两种花卉秸秆中温发酵产沼气潜力实验

周双双，王昌梅，赵兴玲，吴凯，杨斌，尹芳，柳静，杨红，张无敌

（云南师范大学，云南昆明650500）

摘要：以满天星秸秆、康乃馨秸秆为实验原料，在（30±1）℃条件下，采用全混合批量式发酵工艺对其进行厌氧发酵实验。实验结果表明，满天星秸秆的产气潜力分别为999mL/g（TS）和1118mL/g（VS），康乃馨秸秆的产气潜力分别为1384mL/g（TS）和1507mL/g（VS）。

凭借得天独厚的地理优势，云南省已成为世界上最适宜鲜切花种植的三大区域之一[1]。据云南省农业厅花卉产业处统计：2018年1-3月，云南鲜切花种植面积达11267ha，同比增长7.6%；鲜切花产量达24.9亿枝，同比增长2.3%，其中出口量为1.65亿枝，出口额达6597.57万美元。玫瑰、百合、康乃馨及满天星等作为鲜切花优势品种在云南的鲜切花交易量上占有很大的比例。然而大量鲜切花的生产带来经济效益的同时也引发了一系列的问题。花卉残余秸秆的随意抛弃不仅给环境带来了污染，而且造成了生物质资源的浪费[2]。相关学者对花卉秸秆的厌氧发酵虽已有一些研究，但对康乃馨和满天星秸秆的综合研究鲜有报道。本实验以满天星秸秆和康乃馨秸秆为原料，采用中温发酵的方法进行厌氧发酵，来探究其沼气发酵的产气潜力和特性，从而为今后利用沼气工程处理废弃花卉秸秆提供一定的参考依据。

1材料与方法

1.1发酵原料

原料：采用昆明斗南花卉市场废弃的新鲜满天星秸秆和康乃馨秸秆作为发酵原料。

接种物：以猪粪为原料，并在实验室经过长期驯化得到的接种物。

1.2实验材料预处理

将满天星秸秆和康乃馨秸秆清理干净后，切碎成小于2cm的小段，以便与接种物混合均匀。

1.3实验装置

采用实验室自行设计的厌氧发酵装置[3]。

1.4实验设计

在（30±1）℃下进行中温发酵实验，实验中设置实验组和对照组，每组重复三个平行。实验装置中的料液配比如表1所示。

表1　料液配比

Table 1　The ratio of solid to liquid

组别	原料	配比
实验组1	满天星秸秆	20 g 原料，120 mL 接种物，加水至 400 mL
实验组2	康乃馨秸秆	20 g 原料，120 mL 接种物，加水至 400 mL
对照组	—	120 mL 接种物，加水至 400 mL

1.5分析检测

（1）原料分析：采用沼气发酵常规分析方法[4]。经测定满天星秸秆TS为26.91%，VS为89.36%，康乃馨秸秆TS为24.52%，VS为91.82%，接种物TS为12.30%，VS为75.08%。

（2）发酵料液pH测定：采用精密pH试纸（5.5-9.0）测定发酵前后料液pH值。

（3）产气量测定：排水集气法收集沼气[5]，根据排出水的体积计算每天产生的气体体积.每天定时记录各组装置的产气量。试验结束后，综合实验数据进行产气指标的分析，包括TS产气率和VS产气率。

（4）甲烷含量测定：采用福立9790Ⅱ型气相色谱仪测定气体中甲烷含量[6]。

2结果与分析

2.1发酵前后物料降解结果

满天星和康乃馨秸秆发酵前后料液的TS和VS测定结果及降解情况如表2。

表 2　发酵前后料液 TS、VS 及 pH 值

Table 2　TS, VS and pH value of fermentation liquid before and after fermentation

类别	满天星秸秆			康乃馨秸秆			对照组		
	发酵前	发酵后	降解率	发酵前	发酵后	降解率	发酵前	发酵后	降解率
TS/%	5.03	1.36	72.96	4.92	1.59	67.68	3.69	0.91	75.34
VS/%	80.13	62.00	22.62	80.68	54.93	31.92	78.58	69.52	11.52
pH	7.0	7.5		7.0	7.5		7.0	7.5	

由表2可知，经厌氧发酵，原料的TS和VS都有一定程度的降低，这说明部分原料被微生物分解利用.原料的TS和VS降解程度均高于接种物，但康乃馨秸秆的VS降解程度更高。整个发酵系统的pH值在发酵后略有回升，可能是氨化作用产生的氨溶于水，中和了有机酸所致，但其值仍在适合产甲烷菌正常生长的pH范围内[7]。

2.2产气情况分析

2.2.1日产气量

2种原料实验组的日产气量的变化曲线如图1所示。从图1可知，实验组的发酵时间为46d，实验启动迅速，第1天就开始产气。满天星秸秆产气量为40mL，康乃馨秸秆产气量为50mL，此时发酵装置所产生的气体无法点燃.满天星秸秆在第17、22和35天出现了产气高峰，对应的产气量分别为280、220和225mL。康乃馨在第11、16和36天有产气高峰，峰值分别为340、250和310mL。从整体趋势来看，两者的日产气量随着时间的增加都呈现先增加后减小至零的规律。康乃馨秸秆最早到达产气高峰，满天星秸秆稍晚一些。

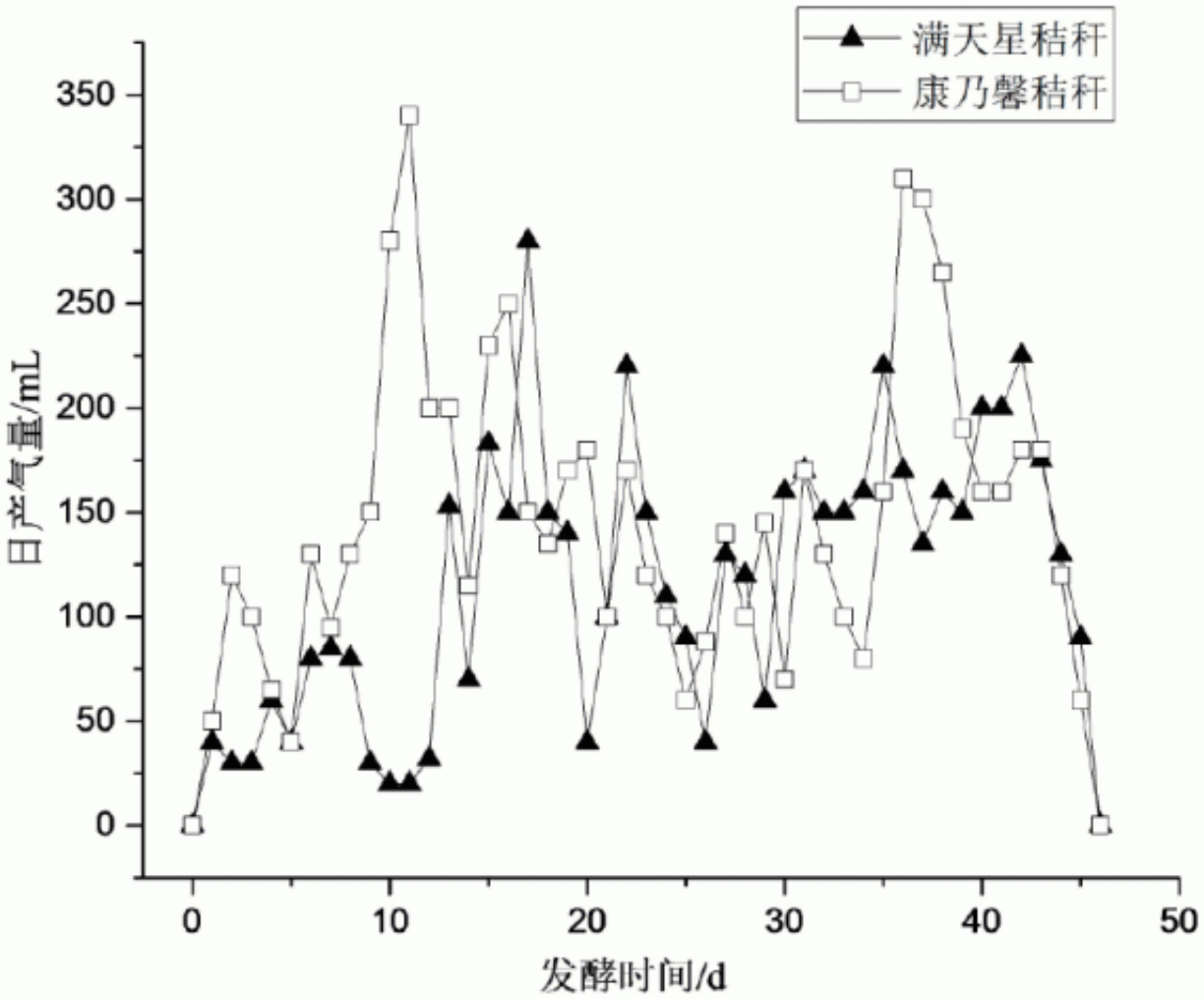

图 1　日产气量随时间变化曲线图

Fig.1　The curve of biogas production for everyday

2.2.2甲烷含量

将满天星秸秆和康乃馨秸秆整个厌氧发酵过程中所产气体每3天测定一次甲烷含量，结果如图2所示。

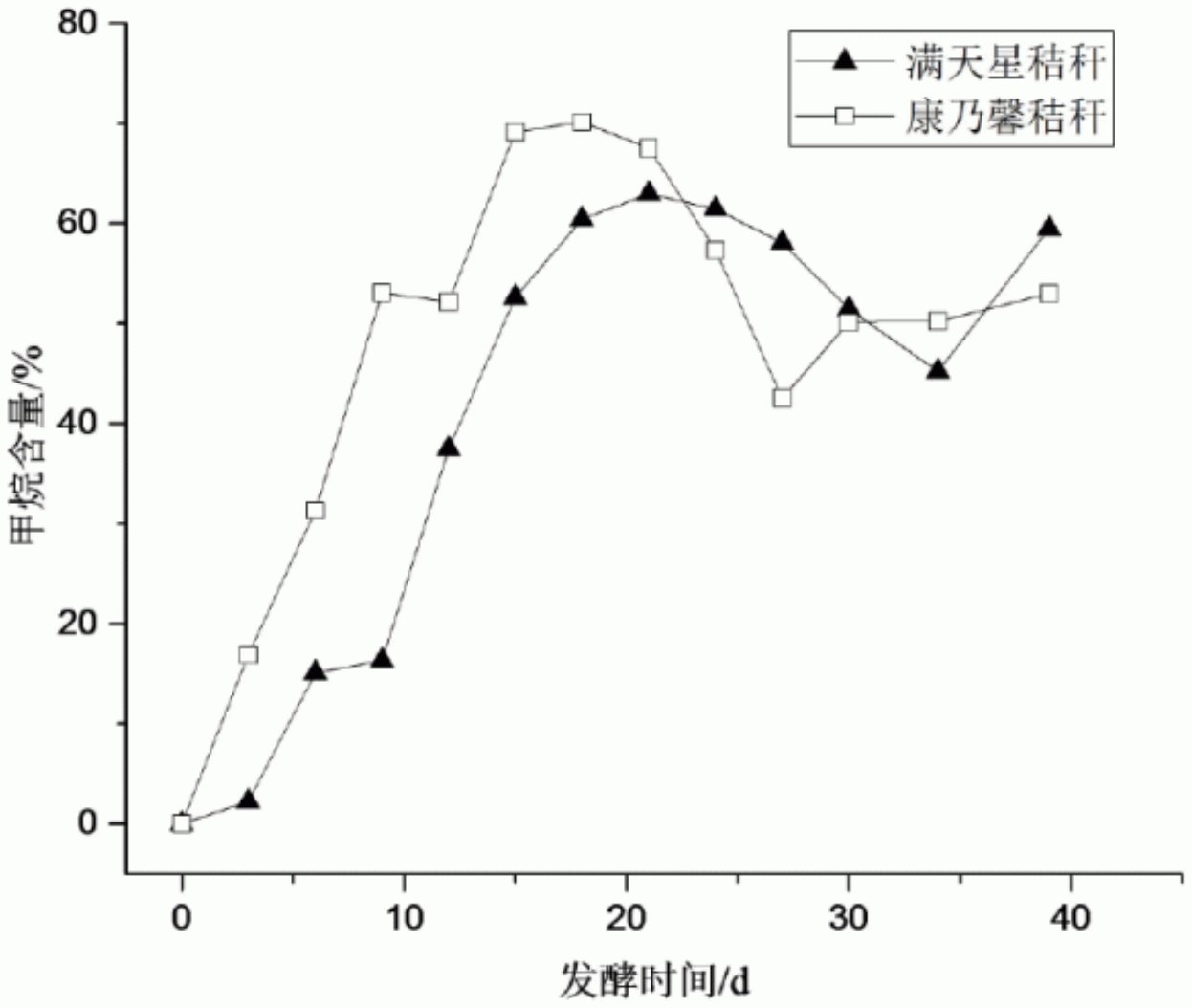

图 2　发酵过程中甲烷含量变化情况

Fig.2　Methane content of biogas

由图2可知，在实验期间，满天星秸秆和康乃馨秸秆的甲烷含量最高可达60%以上。随着时间的延长，甲烷含量都呈现升高的趋势，增高到一定程度后略有下降.说明发酵原料在此阶段逐渐分解，产甲烷菌的数量逐渐增加，表现一定程度的活跃性。在两种原料的日产气量达到产气高峰时，对应的甲烷含量基本在50%以上。满天星秸秆的甲烷含量增长的较为缓慢，而康乃馨秸秆的相对较快。

2.2.3累计产气量

实验组的累计产气量随发酵时间的变化情况如图3所示。

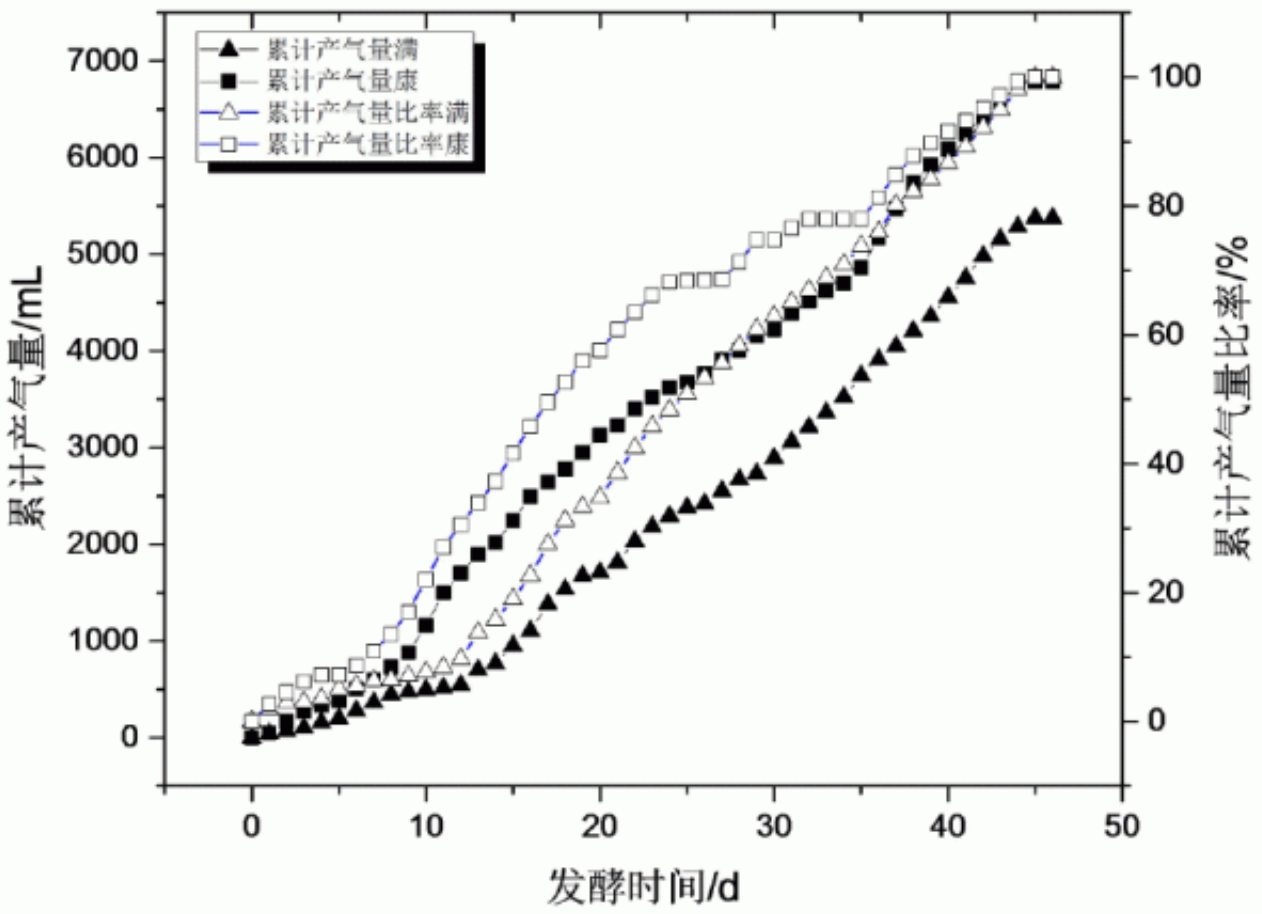

图 3　发酵过程中累计产气量的变化情况

Fig.3　Cumulative gas production curve

由图3可知，在整个厌氧发酵的过程中，满天星秸秆的总产气量为5378mL，康乃馨秸秆的总产气量为6788mL.对于满天星秸秆实验组，第1-13天累计产气量增长较快，之后增长速度变缓。满天星秸秆在前36d的累计产气量达到了总产气量的80%以上，这说明在整个厌氧发酵周期内，满天星秸秆产沼气主要集中在前36d。对于康乃馨秸秆，累计产气量的增长速率前期相对较缓，在出现第一个日产气高峰后，累计产气量几乎保持一定的速率增长，与发酵时间呈线性关系。这说明在此阶段微生物的活性较高，产气效果最好。康乃馨秸秆在第37天也达到了总累计产气量的80%以上。由此初步得出满天星秸秆和康乃馨秸秆的水力滞留时间（HRT）分别为36和37d。

2.3不同发酵原料的产气潜力分析

为进一步评价满天星秸秆和康乃馨秸秆的发酵潜力，对发酵温度在30°C下的不同秸秆的发酵时间及TS产气率进行了统计（表3）。由表3可知，满天星秸秆和康乃馨秸秆的TS产气率都远高于其他种类秸秆的TS产气率，同时发酵时间远短于麦秆、豆秆原料，而长于其他植物性原料。若将满天星秸秆和康乃馨秸秆作为沼气发酵的原料，可获得较好的经济收益。

表 3　不同发酵原料的产气潜力

Table 3　Biogas potential of various fermentation materials

发酵原料	发酵时间/d	TS 产气率/(mL/g)	TS 产气率的倍数	参考文献
满天星秸秆	46	999	1.00	本试验
康乃馨秸秆	46	1 384	1.22	本试验
马蹄莲秸秆	22	795.43	0.88	[8]
甜高粱秸秆	36	583	0.32	[9]
玫瑰花秸秆	44	305	0.39	[10]
麦秆	70	207	0.44	[11]
豆秆	70	269	0.39	[11]
香蕉秆	30	970	0.96	[12]
油菜秸秆	41	264	0.89	[13]
勿忘我秸秆	36	359	0.67	[14]

3结论

（1）以满天星秸秆和康乃馨秸秆为原料，在（30±1）℃下进行全混合批量式发酵实验，发酵时间为46d，发酵启动迅速。

（2）满天星秸秆和康乃馨秸秆都是较好的沼气发酵原料。满天星秸秆TS产气潜力为999mL/g，VS产气潜力为1118mL/g；康乃馨秸秆TS产气潜力为1384mL/g，VS产气潜力为1507mL/g。

（3）在400mL的发酵系统中，满天星秸秆净产气总量为5378mL，其中前36d累计产气量超过总产气量的80%以上。在工程设计上将水力滞留时间初步设为36d.康乃馨秸秆净产气总量为6788mL，前37d累计产气量达到总产气量的80%以上，工程设计上可初步设定水力滞留时间为37d。

参考文献：

[1]陈名。云南花卉产业发展优势研究[D].成都：西南财经大学，2016.

[2]杨红，马煜，张无敌，等.康乃馨秸秆发酵产沼气潜力的实验研究[J]。云南师范大学学报：自然科学版，2011，31（增刊2）：81-84.

[3]吉喜燕，林卫东，张无敌，等.鸽粪中温发酵产沼气潜力的实验研究[J]。中国沼气，2015，33（3）：51-55.

[4]张无敌，宋洪川，尹芳，等.沼气发酵与综合利用[M].昆明：云南科技出版社，2004.

[5]王江丽，李为，严波，等.棉杆沼气发酵潜力的研究[J].浙江农业科学，2009（1）：183-186.

[6]李军。气相色谱仪在气体组分分析中的应用[J].仪器仪表用户，2013，20（5）：64-67.

[7]白娜，符征鸽，梅自力，等.茶渣沼气发酵潜力研究[J].中国沼气，2011，29（3）：20-23.

[8]苏有勇，张无敌。马蹄莲秸秆厌氧发酵产沼气的研究[J].农业与技术，2003，23（6）：53-57.

[9]郭成，张无敌，尚朝秋，等。甜高粱发酵产沼气的试验研究[J].河南农业大学学报，2017，51（5）：683-687.

[10]杨红，许玲，张无敌，等.玫瑰秸秆产沼气潜力的试验研究[J].湖北农业科学，2013，52（17）：4086-4089.

[11]冯茵菲，丘凌，王晓曼，等.葵盘、麦秆和豆秆中温厌氧发酵产气潜力及特性[J].西北农业学报，2009，18（3）：361-364.

[12]张啸，杨斌，马煜，等。香蕉秆厌氧发酵产沼气的研究[J].云南师范大学学报，2011，31（增刊2）：119-121.

[13]罗彬，李宁，王栋，等。油菜秸秆厌氧消化产沼气特性研究[J].环境科学与技术，2014，37（12）：193-198.

[14]吉喜燕，林卫东，张无敌，等。勿忘我花秆发酵产沼气的实验研究[J].新能源进展，2014，2（5）：358-363.

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/179241.html