

四种含木质纤维素原料在牛粪液中的酸化

高瑞芳, 袁旭峰, 李佳佳, 李杰, 任济伟, 王小芬, 崔宗均*

(中国农业大学农学与生物技术学院/中国农业大学生物质工程中心 北京 100193)

摘要: 为了有效转化木质纤维素原料, 提高其资源化、能源化利用潜力, 研究了干稻秸、玉米秸、草坪草、新鲜状态玉米秸和风干玉米秸这4种木质纤维素原料在牛粪液环境中的酸化发酵规律。监测发酵过程, 以质量减少率分析了原料降解效率, 以溶解性化学需氧量(soluble chemical oxygen demand, SCOD)评价酸化产物的积累。结果表明, 4种原料在牛粪液中的降解效果明显, 规律不同。草坪草的质量减少最快且最多, 质量减少率为73.25%。稻秸在10 d时与草坪草质量减少率均达到50%, 总质量减少率为72.01%。鲜玉米秸在18 d时质量减少率为68.36%, 接近草坪草和稻秸, 总质量减少率为71.64%。干玉米秸总质量减少率最低, 为57.6%; 木质纤维素总量的降解效率依次为: 稻秸>草坪草>鲜玉米秸>干玉米秸。其成分中, 各原料半纤维素的降解效率最好, 其次为纤维素和木质素; 干、鲜玉米秸产生有机酸种类和数量较多, 稻秸、草、鲜玉米秸、干玉米秸的产生挥发性脂肪酸(volatile fatty acid, VFA)总量最大值依次为3.91、0.54、7.16、10.99 g/L。将酸化产物作为厌氧发酵原料角度分析, 稻秸和草坪草在酸化过程中可实现SCOD积累, 对厌氧发酵有利, 而干、鲜玉米秸的酸化作用对厌氧发酵不利。

关键词: 发酵, 纤维素, 酸化, 木质纤维素原料, 牛粪液, COD

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.17.029

中图分类号: Q939.9

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-17-0199-06

高瑞芳, 袁旭峰, 任济伟, 等. 四种含木质纤维素原料在牛粪液中的酸化[J]. 农业工程学报, 2012, 28(17): 199-204.

Gao Ruifang, Yuan Xufeng, Li Jijia, et al. Acidification of four kinds of lignocelluloses materials in cow dung liquid[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(17): 199-204. (in Chinese with English abstract)

0 引言

木质纤维素是植物光合作用的重要产物。农林业生产过程中形成大量的作物秸秆、枯枝落叶、杂草等的主要成分都是木质纤维素, 是地球上最丰富的可再生资源。《2010中国节能减排产业发展报告》中指出, 中国拥有丰富的生物质能资源, 每年理论有生物质能资源50亿t左右, 其中农作物残留物占一半多^[1]。将木质纤维素资源通过生物途径转化为可被利用的能源是新能源发展的重要方向之一^[2]。厌氧消化技术是一种重要的废弃物转化利用方式, 其在各种复杂废水、餐厨垃圾、畜禽粪便等有机废弃物的处理应用中已得到肯定, 基础研究和先进工艺开发都已不断成熟。通过厌氧消化, 各种有机废

弃物被消纳, 同时产生的沼气是一种新的能量形式, 实现了物质和能量的循环利用^[3]。将秸秆用于厌氧发酵同样是秸秆资源的一条能源化利用途径^[4]。

天然状态下, 木质纤维素是由纤维素、半纤维素和木质素交织在一起形成的复杂的“混凝土结构”, 难于被生物降解^[5]。根据厌氧发酵原理, 能否形成可以被产甲烷菌有效利用的小分子有机酸等是影响木质纤维素原料厌氧转化效率的限制性因素^[6]。因此, 首要步骤就是破坏木质纤维素结构, 使其溶化降解, 形成可以被转化利用的有效形式。围绕木质纤维素的降解和厌氧发酵技术, 前人做了大量的研究。崔宗均等在堆肥等材料中筛选的木质纤维素分解复合系(如, MC1、WDC-2)能有效降解秸秆等, 其对天然木质纤维素的降解效率在已有相关报道中处于领先水平^[7-11]。Alvarez等^[12]、Weiland^[13]、Cavinato等^[14]的研究表明, 将秸秆与畜禽粪便混合发酵可以有效提高厌氧消化效率。结合以上研究基础和两相厌氧发酵的原理, 探讨木质纤维素在与畜禽粪便混合实现溶化降解规律和酸化规律有一定的必要性和意义。

本研究所采用的干稻秸、玉米秸、草坪草、新鲜状态玉米秸和风干玉米秸这4种木质纤维素原料

收稿日期: 2012-02-19 修订日期: 2012-07-04

基金资助: 国家科技支撑计划(2011BAD15B01, 2012BAD14B01); 国家“863”计划(2012AA101803)

作者简介: 高瑞芳(1985-), 女, 博士, 山西阳泉人, 研究方向为产业化沼气与微生物生态。北京 中国农业大学农学与生物技术学院/生物质工程中心, 100193。Email: gaorf19850517@163.com

*通信作者: 崔宗均(1957-), 教授, 博士生导师, 主要从事生物质资源利用研究。北京 中国农业大学农学与生物技术学院/生物质工程中心, 100193。Email: acuijzj@cau.edu.cn

都是典型的厌氧发酵材料。作为农林业的主要废弃物资源,其在用于发酵时所处的状态不同。稻秸为干黄状态,草坪草作为园林垃圾在收集时仍处于青绿状态,玉米秸秆则根据收获时期不同而选择了新鲜黄绿和风干干黄 2 种不同状态作为发酵原料。通过这 4 种原料在畜禽粪便环境中完成降解转化,研究自然酸化发酵规律,以积累 COD、产生 VFA 效率作为评价原料液化转化效率的标准,进而评估各种不同木质纤维素原料通过生物途径转化利用的潜力,为进一步提高能源转化效率提供参考。

1 材料方法

1.1 试验材料

试验所用水稻秸秆、玉米秸秆、草坪草、鲜整株玉米秸秆、干整株玉米秸秆取自中国农业大学上庄试验站和西校区科学园,剪至 1~5 cm 左右长的小段。分解基质为新鲜的牛粪溶解液,取自中国农业大学科学园养殖场,1 L 水中溶解 200 g,搅拌均匀,经筛网过滤除去杂质及不溶物。每 100 mL 牛粪液添加的干物质质量分数为 1%。

1.2 发酵条件

将 250 mL 牛粪液装入 500 mL 三角瓶中,按照干物质质量分数 1% 添加稻秸等原料,每个处理 3 个重复,放置在 30℃ 恒温条件下培养,每天轻微均匀摇晃三角瓶 2 次,混合均匀^[15]。

1.3 测定方法

将原料捞出后,冲洗浸泡,常温低速 300 g 下离心 2 m 沥出水分,稻秸等置于 105℃ 条件下烘干 10 h 左右,留存样品待测质量减少及成分等。取 10 mL 牛粪液,测定 pH 值,在 7000 g 条件下离心 5 m,去除未溶解成分,测定 SCOD,剩余液体过 0.22 μm 孔径滤膜,留样测定挥发性有机酸^[16]。

1.3.1 纤维素、半纤维素、木质素成分

将木质纤维素原料分解残渣粉碎,过 1 mm 筛,准确称取 0.5 g,装入 F57 专用袋中。用 ANKOM220 型纤维素分析仪(北京和众视野科技有限公司,北京)测定纤维素、半纤维素、木质素含量^[17]。

1.3.2 pH 值:使用笔式 Twin pH 计(日本 HORIBA 公司,型号 B-212)测定。

1.3.3 SCOD:样品在 3000 g 转速下离心 10 m 后,取上清,使用标准重铬酸钾法,水质速测仪(LOVIBOND 99731COD,德国)测定^[16]。

1.3.4 挥发性有机酸(VFA):GC-MS 检测气相分解产物生成情况。

样品预处理:取出水样 1 mL,过 0.22 μm 孔径滤膜,在 -20℃ 冰冻下保存。测定条件:使用日本岛津公司产 QP-5050 型 GC-MS(气质联用机)测

定。分析柱为 CP-Chirasil-Dex CB (25m×0.25 mm) 毛细管柱;柱箱温度 50℃(1 min) 逐渐升温至 100℃(1 min),7℃/min 速度升温至 195℃(2 min),18℃/min,共 14 min;进样口温度 190℃;检测器温度 230℃;载气为氦气(60 kPa),流量 34 mL/min;分流比 1/22;监测器电压 0.7 kV;进样量 1 μL。对测定的数据,利用 NIST 数据库进行定性分析,根据出峰物的定性分析结果,配制相应标准样品的稀释液作为标准物进样,用于该物质的定量分析^[18]。

2 结果与分析

2.1 pH 值变化

稻秸、草坪草和干、鲜玉米秸秆这 4 种不同木质纤维素原料酸化过程 pH 值变化如图 1 所示。pH 值变化呈“V”型,符合微生物群系分解纤维素类物质的特征^[8,19]。初始 pH 值、pH 值最低出现的时间及低点不同,新鲜原料的草坪草和鲜玉米秸初始 pH 值较低为 6.5 左右,2~3 d 达到最低,前者为 6.2,后者为 6.5。含水率较低、木质化程度较高的干稻秸和干玉米秸接近初始 pH 值为 7.0 左右,但稻秸在第 12 d 降至最低 6.5~6.6,玉米秸在第 3 d 降至 6.8。

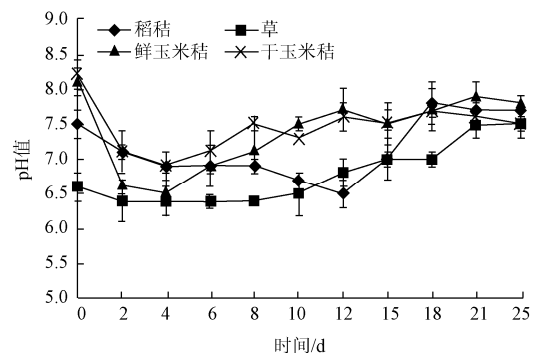


图 1 4 种木质纤维素原料酸化过程中 pH 值的变化
Fig.1 Changes of pH value during acidification process of four kinds of lignocellulose materials

pH 值的变化趋势与木质纤维素状态和原料种类有关。干秸秆木质化程度高,复杂的木质纤维素结构影响了微生物的降解利用效率,但随着分解过程中结构的分解,可持续积累代谢产物,使分解产酸过程持续但程度有限。相对于木质化程度较低的稻秸和草坪草,选用的高油品种的整株玉米秸中还含有较多粗蛋白、粗脂肪等,易被体系微生物较快利用,积累为有机酸等,故酸化程度较高^[20]。对比干、鲜玉米秸酸化过程,pH 值均在第 3 天出现最低值为 6.3,说明体系中前期有机酸的贡献主要来自于较易分解的非纤维素成分,随后木质纤维素结构才开始分解转化,木质化程度较低的新鲜原料持

续低于干原料。

2.2 原料质量随时间变化的规律

2.5 g 秸秆及草坪草在牛粪液中分解酸化过程中质量减少率变化如图 2 所示。在前 10 d, 草坪草的质量减少最快且最多, 在 6 d 达到 44.1%, 3 种秸秆仅为 16.88%~25.16%。在第 10 天, 稻秸与草坪草质量减少率相当, 均达到 50%, 稻秸中木质素含量较低, 分解明显。此时, 干、鲜玉米秸均较低, 分别为 39.16%和 27.10%, 这一阶段的质量减少贡献主要来自于易于利用的粗蛋白、粗脂肪和 NDF 等。10 d 后, 干、鲜玉米秸及稻秸质量减少率增大, 快于草坪草。18 d 时, 稻秸和鲜玉米秸质量减少率分别为 71.36%和 68.36%, 接近草坪草 72.17%。在发酵末期 25 d, 干玉米秸质量减少率最低, 为 57.6%, 其余 3 种原料质量减少率相当, 为 71.64%~73.25%。发酵中后期 (10~25 d), 质量减少主要来自于木质纤维素成分的分解, 所以新鲜的玉米秸和草坪草分解效率接近, 而稻秸因为经过了预处理, 分解效率亦相当^[21]。发酵末期 18 d 后, 木质化程度最高的干玉米秸的最大质量减少率在维持在 58.0%左右。

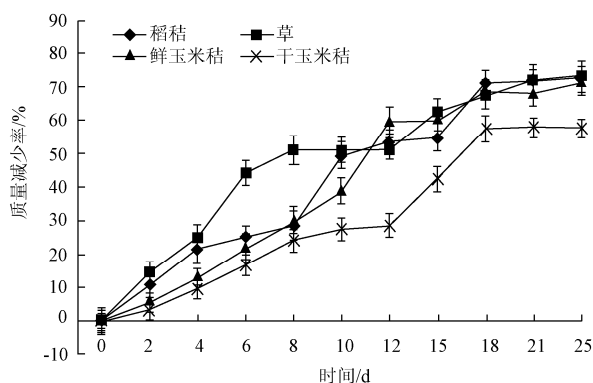


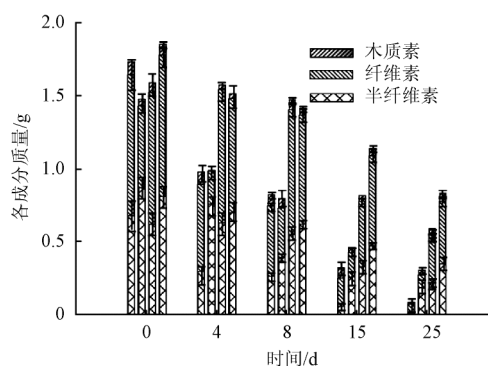
图 2 4 种木质纤维素原料酸化过程中质量减少比较

Fig.2 Comparison of weight loss during acidification process of four kinds of lignocellulose materials

2.3 木质纤维素成分变化

木质纤维素是干稻秸、草坪草和干、鲜玉米秸中最重要组成成分, 占干物质质量的比例分别为 69.2%、59.2%、53.2%和 74.4%。干玉米秸中木质纤维素比例最高, 鲜玉米秸中水溶性物质较多, 木质纤维素成分比例最低。2.5 g 4 种原料各组分比较, 干原料中纤维素和木质素成分较多, 稻秸中为 0.96 和 0.09 g, 所占干物质比例为 38.4%和 3.6%, 干玉米秸中分别为 0.97 和 0.08 g, 比例为 38.8%和 3.2%。草坪草中半纤维素质量分数较高, 为 0.88 g, 所占干物质比例为 35.2%。鲜玉米秸中各成分均低于其他 3 种原料。

由图 3 可见, 发酵末期 25 d, 木质纤维素总量的降解效率依次为: 稻秸 (94.80%) > 草坪草 (79.05%) > 鲜玉米秸 (62.89%) > 干玉米秸 (55.38%)。其成分中, 各原料半纤维素的降解效率最好, 依次为: 稻秸 (97.06%) > 草坪草 (78.41%) > 鲜玉米秸 (64.52%) > 干玉米秸 (56.79%)。其次为纤维素, 降解效率依次为: 稻秸 (94.80%) > 草坪草 (85.45%) > 鲜玉米秸 (62.22%) > 干玉米秸 (56.70%), 木质素的降解顺序为: 稻秸 (81.61%) > 鲜玉米秸 (53.02%) > 草坪草 (28.59%) > 干玉米秸 (21.42%)^[22]。在牛粪液环境中自然发酵, 木质素含量较低的稻秸降解效率最高, 新鲜的草坪草的降解效率较高, 而木质化程度最高的干玉米秸最难降解, 远低于稻秸和草坪草。各成分中, 除草坪草中半纤维素与纤维素降解效率相当外, 其他 3 种作物秸秆中半纤维素的降解效率略好于纤维素, 木质素最不易被降解^[23]。



注: 从左至右依次为: 稻秸、草坪草、鲜玉米秸、干玉米秸 (各 2.5g)。

图 3 4 种原料酸化过程中木质纤维素成分变化

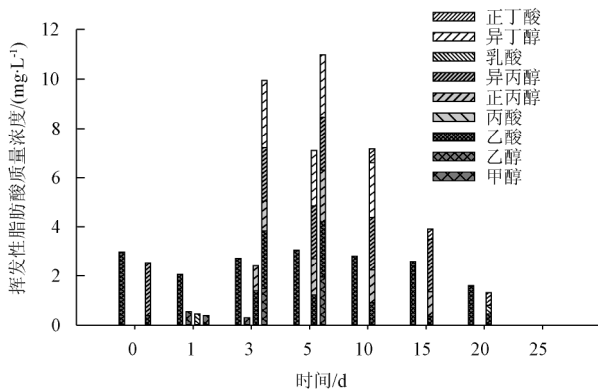
Fig.3 Changes of lignocellulose composition during acidification process of four kinds of lignocellulose materials

2.4 不同原料酸化过程产 VFAs 变化

不同原料酸化过程中产生有机酸的种类和数量如图 4 所示。干和鲜的玉米秸产生有机酸种类较多, 稻秸、草坪草产生较少。稻秸酸化进程中, 乙酸是主要的成分, 还有少量的丙酸出现。草坪草酸化过程中, 只在反应前期出现少量的乙醇。而新鲜玉米秸酸化过程中还有大量甲醇、正丙醇、异丙醇、乳酸、异丁醇、正丁酸等共计 8 种, 干玉米秸则出现了乙醇、乙酸、正丙醇、异丙醇、异丁醇等 5 种^[24]。由成分差异、木质化程度不同引起的转化效率差异是导致酸化体系有机酸种类不同的最主要原因^[25]。

从出现的有机酸的量分析, 比较产生乙酸的量, 干稻秸、干玉米秸原料出现的最大值分别为 3.08 g/L (12 d) 和 2.36 g/L (3 d), 明显高于鲜玉米秸原料的最大值 0.77 g/L (3 d)。比较乙醇产生量, 草酸化出现的最大值为 0.54 g/L (1 d), 干玉米秸为 1.94 g/L (5 d), 鲜玉米秸为 0.67 g/L (5 d)。

比较产生的有机酸总量得到, 稻秸、草、鲜玉米秸、干玉米秸的最大值依次为 3.91 g/L (12 d)、0.54 g/L (1 d)、7.16 g/L (10 d)、10.99 g/L (5 d)。



注: 从左至右依次为: 稻秸、草坪草、鲜玉米秸、干玉米秸。

图 4 4 种原料酸化过程中 VFAs 变化

Fig.4 Changes of VFAs during acidification process of four kinds of lignocellulose materials

2.5 SCOD 变化

由图 5 可见, 4 种不同原料酸化过程中 SCOD 均呈逐渐下降趋势。在分解第 2 天, 干稻秆和干玉米秸略上升, 草坪草和鲜玉米秸则下降, 鲜原料中的成分易被酸化微生物利用。干稻秆和干玉米秸分别在 10 和 6 d, 草坪草和鲜玉米秸在 4 和 6 d 先后出现了 SCOD 的第二次上升, 可能是因为木质纤维素结构的松散引起半纤维素、纤维素等成分的分解而积累。

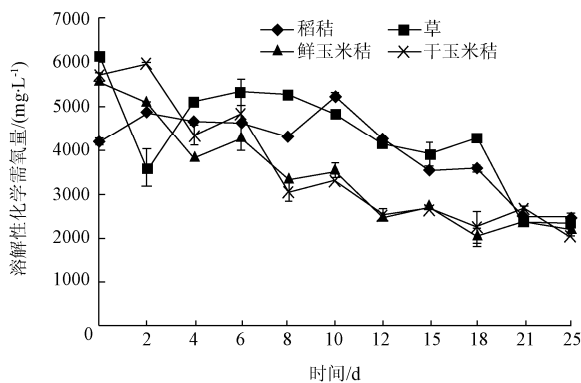


图 5 4 种原料酸化过程中溶解性化学需氧量变化

Fig.5 Changes of SCOD during acidification process of four kinds of lignocellulose materials

对于产生 SCOD 的最大量, 干玉米秸最高, 为 5 955 mg/L (2 d), 其次是草坪草和稻秸, 分别为 5 240 mg/L (6 d) 和 5 204 mg/L (10 d), 鲜玉米秸最低, 为 5 075 mg/L (2 d)。干原料的秸秆略好于新鲜原料。草坪草中的易被利用养分被迅速消耗, 剩余较为疏松的木质纤维素结构分解与代谢产

物消耗维持平衡, 稳定至 8 d, 随后因分解至极限, 消耗仍持续而使 SCOD 逐渐下降。同理, 稻秸中因木质素相对含量较低, 在第 10 d 达到 SCOD 积累最大量。如果考虑将积累的 SCOD 用于后续厌氧发酵, 草坪草和稻秸的酸化过程对厌氧发酵有利; 而针对干、鲜玉米秸秆, 本研究中所选用的玉米秸秆来源于高油品种, 粗蛋白、粗脂肪等有机养分较高, 新鲜的玉米秸易被酸化难于积累, 而干玉米秸因木质纤维素结构的束缚而出现短暂的有机物积累, 使之在慢慢被分解利用, 酸化过程中 SCOD 持续下降, 有机物或变为气态, 或被体系中微生物固定, 酸化过程有机物流失, 对厌氧发酵不利。

3 结论

本研究探讨了干稻秸、玉米秸、草坪草、新鲜状态玉米秸秆和风干玉米秸秆这 4 种木质纤维素原料在牛粪液中的酸化规律, 结论如下:

1) 4 种原料酸化发酵过程中, pH 值变化呈“V”型, 新鲜原料的草坪草和鲜玉米秸初始 pH 值较低为 6.5 左右, 2~3 d 达到最低。干稻秸和干玉米秸接近初始 pH 值为 7.0 左右, 稻秸在第 12 天降至最低 6.5~6.6, 玉米秸在第 3 天降至 3.8。pH 值的变化趋势与木质纤维素状态和原料种类有关。

2) 4 种原料在牛粪液中的降解效果明显, 规律不同。草坪草的质量减少最快且最多, 在 6 d 达到 44.1%, 发酵末期总质量减少率为 73.25%。稻秸在 10 d 时与草坪草质量减少率均达到 50%, 总质量减少率为 72.01%。鲜玉米秸在 18 d 时质量减少率为 68.36%, 接近草坪草和稻秸, 总质量减少率为 71.64%。干玉米秸总质量减少率最低, 为 57.6%。

3) 木质纤维素总量的降解效率依次为: 稻秸>草坪草>鲜玉米秸>干玉米秸。其成分中, 各原料半纤维素的降解效率最好, 其次为纤维素和木质素。在牛粪液环境中自然发酵, 木质素含量较低的稻秸降解效率最高, 干玉米秸最难降解, 远低于稻秸和草坪草。

4) 4 种原料在酸化过程中有机物的积累规律明显不同。干和鲜的玉米秸产生有机酸种类较多, 稻秸、草、鲜玉米秸、干玉米秸的最大值依次为 3.91、0.54、7.16、10.99 g/L。将酸化产物作为厌氧发酵原料角度分析, 稻秸和草坪草在酸化过程中可实现 SCOD 积累, 对厌氧发酵有利, 而干、鲜玉米秸的酸化作用对厌氧发酵不利。

[参 考 文 献]

- [1] 中国工业节能与清洁生产协会. 2010 中国节能减排产业发展报告[R]. 2010.1.27.

- China Industrial Energy Conservation and Clean Production Association. China Energy Conservation and Emission Reduction Development Report[R]. 2010.1.27.
- [2] Binod P, Sindhu R, Singhania R R, et al. Bioethanol production from rice straw: an overview[J]. *Bioresource technology*, 2010, 101(13): 4767–4774.
- [3] Ward A J, Hobbs P J, Holliman P J, et al. Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources [J]. *Bioresource Technol*, 2008, 99(17): 7928–7940.
- [4] Zhang R H, Zhang Z Q. Biogasification of rice straw with an anaerobic-phased solids digester system[J]. *Bioresource Technol*, 1999, 68(3): 235–245.
- [5] Tomme P, Warren R A, Gilks N R. Cellulose hydrolysis by bacteria and fungi[J]. *Adv Microb Physiol*, 1995, 37(1): 1–81.
- [6] Møllera H B, Sommera S G, Ahringb B K. Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure[J]. *Biomass Bioenerg*, 2004, 26(5): 485–495.
- [7] 崔宗均, 李美丹, 朴哲, 等. 一组高效稳定纤维素分解菌复合系 MC1 的筛选及功能[J]. *环境科学*, 2002, 23(3): 36–39.
- Cui Zongjun, Li Meidan, Piao Zhe et al. Selection of a composite microbial system MC1 with efficient and stability cellulose degradation bacteria and its function [J]. *Environ Sci*, 2002, 23(3): 36–39. (in Chinese with English abstract)
- [8] 王伟东, 刘建斌, 牛俊玲, 等. 堆肥化过程中微生物群落的动态及接菌剂的应用效果[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(4): 148–152.
- Wang Weidong, Liu Jianbin, Niu Junling, et al. Dynamics of microbial community and the effect of inoculum on the composting[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2006, 22(4): 148–152. (in Chinese with English abstract)
- [9] 吕育财, 朱万斌, 崔宗均, 等. 纤维素分解菌复合系 WDC2 分解小麦秸秆的特性及菌群多样性[J]. *中国农业大学学报*, 2009, 14(5): 40–46.
- Lü Yucai, Zhu Wanbin, Cui Zongjun et al. Characterization and community diversity of cellulose degrading microflora WDC2 during degrading wheat straw[J]. *J China Agric Univ*, 2009, 14(5): 40–46. (in Chinese with English abstract)
- [10] Guo P, Zhu W B, Wang H, et al. Functional characteristics and diversity of a novel lignocelluloses degrading composite microbial system with high xylanase activity[J]. *J Microbiol. Biotechnol*, 2010, 20(2): 254–264.
- [11] Li P P, Wang X J, Yuan X F, et al. Screening of a composite microbial system and its characteristics of wheat straw degradation. *Agric Sci China*, 2011, 10(10): 1586–1594.
- [12] Mata-Alvarez J, Macé S, Llabrés P. Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives [J]. *Bioresource Technol*, 2000, 74(1): 3–16.
- [13] Weiland P. Biomass Digestion in Agriculture: A Successful Pathway for the Energy Production and Waste Treatment in Germany [J]. *Eng Life Sci*, 2006, 6(3): 302–309.
- [14] Cavinato C, Fatone F, Bolzonella D, et al. Thermophilic anaerobic co-digestion of cattle manure with agro-wastes and energy crops: Comparison of pilot and full scale experiences [J]. *Bioresource Technol*, 2010, 101(2): 545–550.
- [15] Guo P, Wang X F, Zhu W B, et al. Degradation of corn stalk by the composite microbial system of MC1[J]. *J. Environ. Sci*. 2008, 20: 109–114
- [16] Yuan X F, Li P P, Wang H, et al. Enhancing the anaerobic digestion of corn stalks using composite microbial pretreatment[J]. *J. Microbiol. Biotechnol*. 2011, 21(7): 746–752.
- [17] 吕育财, 崔宗均, 王小芬, 等. 三组微生物菌群分解油菜秸秆的消化液性质比较[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(3): 210–214.
- Lü Yucai, Cui Zongjun, Wang Xiaofen, et al. Properties of digestive solution during anaerobic degrading rape straw by three different microbial communities [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2012, 28(3): 210–214. (in Chinese with English abstract)
- [18] 袁旭峰, 高瑞芳, 李培培, 等. 复合菌系 MC1 预处理对玉米秸秆厌氧发酵产甲烷效率的提高[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(9): 266–270.
- Yuan Xufeng, Gao Ruifang, Li Peipei, et al. Improvment of anaerobic biogasification efficiency by pretreatment of corn straw with composite microbial system of MC1[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2011, 27(9): 266–270. (in Chinese with English abstract)
- [19] 郭鹏, 王小芬, 朱万斌, 等. 纤维素分解菌复合系 MC1 分解木薯淀粉厂残渣[J]. *环境科学*, 2008, 29(3): 795–798.
- Guo Peng, Wang Xiaofen, Zhu Wanbin, et al. Degradation of cassava residue by the cellulose degradation composite microbial system MC1 [J]. *Environ Sci*, 2008, 29(3): 795–798. (in Chinese with English abstract)
- [20] Gao R F, Yuan X F, Zhu W B. et al. Methane yield through anaerobic digestion for various maize varieties in China[J]. *Bioresource Technol*. 2012, 118: 611–614
- [21] O’Sullivan C A, Burrell P C, Clarke W P, et al. The effect of biomass density on cellulose solubilisation rates[J]. *Bioresource Technol*. 2008, 99(11): 4723–4731.
- [22] O’Sullivan C A, Burrell P C, Pasmore M. et al. Application of flowcell technology for monitoring biofilm development and cellulose degradation in leachate and rumen systems[J]. *Bioresource Technology*, 2009, 100(1): 492–496.
- [23] 王伟东, 王小芬, 朴哲, 等. 堆肥化过程中微生物群

- 落的动态[J]. 环境科学, 2007, 28(11): 2591—2597.
- Wang Weidong, Wang Xiaofen, Piao Zhe, et al. Microbial dynamics during the composting process[J]. Environ Sci, 2007, 28(11): 2591—2597. (in Chinese with English abstract)
- [24] Guo P, Wang X F, Zhu W B, et al. Degradation of corn stalk by the composite microbial system of MC1[J]. J Environ Sci, 2008, 20(1): 109—114.
- [25] O'Sullivan CA, Burrell PC. The effect of media changes on the rate of cellulose solubilisation by rumen and digester derived microbial communities[J]. Waste Manag. 2007, 27(12): 1808—1814.

Acidification of four kinds of lignocelluloses materials in cow dung liquid

Gao Ruifang, Yuan Xufeng, Li Jiajia, Li Jie, Ren Jiwei, Wang Xiaofen, Cui Zongjun*

(College of Agronomy and Biotechnology/Center of Biomass Engineering, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: In this study, the law of acidification of dry rice straw, turf grass, dry corn straw and fresh corn straw in cow dung liquid was investigated. The property change of digestive solution during digestion process was evaluated, the rate of weight loss and soluble chemical oxygen demand (sCOD) change were used to analyze the efficiency of raw materials degradation and acidified product respectively. The results indicated that the degradation effects of four kinds of lignocelluloses materials in cow dung liquid were obvious, while the processes were different. The total weight loss of turf grass was the fastest and most with 73.25%; The weight loss of dry rice straw was 50%, close to that of turf grass with total loss of 72.01% on the 10th day; The weight loss of fresh corn straw was also close to that of turf grass and dry rice straw, which reached up to 68.36% on the 18th day and 71.64% by the end; The dry corn straw had the smallest weight loss of 57.6%. The decomposition rate of lignocelluloses of four kinds of materials were in order of rice > turf grass > fresh con straw > dry corn straw, and the hemicelluloses decomposition rates were best of all, cellulose and lignin were followed. The volatile fat acids produced by fresh or dry corn straw were more than that of rice straw and turf grass, the maximum total VFA of rice straw, turf grass, fresh corn straw and dry corn straw were in order of 3.91, 0.54, 7.16 and 10.99 g/L. The accumulation of acidification product was achieved from dry rice straw and turf grass, which was favorable, but the dry or fresh corn straw were unfavorable.

Key words: fermentation, cellulose, acidification, lignocellulose material, cow dung liquid, COD