

添加菌体蛋白和尿素对玉米秸秆厌氧发酵的影响

王 阳, 林 聪*, 侯 锦, 侯 雨

(中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083)

摘 要: 以玉米秸秆为原料的厌氧发酵, 碳氮比 (C/N) 一直是影响其发酵的主要问题之一。该文针对玉米秸秆的 C/N 进行了研究, 通过对比试验的方法, 以尿素和菌体蛋白作为氮源添加剂配制成 C/N 分别为 25/1 和 35/1 的秸秆发酵料液, 进行 30d 的厌氧发酵试验。结果表明, 以尿素和菌体蛋白作为氮源调整 C/N 时, C/N 为 35/1 时的产气量要好于 C/N 为 25/1; 与秸秆单独发酵相比, C/N 为 35/1 的添加菌体蛋白试验组 R2 和添加尿素试验组 R4 的总产气量分别提高了 31.43% 和 2.69%。此外, 添加菌体蛋白和尿素能有效抑制秸秆体积的漂浮膨胀, 对料液起到酸碱缓冲的作用。菌体蛋白作为秸秆发酵添加剂应用在沼气工程中可以变废为宝, 提高经济效益。

关键词: 农业废弃物, 厌氧发酵, 添加剂, 秸秆, 菌体蛋白, 尿素

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.z1.015

中图分类号: TQ920.6

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-Supp.1-0074-05

王 阳, 林 聪, 侯 锦, 等. 添加菌体蛋白和尿素对玉米秸秆厌氧发酵的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(增刊 1): 74-78.

Wang Yang, Lin Cong, Hou Jin, et al. Effects of bacterial protein and urea addition on straw anaerobic fermentation [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(Supp.1): 74-78. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

中国农作物秸秆资源蕴含量丰富, 占全球近 1/5^[1]。近年来, 随着粮食产量逐年增长, 作物秸秆产量也随之快速攀升。厌氧发酵处理秸秆技术可以缓解中国目前面临的能源危机, 有利于保护农村生态环境, 使农业走上可持续发展之路, 因此在中国得到了快速的发展。

但是秸秆在作为发酵原料时, 因含有难以降解的木质素和植物蜡质, 存在分解慢、降解率低、管理不便等问题^[2]; 另外, 农作物秸秆是贫氮原料^[3], 碳氮比超出适宜的发酵范围, 这会影响微生物的繁殖和生长。因此, 对于秸秆厌氧发酵而言, 需要加以辅助的手段进行处理或调质。何荣玉、赵振振、王许涛等人利用机械切碎揉搓、蒸汽爆破、酸碱处理、氨化处理、生物酶处理等方法来破坏纤维素、木质素结构, 从而提高秸秆的降解率和产气率^[4-8]。蒋建国、梁军锋、邹星星等人通过添加外源物的方法来调节秸秆的碳氮比, 并补充了秸秆的营养物质, 从而加速了秸秆的降解效率, 显著改善了秸秆的产气特性^[9-12]。但是在实际的沼气工程运行中, 添加剂的

添加量和成本造价是一个不容忽视的关键问题, 所以对于添加剂的经济性和实用性的研究, 在未来几年会得到更多的关注。

本试验选择的添加剂是尿素和菌体蛋白。尿素是一种中性速效高含氮量化肥, 是目前固体氮肥中含氮量最高的一种, 并且价格低廉 (1 800 元/t~1 900 元/t), 经济性优越。菌体蛋白又称单细胞蛋白、微生物蛋白, 主要是指酵母、细菌、真菌和某些低等藻类生物等微生物, 在其生长过程中利用各种基质在适宜条件下, 培养单细胞或丝状微生物的个体而获得的菌体蛋白^[13]。生产菌体蛋白的原料主要分为石油及其产品类、工厂废液、食品厂废渣这三类^[14]。味精工业生产中会产生大量的废水, 其中含有 1% 左右的菌体蛋白, 其含粗蛋白 60%~70%, 氨基酸组分齐全, 此外还含有丰富的维生素等^[15]。所以说菌体蛋白是一种被遗弃的资源, 如加以利用就可以变废为宝, 既节约资源又保护环境。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

1.1.1 发酵原料

本试验的发酵原料玉米干秸秆取自河北省青县, 处于自然风干状态, 其含水率为 8.43%。试验启动前, 用粉碎机 and 揉搓机将其粉碎揉搓至粒度小于 1 cm。

1.1.2 接种物

接种物污泥和沼液均取自北京市顺义区北郎中养猪场的沼气工程, 除去其中的固体杂物后在试验室驯化及富集菌种。

1.1.3 添加剂

菌体蛋白取自味精厂的废料, 呈粉末状, 含氮量为

收稿日期: 2011-01-10 修订日期: 2011-03-22

基金项目: 国家科技支撑计划—西部经济欠发达地区混合原料沼气工程示范 (课题编号: 2008BADC4B03), 高浓度物料规模化沼气工程高效发酵工艺开发与工程示范 (课题编号: 2008BADC4B15), 节水型区域工农业复合循环经济系统集成关键技术体系研究及示范 (课题编号: 2009BAC64B08)

作者简介: 王 阳 (1985—), 女, 辽宁阜新新人, 博士, 研究方向: 农业生物环境与能源工程。北京 中国农业大学水利与土木工程学院, 100083。

Email: cauwangyang@foxmail.com

※通信作者: 林 聪 (1956—), 女, 教授, 博士生导师, 研究方向: 农业生物环境与能源工程。北京 中国农业大学水利与土木工程学院, 100083。

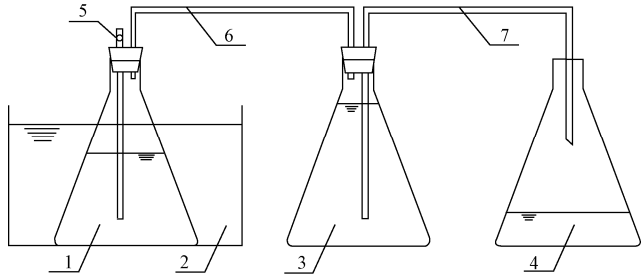
Email: lincong@cau.edu.cn

10.84%。

尿素为分析纯级别，针状结晶体。含氮量为 46.67%，含碳量为 20%。

1.1.4 试验装置

本试验采用排水集气法计量产气量，采用橡皮塞封口的 2 L 锥形瓶作为发酵瓶，集气瓶和集水瓶的容积均为 2 L，在 (35±1) °C 的恒温水浴中进行发酵试验。发酵瓶橡皮塞上开设取样孔，便于定期取料测试（如图 1）。



1. 发酵瓶 2. 恒温加热水浴箱 3. 集气瓶 4. 集水瓶 5. 取样管 6. 导气管 7. 导水管

图 1 试验装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of experimental equipment

1.2 试验方法

1.2.1 发酵试验组设计

本试验的发酵料液干物质质量分数为 6%，发酵天数设定在 30 d。按照添加剂的种类和数量，设计 5 组对比试验，分别为添加菌体蛋白、添加尿素以及单纯秸秆发酵的对照组。菌体蛋白和尿素的添加量是按照发酵原料的 C/N 来确定的，具体设计方案如表 1 所示。

表 1 试验设计方案
Table 1 Design of experiment

试验组号	秸秆质量/g	污泥质量/g	沼液质量/g	添加剂种类	添加剂质量/g	C/N
R0	60	139.27	1500			46/1
R1	60	139.27	1500	菌体蛋白	3.615	25/1
R2	60	139.27	1500	菌体蛋白	1.354	35/1
R3	60	139.27	1500	尿素	0.84	25/1
R4	60	139.27	1500	尿素	0.315	35/1

1.2.2 分析检测方法

试验过程中需检测的指标有日产沼气和发酵料液成分分析等指标。

日产沼气的测定采用排水集气法，根据排出水量的体积计算每天产生的气体体积，从发酵的第 1 天开始，每天定时记录各套装置的产气量。发酵前后料液的 pH 值采用雷磁精密 pH 计测定。

2 结果与分析

2.1 秸秆厌氧发酵产气量的变化

经过 30d 的发酵试验，各处理的日产气量和累计产气量的情况如图 2 所示。5 组试验的整体日产气量随时间变化的总趋势大致相同，均是前期的水解酸化阶段产生一个较高的产气峰值后回落；随着反应的进行，产气量

逐渐上升后缓慢回落直至产气结束。日产气量变化趋势线可以分成 3 个阶段，第 1 阶段是水解酸化阶段，即从试验启动开始至发酵第 3 天，这一阶段主要是秸秆的降解，使之转化成可以被产甲烷菌利用的挥发性脂肪酸及醇类，本阶段产生的气体主要是 CO₂。第 2 阶段是产沼气旺盛期，经点火试验观察，5 组试验组在第 4 天的燃烧火焰呈蓝色，说明发酵料液已经从水解酸化阶段进入产甲烷阶段，即在第 4—22 天产甲烷菌活动最频繁、活性最旺盛，沼气产量也相对较高，占总产气量的约 80%~90%。第 3 阶段是产沼气衰落期，在厌氧发酵的第 23—30 天的日产气量均低于 200 mL 并趋于平稳，仅占总产气量的约 3.5%~6%，这表明产甲烷菌的活性逐渐降低，产气趋于结束。

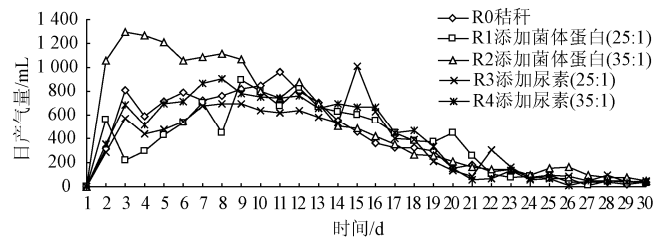


图 2 日产气量变化图

Fig.2 Trends of daily biogas productions

如表 2 所示，第 1—3 天即水解酸化阶段，添加菌体蛋白调成 C/N 为 35/1 的试验组 R2 的 CO₂ 产量最高，说明添加菌体蛋白可以有效的促进水解酸化的进程。在第 4—22 天的产沼气旺盛期，R2 试验组的沼气产量仍最高，达到 12 716 mL，分别高出 R0、R1、R3 和 R4 试验组 21.44%、26.49%、31.09% 和 15.93%，且 R2 试验组在前 15 天的沼气累计产量就已达到总沼气产量的 80.31%，明显加快了产气速度。这说明，在本试验中，添加菌体蛋白至 C/N 为 35/1 时，水解酸化速度最快、产气量最高。

表 2 不同阶段的产气量分析

Table 2 Analysis of gas production in different stages

试验组号	第 1—3 天		第 4—22 天		第 23—30 天	
	产气量/mL	所占比例/%	产气量/mL	所占比例/%	产气量/mL	所占比例/%
R0	1 120	9.27	10 471	86.68	489	4.05
R1	779	6.93	10 053	89.41	412	3.66
R2	2 355	14.79	12 716	79.84	856	5.37
R3	857	7.67	9 700	86.73	627	5.61
R4	1 036	8.32	10 969	88.16	438	3.52

各试验组的累计产气量如图 3 所示。添加菌体蛋白调成 C/N 为 35/1 处理组的总产气量最高，为 15 927 mL；随之是添加尿素调成 C/N 为 35/1 处理组总产气量为 12 443 mL，纯秸秆发酵总产气量为 12 080 mL，添加菌体蛋白调成 C/N 为 25/1 处理组总产气量 11 244 mL，添加尿素至 C/N 为 25/1 处理组总产气量为 11 184 mL。对于 C/N 为 35/1 的两个试验组 R2 和 R4 来讲，与秸秆单独发酵 R0 相比，添加菌体蛋白对照组 R2 的总产气量提高了 31.85%，添加尿素对照组 R4 总产气量提高了 3.00%，

经过计算,添加菌体蛋白至 C/N 为 35/1 的试验组,每 3.77 kg 的秸秆可以产 1 m³ 的沼气。这说明,对于高碳源秸秆的厌氧发酵,只要适当的调整 C/N,就能获得较好的沼气生产效果。多次的试验证明:利用菌体蛋白和尿素作为氮源调整秸秆的 C/N 时,C/N 为 35/1 比 25/1 对产气量有更大的促进作用。另外,秸秆单独发酵的对照试验组 R0 的 C/N 为 46/1,其产气效果也很好,这说明在接种污泥活性良好的状态下,C/N 的调节量和调节剂的性质都值得重新进行定量和定性的研究。本试验的结果表明了高碳源秸秆发酵的 C/N 超过了 30/1 也能够很好的生产沼气,所以关于不同的发酵原料适宜的 C/N,以及调节剂的种类和提高产气量方法的研究还有待于进一步的深入进行。

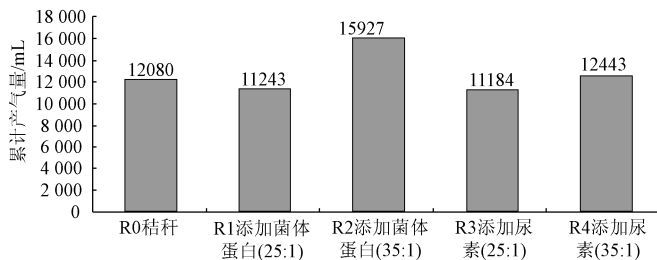


图3 累计产气量对比图

Fig.3 Comparison of cumulative biogas productions

2.2 消化过程中秸秆漂浮的变化

秸秆在整个发酵过程中的漂浮会导致体积膨胀,其高度变化规律如图4所示,5组试验在进料后的第2天体积迅速膨胀,这对于消化器上部的贮气空间造成很大的负面影响,同时也破坏了秸秆原料与料液中微生物的均匀接触,因此,在发酵试验过程中采取搅拌干预措施,发酵瓶每天手动摇晃搅拌2次,每次约0.5 min。

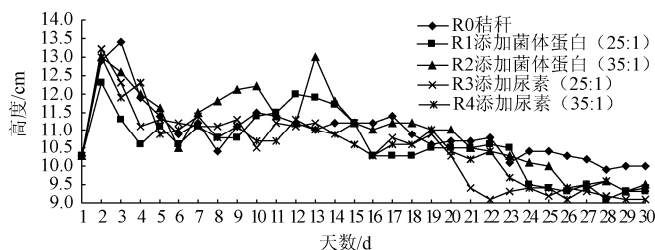


图4 秸秆体积膨胀高度变化图

Fig.4 Trends of the height of straw swelling volume

随着反应的进行,浮渣体积逐渐减小并趋于平稳。在发酵过程中的第22天和第23天有外缘添加剂的4组试验浮渣体积开始迅速变小,而纯秸秆发酵组R0的膨胀体积没有明显减小,这说明添加尿素和菌体蛋白能够加速秸秆的降解,有效地抑制秸秆体积的膨胀。

2.3 消化过程中秸秆料液 pH 值的变化

在整个发酵反应过程中,pH 始终维持在 7.4~8.4 之间,没有酸化情况的出现,整体发酵过程的酸碱环境适宜菌群的生长。

在反应的第一周,由于水解的作用,各处理的 pH 值均略有下降,其中,纯秸秆发酵 R0 的 pH 值下降幅度最

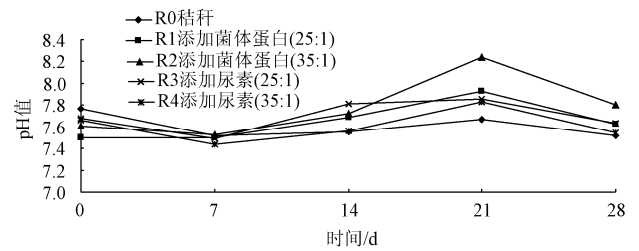


图5 pH 值变化图

Fig.5 Trends of pH value

大,其次是添加尿素的 R3、R4 试验组,而添加菌体蛋白的 R1、R2 试验组 pH 下降幅度最小,尤其是 R1 的 pH 值没有产生变化。在整个发酵反应结束后,pH 下降幅度最大的是纯秸秆发酵 R0,其次是添加尿素的 R3、R4 试验组,而添加菌体蛋白的 R1、R2 试验组 pH 值不但没有下降,反之上升,这说明菌体蛋白和尿素作为氮源对秸秆发酵料液进行补充,调节了料液中的 C 元素和 N 元素的不平衡,有效地抑制了秸秆酸化情况的出现。另外,添加菌体蛋白至料液中会形成胶状聚合物,有利于微生物的富集,从而对料液酸碱平衡分配起到更好的促进作用。而尿素虽然在水解后生成氨基甲酸铵,最终生成 NH₃ 和 CO₂^[16],但是由于尿素水解是吸热反应,在 60℃ 以下水解的速度几乎为零^[17],所以在本试验的 35℃ 发酵料液温度下,尿素的水解功能不能得到发挥。本试验说明,添加尿素和菌体蛋白均能有效促进秸秆水解,能够对料液起到缓冲酸化的作用,而且菌体蛋白的酸碱缓冲能力更佳。

3 结论

1) 对于高碳源类发酵原料秸秆而言,适当添加氮源调节 C/N,可以提高沼气的产量;以尿素和菌体蛋白作为氮源调整 C/N 时,C/N 为 35/1 时的产气量要好于 C/N 为 25/1;当 C/N 为 35/1 时,添加菌体蛋白的产气量要高于添加尿素试验组。

2) 添加菌体蛋白调整 C/N 为 35/1 时,物能转换为每 3.77 kg 的玉米干秸秆产 1 m³ 的沼气。

3) 添加尿素或菌体蛋白能有效抑制秸秆体积的漂浮膨胀,对秸秆发酵料液的酸化抑制起到很好的缓冲作用。

4) 菌体蛋白本身是工业生产中的废料,利用菌体蛋白作为秸秆发酵添加剂可以变废为宝,应用在秸秆沼气工程中,可以有效的降低原料成本,最大程度的提高经济效益。

[参考文献]

- [1] 艾平,张衍林,盛凯,等. 稻秸厌氧发酵产沼气预处理[J]. 农业工程学报, 2010, 25(7): 266-271.
Ai Ping, Zhang Yanlin, Sheng Kai, et al. Pretreatment for biogas production by anaerobic fermentation of rice [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 25(7): 266-271. (in Chinese with English abstract)

- [2] 盛凯, 张衍林. 我国农村户用沼气建设可持续发展思考[J]. 华中农业大学学报, 2007, (4): 51—53.
Sheng Kai, Zhang Yanlin. On sustainable development of the rural marsh gas construction in China[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2007, (4): 51—53. (in Chinese with English abstract)
- [3] 陈斯, 熊承永. 再谈秸秆沼气发酵的碳氮比[J]. 中国沼气, 2009, 27(2): 38—39.
Chen Si, Xiong Chengyong. Study on the carbon-nitrogen ratio of straw anaerobic digestion [J]. China Biogas, 2009, 27(2): 38—39. (in Chinese with English abstract)
- [4] 曾召刚, 孙学习, 李涛, 等. 玉米秸秆预处理对厌氧发酵制氢影响的研究[J]. 可再生能源, 2010, 28(2): 59—61.
Zeng Zhaogang, Sun Xuexi, Li Tao, et al. Study on the impact of corn straw pretreatment on anaerobic fermentation for hydrogen [J]. Renewable Energy Resources, 2010, 28(2): 59—61. (in Chinese with English abstract)
- [5] 蒋建国, 赵振振, 杜雪娟, 等. 秸秆高固体厌氧消化预处理试验研究[J]. 环境科学, 2007, 28(4): 886—890.
Jiang Jianguo, Zhao Zhenzhen, Du Xuejuan, et al. Experimental investigation of the straw pre-treatment to enhance its high solid anaerobic digestion[J]. Environmental Science, 2007, 28(4): 886—890. (in Chinese with English abstract)
- [6] 何荣玉, 闫志英, 刘晓风, 等. 秸秆干发酵沼气增产研究[J]. 应用与环境生物学报, 2007, 13(4): 583—585.
He Rongyu, Yan Zhiying, Liu Xiaofeng, et al. Enhancement of biogas production by dry fermentation with straws [J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2007, 13(4): 583—585. (in Chinese with English abstract)
- [7] 王许涛, 张百良, 宋安东, 等. 蒸汽爆破技术在秸秆厌氧发酵中的应用. 农业工程学报, 2008, 24(8): 189—192.
Wang Xutao, Zhang Bailiang, Song Andong, et al. Application of steam-exploded technology to anaerobic digestion of corn stover[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(8): 189—192. (in Chinese with English abstract)
- [8] Zheng Y, Pan Z, Zhang R, et al. Anaerobic digestion of saline creeping wild ryegrass for biogas production and pretreatment of particleboard material[J]. Bio-resource Technology, 2009, 100: 1582—1588.
- [9] 蒋建国, 娄志颖, 赵振振, 等. 添加污泥饼补充氮源的农作物秸秆高固体厌氧消化启动研究[J]. 环境科学, 2009, 30(1): 297—301.
Jiang Jianguo, Lou Zhiying, Zhao Zhenzhen, et al. Start-up of high solid anaerobic digestion process for treating straw with sludge cake as nitrogen additive[J]. Environmental Science, 2009, 30(1): 297—301. (in Chinese with English abstract)
- [10] 范寰, 梁军峰, 赵润, 等. 碳氮比对复合木质素降解菌产酶活力和木质素降解能力的影响[J]. 中国饲料, 2010, (14): 23—29.
Fan Huan, Liang Junfeng, Zhao Run, et al. Effect of C/N on active of degrading bacterias and ability of degradating lignin [J]. China Feed, 2010, (14): 23—29. (in Chinese with English abstract)
- [11] 邹星星, 郑正, 陈广银, 等. 添加蚓粪对玉米秸秆厌氧发酵产气特性的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(2): 174—177.
Zou Xingxing, Zheng Zheng, Chen Guangyin, et al. Effect of addition of vermicompost on biogas production of corn stalk through anaerobic fermentation[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2010, 26(2): 174—177. (in Chinese with English abstract)
- [12] 张昌爱, 刘英, 黄萌, 等. 秸秆原料 C/N 比调节对沼气产气状况的影响[J]. 山东农业科学, 2010, (1): 67—70.
Zhang Changai, Liu Ying, Huang Meng, et al. Effect of C/N adjustment of corn stalk on methane production [J]. Shangdong Agricultural Sciences, 2010, (2): 67—70. (in Chinese with English abstract)
- [13] 黄群, 马美湖, 夏岩石, 等. 单细胞蛋白开发及其在蛋鸡营养中应用的研究[J]. 饲料研究, 2004, (2): 20—24.
Huang Qun, Ma Meihu, Xia Yanshi, et al. Development and utilization of single cell protein on hens nutrition[J]. Feed Research, 2004, (4): 20—24. (in Chinese with English abstract)
- [14] 许倩, 李宏菊, 王秋京. 单细胞蛋白的利用[J]. 食品工程, 2007, (4): 22—25.
Xu Qian, Li Hongju, Wang Qiujing. Utilization of single cell protein[J]. Food Engineering, 2007, (4): 22—25. (in Chinese with English abstract)
- [15] 袁品坦. 味精废水的污染及其治理方法[J]. 发酵科技通讯, 1997, 26(4): 24—30.
Yuan Pintan. Treatment method of monosodium glutamate wastewater pollution [J]. Ferment Technology Communication, 2010, 38(3): 9—10. (in Chinese with English abstract)
- [16] 申文平, 薛继勇, 李晓光. 尿素解吸废液及联产精甲醇废液直接回用新工艺[J]. 中氮肥, 2008, (5): 32—33.
Shen Wenping, Xue Jiyong, Li Xiaoguang. Utilization technology of urea desorption and fine methanol waste liquid [J]. M-Sized Nitrogenous Fertilizer Progress, 2008, (5): 32—33. (in Chinese with English abstract)
- [17] 赵学臣, 王成刚, 尚秀兰, 等. 低压尿素深度水解装置运行总结[J]. 小氮肥, 2010, 38(3): 9—10.
Zhao Xuechen, Wang Chenggang, Shang Xiulan, et al. The operation summarize for depth hydrolysis plant of low pressure urea[J]. Small Nitrogenous Fertilizer, 2010, 38(3): 9—10. (in Chinese with English abstract)

Effects of bacterial protein and urea addition on straw anaerobic fermentation

Wang Yang, Lin Cong*, Hou Jin, Hou Yu

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Carbon-nitrogen ratio (C/N) is one of the inhibitive factors to straw anaerobic fermentation. To study the appropriate C/N of corn straw, bacterial protein and urea were added into the fermentation broth until the C/N reached 25/1 and 35/1, respectively. The whole fermentation experiment was carried out for 30 days, and the results indicated that the additions of bacterial protein and urea accelerated the degradation of straw and inhibited the straw volume expansion. Under the condition of the same load of straw, the test group which C/N was 35/1 degraded straw with faster rate than the group which C/N was 25/1. Compared with R0 (no additive), the gas yield of R2 (adding bacterial protein) and R4 (adding urea) which C/N was 35/1 increased by 31.43% and 2.69%, respectively. Furthermore, the addition of bacterial protein and urea displayed acid and alkaline buffer action to fermentation broth.

Key words: agricultural wastes, anaerobic fermentation, additive, straw, bacterial protein, urea