect of supplement amount of magnesium sulphate on methane concentration

以上结果表明: 在以纤维素含量为主的茼筴皮为发酵原料, 向抗结壳沼气反应器中添加适量的 MgSO_4 , 能有效调节沼液 pH 值, 改善沼液酸碱度, 加快发酵启动, 加速难降解纤维素的分解利用, 日产气量增加且最大日产气量显著提高, 产生的气体中甲烷含量明显提高。但当添加量过大时, 引起沼液 Mg^{2+} 浓度过大, 从而对厌氧细菌的活性产生抑制作用, 日产气量的提高受限, 对发酵的促进作用减弱。本试验中以茼筴皮为发酵原料时, MgSO_4 最佳添加量为 0.30 g/L。

2.2 马铃薯皮为原料的抗结壳沼气反应器的添加试验

马铃薯皮富含淀粉等碳元素, 而镁离子的添加能提高菌种活性, 改善细胞通透性, 加快有机质的分解, 促进发酵产甲烷过程的进行。试验中向马铃薯皮为发酵原料的抗结壳沼气反应器每升沼液中分别加入 0.05、0.10、0.30、0.50 g 的 MgSO_4 , 监测 30 d 发酵过程中反应器沼液 pH 值、产气量和甲烷浓度等变化。

2.2.1 沼液 pH 值的变化

不同 MgSO_4 添加量下, 反应器内沼液 pH 值随时间的变化如图 5 所示。由图可知, 未添加 MgSO_4 反应器沼液 pH 值在发酵第 6 天降至最低值 5.2, 之后在氨化作用下 pH 值缓慢上升, 至第 22 天沼液 pH 值趋于平稳; 当添加 MgSO_4 量较少量时 (0.05~0.30 g/L), 在发酵初期 pH 值下降较慢且处于较高水平; 但当 MgSO_4 添加量增至 0.5 g/L 时, 发酵初期沼液 pH 值下降加快且处于较低水平, 之后沼液 pH 值缓慢上升。在发酵末期, 各组的沼液 pH 值处于相对平稳状态, 为 7.0 左右。试验结果表明添加 MgSO_4 过少或过多都明显影响产甲烷菌的前期酸化与发酵过程, 导致沼液 pH 值的明显降低, 而适量的 MgSO_4 添加量有利于抑制沼液 pH 值的过度酸化, 为发酵提供适宜的酸碱环境, 促进产甲烷菌群的前期生长。

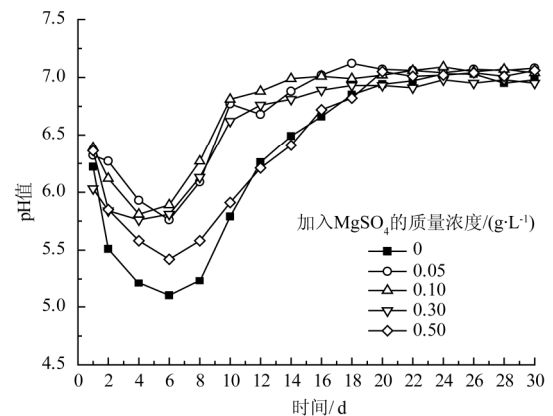
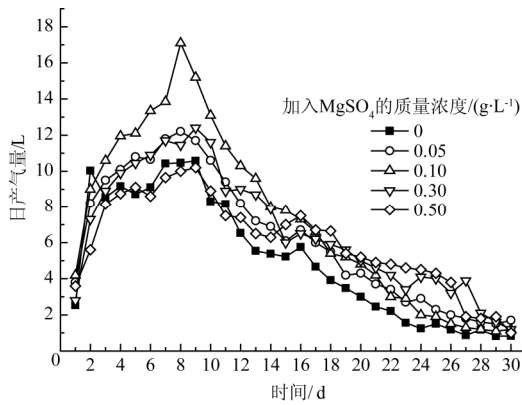


图 5 硫酸镁添加对以马铃薯皮为原料的沼液 pH 值影响
Fig.5 Effect of supplement amount of magnesium sulphate on pH value of biogas slurry

2.2.2 日产气量的变化

不同 MgSO_4 添加量下, 反应器日产气量随时间的变化如图 6 所示。未添加 MgSO_4 反应器产气在第 9 天达到最高, 为 10.6 L, 添加少量 MgSO_4 (0.05 g/L) 时反应器前期产气随发酵时间而逐渐增加, 至第 8 天得到最大日产气量为 12.2 L; MgSO_4 添加量为 0.10 g/L 时, 发酵前期反应器日产气显著增加, 至发酵第 8 天获得最大日产气量为 17.1 L; MgSO_4 添加量增至 0.30 g/L 时, 反应器厌氧微生物活性受到抑制, 产气能力降低, 发酵前期产气也显著下降, 表明高浓度的 MgSO_4 添加量不利于提高产气率。值得注意的是 MgSO_4 添加量为 0.50 g/L 反应器发酵前期产气较低, 仅在发酵末期表现出较高的产气量, 表明随着反应进行镁离子被消耗, 在发酵后期较低浓度的镁离子对沼气生产表现出一定的促进作用。试验结束, 每升沼液中 MgSO_4 添加量为 0.05、0.10、0.30、0.50 g 时, 反应器总产气量分别为 187.5、217.2、199.4、182.2 L, 相当于池容产气率为 0.694、0.804、0.738、0.675 $\text{m}^3/(\text{m}^3\cdot\text{d})$, 与未添加组的 153.4 L 相比, 分别提高了 22.2%、41.6%、30.0%、18.7%。这与 Lise Appels 等^[23]研究结果相符。



注: 2.0 kg 经堆沤预处理后的马铃薯皮与 2.0 L 活性污泥为反应物
图 6 硫酸镁添加量对以马铃薯皮为原料的日产气量影响
Fig.6 Effect of supplement amount of magnesium sulphate on daily biogas production

2.2.3 产气中甲烷浓度的变化

不同 $MgSO_4$ 添加量下, 反应器产气中甲烷浓度随时间的变化如图 7 所示。从图 7 中发现, 总体上抗结壳沼气反应器的产气中甲烷体积分数随发酵进行而逐渐增加, 在发酵至第 12 天后甲烷体积分数增势减缓并逐渐趋于平稳。同时在发酵前 6 天, 抗结壳沼气反应器产气中甲烷体积分数受 $MgSO_4$ 添加量的影响相对较小; 发酵中后期, 添加了 $MgSO_4$ 的沼气反应器产气中甲烷体积分数明显高于未添加组的, 表明 $MgSO_4$ 添加提高了产甲烷菌种活性, 促进了甲烷合成。其中以 $MgSO_4$ 添加量为 0.10 g/L 反应器的产气中甲烷体积分数相比最高, 在发酵末期基本稳定在 68% 左右, 而过高或过低的添加量都导致反应器产气中甲烷浓度的降低。

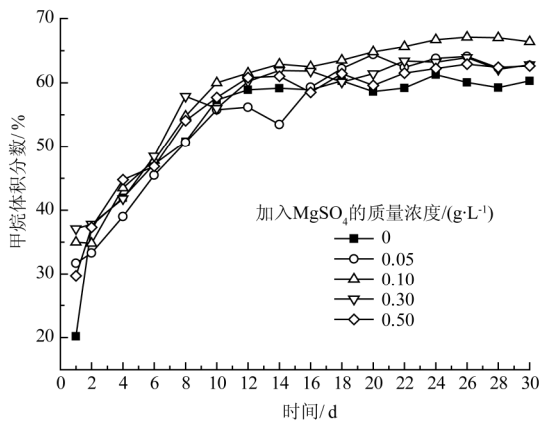


图 7 硫酸镁添加量对以马铃薯皮为原料时产气中甲烷浓度影响
Fig.7 Effect of supplement amount of magnesium sulphate on methane concentration

以上结果表明: 在以碳水化合物含量为主的马铃薯皮为发酵原料, 向抗结壳沼气反应器中添加适量的 $MgSO_4$, 能有效调节沼液 pH 值, 改善沼液酸碱度, 缩短发酵启动时间, 加速碳源的分解利用, 增强产气能力, 增加日产气量且显著提高最大日产气量, 产生的气体中甲烷含量明显增加。但当添加量过大时, 引起沼液 Mg^{2+} 浓度过大, 从而对厌氧细菌的活性产生抑制作用。本试

验中以马铃薯皮为发酵原料时, $MgSO_4$ 的最佳添加质量浓度为 0.10 g/L。

3 结论

试验研究了 $MgSO_4$ 的不同添加量对茼蒿皮和马铃薯皮 2 种不同类型发酵原料在抗结壳沼气反应器中产气特性的影响。结果表明, 适量添加 $MgSO_4$ 能提高 2 种不同发酵原料下反应器的产气速率, 减少发酵启动时间, 显著提高产气量和产气中甲烷浓度。综合沼液酸碱度、产气量和产气甲烷浓度的分析得出: 以茼蒿皮为发酵原料时, 每升沼液中硫酸镁的最佳添加量为 0.30 g, 沼气反应器的池容产气率为 $0.398 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 发酵后期甲烷体积分数稳定在 70% 左右, 总产气量较未添加硫酸镁的提高了 71.4%; 以马铃薯皮为发酵原料时, 每升沼液中硫酸镁的最佳添加量为 0.10 g, 池容产气率达到 $0.804 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 发酵后期甲烷体积分数稳在 68% 左右, 总产气量较未加硫酸镁的提高了 41.6%。

[参 考 文 献]

- [1] 沈连峰, 王谦, 轩轶, 等. 户用沼气池建设的节能减排和农民增收效果[J]. 农业工程学报, 2009, 25(10): 220-225. Shen Lianfeng, Wang Qian, Xuan Zhan, et al. Effects of household biogas pond construction on energy-saving, emission-reducing and increase in farmers' income[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(10): 220-225. (in Chinese with English abstract)
- [2] 汤云川, 张卫峰, 马林, 等. 户用沼气产气量估算及能源经济效益[J]. 农业工程学报, 2009, 25(10): 220-225. Tang Yunchuan, Zhang Weifeng, Ma Lin, et al. Estimation of biogas production and effect of biogas construction on energy economy[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(10): 220-225. (in Chinese with English abstract)
- [3] Chanakya H N, Isha Sharma, Ramachandra TV. Micro-scale anaerobic digestion of point source components of organic fraction of municipal solid waste[J]. Waste Management, 2009, 29(4): 1306-1312.
- [4] 苏宜虎, 陈晓东, 马洪儒. 搅拌对沼气发酵的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(28): 8961-8962. Su Yihu, Chen Xiaodong, Ma Hongru. Effects of stirring on biogas fermentation[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2007, 35(28): 8961-8962. (in Chinese with English abstract)
- [5] 彭震. 新型自热式抗结壳沼气反应器发酵特性研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2011. Peng Zhen. Fermentation Characteristics of the New Type Autothermal Anaerobic Digester with Anti-crusting Device[D]. Chongqing: Chongqing University, 2011. (in Chinese with English abstract)
- [6] 陈小华, 朱洪光. 农作物秸秆产沼气研究进展与展望[J]. 农业工程学报, 2007, 23(3): 279-283. Chen Xiaohua, Zhu Hongguang. Research progress and prospect on producing biogas from crop straws[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(3): 279-283. (in Chinese with English abstract)
- [7] 孙传伯, 李云, 廖梓良, 刘士清. 马铃薯皮渣沼气发酵潜力的研究[J]. 现代农业科技, 2008, (2): 8-9.

- Sun Chuanbo, Li Yun, Liao Ziliang, et al. Research on the potential of biogas production during potato peel fermentation[J]. *Anhui Agriculture*, 2008, (2): 8—9. (in Chinese with English abstract)
- [8] 孙传伯, 李永丽, 李云, 等. 云南省马铃薯产燃料乙醇的可行性研究[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(1): 310—311, 315. Sun Chuanbo, Li Yongli, Li Yun, et al. Feasibility study of fuel ethanol production from potato in yunnan province[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(1): 310—311, 315. (in Chinese with English abstract)
- [9] 武宏香, 赵增立, 张伟, 等. 碱/碱土金属对纤维素热解特性的影响. *农业工程学报*, 2012, 28(4): 215—220. Wu Hongxiang, Zhao Zengli, Zhang Wei, et al. Effects of alkali/alkaline earth metals on pyrolysis characteristics of cellulose[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2012, 28(4): 215—220. (in Chinese with English abstract)
- [10] 白洁瑞, 李轶冰, 郭欧燕. 不同温度条件粪干结构配比及尿素、纤维素酶对沼气产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(2): 188—193. Bai Jierui, Li Yibing, Guo Ouyan, et al. Effects of ratios of manure and straw, urea and cellulose on biogas yields at different temperatures[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2009, 25(2): 188—193. (in Chinese with English abstract)
- [11] 何荣玉, 袁月祥, 闫志英, 等. 提高沼气产量的外源添加物筛选研究[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(10): 181—185. He Rongyu, Yuan Yuexiang, Yan Zhiying, et al. Selection of combined additives for enhancing biogas production in anaerobic digestion[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2008, 24(10): 181—185. (in Chinese with English abstract)
- [12] 贺延龄. 水的厌氧微生物处理[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1988: 105—107.
- [13] Neves L, Oliveira R, Alves M M. Co-digestion of cow manure, food waste and intermittent input of fat[J]. *Bioresource Technology*, 2009, 100(6): 1957—1962.
- [14] Lei Zhongfang, Chen Jiayi, Zhang Zhenya, et al. Methane production from rice straw with acclimated anaerobic sludge: Effect of phosphate supplementation[J]. *Bioresource Technology*, 2010, 26(7): 4343—4348.
- [15] Kaan Yetilmezsoy, Fatih Ilhan, Zehra Sapci-Zengin, et al. Decolorization and COD reduction of UASB pretreated poultry manure wastewater by electrocoagulation process: A post-treatment study[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 172(1): 120—132.
- [16] Yadvika, Santosh, T R Sreekrishnan, et al. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques a review[J]. *Bioresource Technology*, 2004, 95(1): 1—10.
- [17] 张无敌, 宋洪川, 李建昌, 等. 水解酶提高猪粪沼气发酵产气率[J]. *太阳能学报*, 2002, 23(5): 674—677. Zhang Wudi, Song Hongchuan, Li Jianchang, et al. Increasing biogas of yield pig dung with hydrolases[J]. *Acta Energetica Solaris Sinica*, 2002, 23(5): 674—677. (in Chinese with English abstract)
- [18] 马磊, 王德汉, 王梦男, 等. 矿物材料预处理对餐厨垃圾高温厌氧消化过程的影响[J]. *环境科学学报*, 2008, 28(11): 2277—2283. Ma Lei, Wang Dehan, Wang Mengnan, et al. Effect of mineral pretreatment on thermophilic anaerobic digestion of food waste[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(11): 2277—2283. (in Chinese with English abstract)
- [19] 王永泽, 邵明胜, 王志, 等. pH值对水稻秸秆厌氧发酵产沼气的的影响[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(31): 15093—15094, 15098. Wang Yongze, Shao Mingsheng, Wang Zhi, et al. Effect of pH value on biogas production by anaerobic fermentation of rice straw[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(31): 15093—15094, 15098. (in Chinese with English abstract)
- [20] 李敏, 李轶冰, 杨改河. 尿素和纤维素酶对厌氧发酵的影响[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2010, 38(2): 165—170. Li Min, Li Yibing, Yang Gaihe, et al. Effect of urea and cellulose on anaerobic fermentation[J]. *Journal of Northwest A and F University: Natural Science Edition*, 2010, 38(2): 165—170. (in Chinese with English abstract)
- [21] Kusch Sigrid, Oechsner Hans, Jungbluth Thomas. Biogas production with horse dung in solid-phase digestion systems[J]. 2008, 99(5): 1280—1292.
- [22] Cao Junya, Zhang Guangji, Mao Zaisha, et al. Influence of Mg^{2+} on the growth and activity of sulfate reducing bacteria[J]. *Hydrometallurgy*, 2009, 95(1/2): 127—134.
- [23] Lise Appels, Jan Baeyens, Jan Degreva. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge[J]. *Progress in Energy and Combustion science*, 2008, 34(6): 755—781.

Effect of magnesium ions on biogas production characteristics of lettuce and potato peelings in anaerobic digester

Wang Yongzhong, Peng Zhen, Liao Qiang, Zhu Xun, Chen Rong

(Key Laboratory of Low-grade Energy Utilization Technologies and Systems, Ministry of Education, Institute of Engineering Thermophysics, Chongqing University, Chongqing, 400030, China)

Abstract: In order to improve utilization rate of raw materials, shorten period of fermentation and increase gas production rate, the effects of magnesium sulfate on biogas production performances were investigated in an anaerobic digester with anti-scum device using asparagus lettuce peelings and potato peelings. Results showed that the optimal addition amount of magnesium ions with the asparagus lettuce peelings and potato peelings were 0.30 g and 0.10 g per liter gas slurry, respectively. The cumulative total amounts of biogas were enhanced by 71.4% and 41.6%, compared to the comparison. Correspondingly, with the asparagus lettuce peelings and potato peelings the highest volumetric production rate of biogas reached 0.398 $m^3/(m^3 \cdot d)$ and 0.804 $m^3/(m^3 \cdot d)$, and the methane content of biogas maintained at about 70% and 68% in the end of the biogas fermentation, respectively. The results indicated that adequate magnesium ions supplemented could significantly shorten the startup time of fermentation and enhance the daily biogas productivity and methane content of biogas.

Key words: fermentation, methane, magnesium, ions, anaerobe, biogas digester