牛粪与水稻秸秆混合厌氧发酵产沼气工艺优化分析

姜文腾

（国峰清源生物能源有限责任公司，北京100022）

摘要：牛粪与水稻秸秆混合物进行厌氧发酵，不仅能够产出生物质能源、改进能源结构，还能降低农业废弃物对生态环境造成的危害，促进生态、经济同步发展。在牛粪与水稻秸秆混合厌氧发酵过程中，原料配比、预处理剂差异、外部温度等因素都会影响厌氧发酵效果。为了促进生物质能源生产效率与质量的进一步提升，本文开展试验优化牛粪与水稻秸秆混合物厌氧发酵产沼气工艺。结果表明，水稻秸秆和牛粪按照1：1比例获取混合物进行厌氧发酵，并将浓度为2%的H_2O_2作为预处理剂，厌氧效果最佳。

牛粪和水稻秸秆是农业生产中常见的废弃物，对两者实现混合发酵，会比单一发酵效果更好。在对牛粪和水稻秸秆混合物进行厌氧发酵的过程中，预处理剂类型、浓度及混合物配比等因素都会影响沼气生产效率和质量。为了获得最佳发酵成效，该文结合厌氧发酵技术，通过试验对牛粪与水稻秸秆混合厌氧发酵产沼气的工艺进行优化，为提升发酵效果提供一定的理论基础。

一、厌氧发酵技术概述

所谓厌氧发酵技术，指的是在无氧气环境下，通过厌氧菌自身生化作用，分解转化畜禽粪便、人类粪便、污水及秸秆等复杂有机物，并杀死寄生卵、病菌，产生沼气的过程，也被称为厌氧消化或者沼气发酵技术[1]。微生物是整个过程中最活跃的因子，其分解、转化各种复杂有机物，产生沼气。

二、材料和方法

（一）试验装置

在优化牛粪与水稻秸秆混合厌氧发酵产沼气工艺试验过程中，首先结合试验目的和试验理论技术，设计单项厌氧发酵系统。试验装置主要包括3个部分，分别是集气装置、水浴恒温装置、发酵装置（见图1）。在集气装置中，包含一个容量为1L的烧杯和容量为2L的锥形瓶，为了防止出现漏气现象，用橡胶塞对锥形瓶口进行密封，该橡胶塞设有导气孔；水浴恒温装置中设置一个温度控制仪，结合不同试验阶段具体的温度要求，对发酵温度进行动态调整；发酵装置为5L的下口瓶，并用具有导气孔的橡胶塞对瓶口进行密封处理，使瓶内形成厌氧环境。装置之间通过橡胶管和玻璃管来连接导液管和导气管。

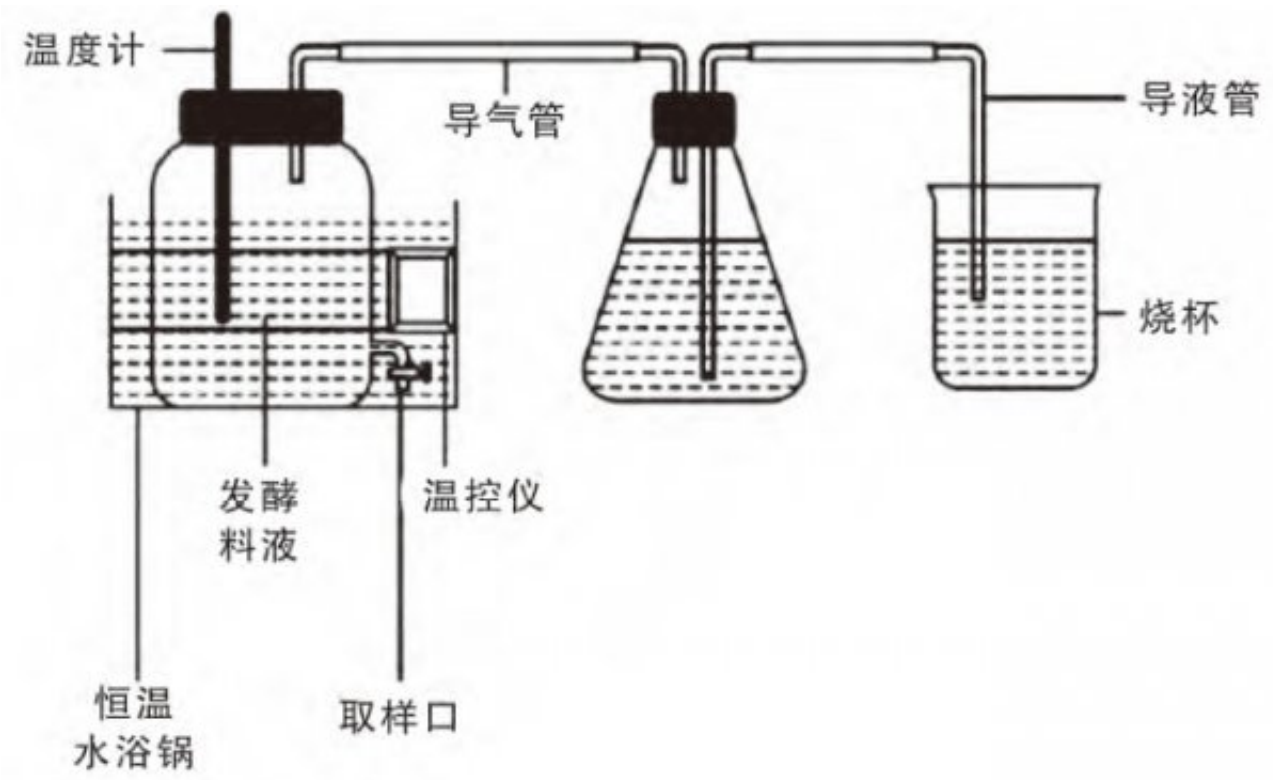


图 1　试验装置

（二）试验材料

在试验材料的准备过程中，发酵材料最重要，直接影响着厌氧发酵中微生物的生长和繁育。所选鲜牛粪、秸秆需要满足碳氮元素配比要求，碳氮比最好控制在（20∶1）～（30∶1）。活性污泥富含微生物群落，生物活性较强，在厌氧发酵中充当接种物。在某标准化养殖场取牛粪，当作菌种来富集厌氧，同时在实验室对鲜牛粪进行一定时间的沤制，以此作为备用材料。在当地某水稻田取水稻秸秆，在附近的污水处理厂取活性污泥当作接种物。发酵原料碳氮含量见表1。为了从污泥中富集厌氧菌，对取来的污泥进行厌氧驯化，驯化时间为14d，并在驯化期间定期将适量营养液加入其中，以有效提高污泥浓度。

表 1　发酵原料碳氮含量

含量	接种物	秸秆	牛粪
碳 %	7.02	42.80	30.36
氮 %	0.48	1.66	1.18
碳氮比	14.63	25.78	25.73

（三）试验设计

此次试验通过批式进料，并按照设计好的试验条件与参数，根据一定比例混合经过驯化的活性污泥、经过预处理的水稻秸秆和牛粪，装入自制发酵装置中，实现持续性发酵。试验分为2个环节，第一环节是针对预处理剂展开的优化试验，第二环节是针对预处理剂浓度展开的优化试验，第三环节是针对物料配比展开的优化试验。在第一环节和第二环节试验中，分别设置1个对照组和3个试验组，在第三环节试验中，设置2个对照组和3个试验组。在整体试验过程中

，发酵温度始终保持在34～36℃，发酵料液最初的固体含量总量保持在8%，投入活性污泥量（干质量）保持在0.79g，每天按照固定的时间搅拌一次。

在试验之前，需要对水稻秸秆进行预处理，具体处理方法为把水稻秸秆铡成细条状，每个细条长度保持在1～2cm，在预处理溶液中浸泡24h。预处理溶液和秸秆的混合物中，固液比例需要保持在1∶10，并按照不同试验环节具体要求差异化配置预处理溶液。浸泡结束后，用蒸馏水将秸秆冲洗干净，之后将其浸泡在蒸馏水中，经过一定时间的浸泡获得中性秸秆，同时风干处理中性秸秆，备用。

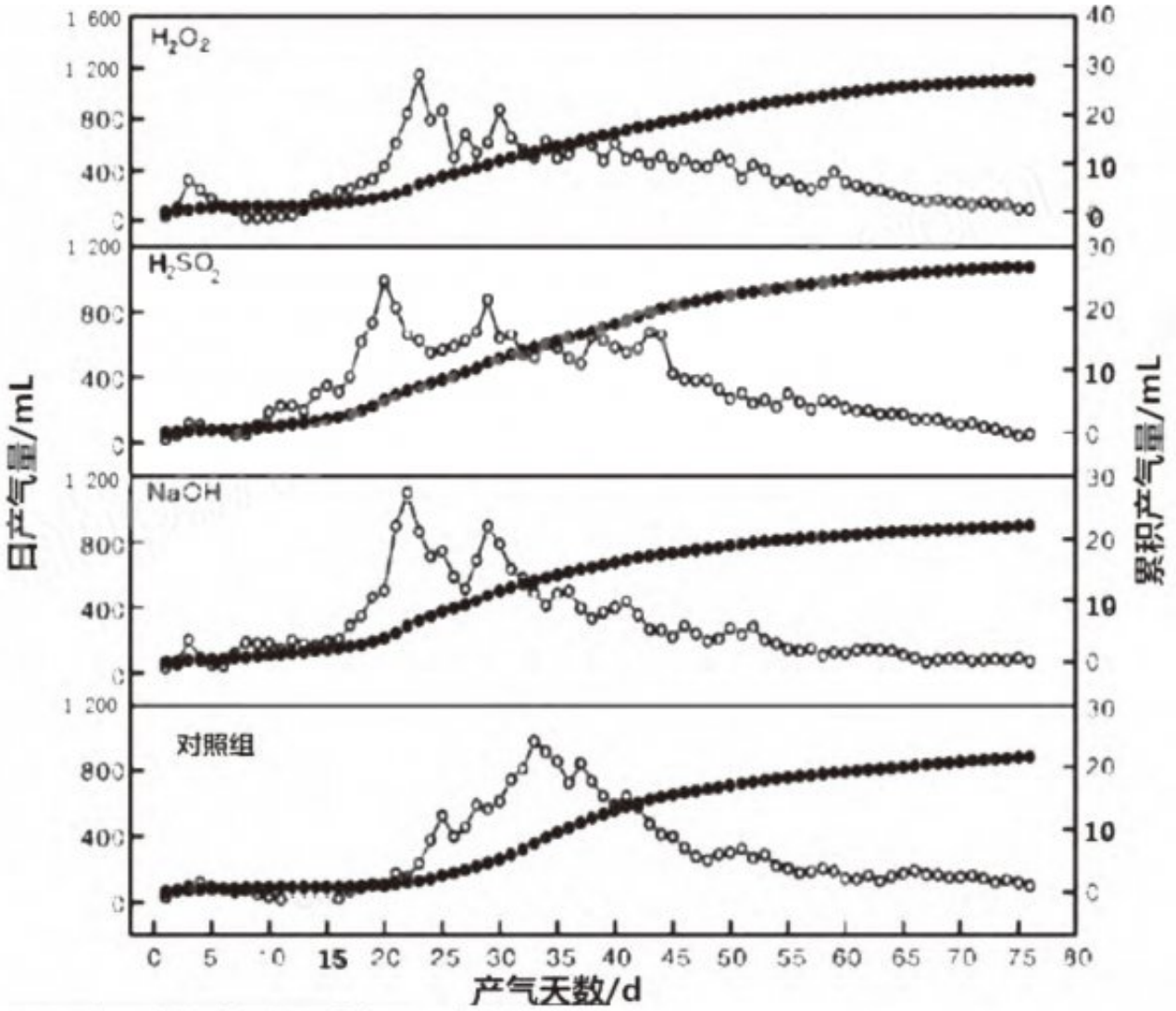
（四）试验测定项目及方法

为了获得比例合适的发酵料液，需要在实际配置过程中利用烘干法进行固体总含量的测定。同时，定期通过PHS-3C酸度计对pH值进行科学测定，一般间隔时间为3h。总氮和化学需氧量都是在发酵之前和发酵之后，分别利用硫酸钾消解紫外分光光度法和重铬酸钾法进行测定。另外，还要定期测定产气量，主要的测定方法为排水法，按照规定时间每天测定一次[2]。

三、结果与分析

（一）不同类型的预处理剂对厌氧发酵产生的影响

使用不同类型的预处理剂，对牛粪和水稻秸秆对应混合物实现厌氧发酵，其产气趋势见图2。



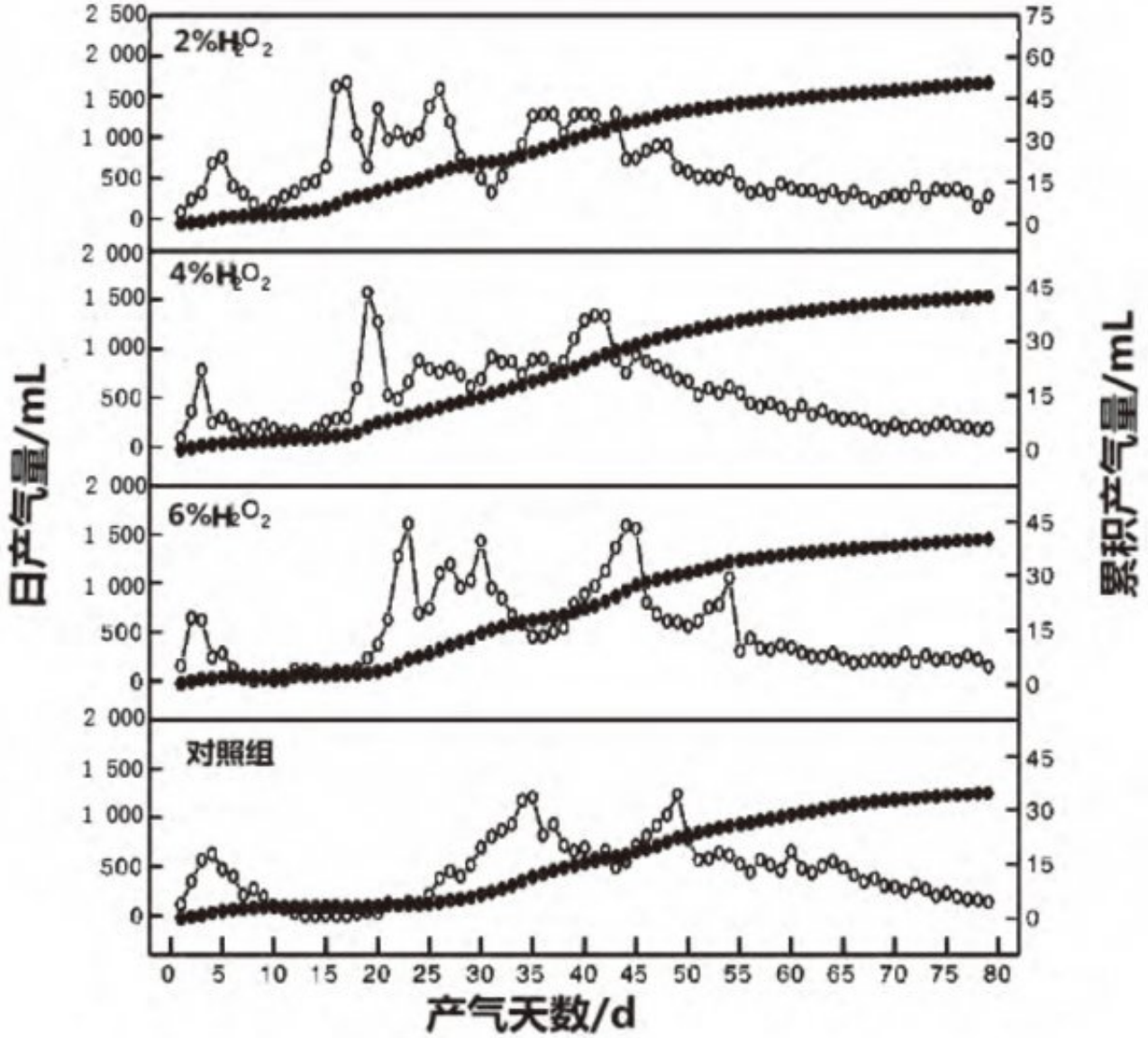
注：●表示累积产气量；○表示日产气量。

图 2　不同预处理剂下的产气趋势

因为在实际发酵之前，已经对牛粪进行了一定时间的沤制，所以对照组和试验组在刚开始发酵的时候都出现了一个小的产气高峰。随着发酵时间的推移，产酸速率逐渐上升，且远高于产甲烷的速率，所以发酵过程中开始积累大量的酸物质，促使pH值显著下降，进而降低了富集甲烷菌的速率，产气量呈现缓慢上升趋势，或者出现一定下降。随着发酵的持续进行，开始加大酸物质消耗量，进而促使pH值上升，加快富集产甲烷菌，并使产气量呈现上升趋势[3]。对照组和预处理剂为NaOH、H_2SO_4、H_2O_2的试验组，分别在第33、22、20、23天呈现出最高产气值，最大产气速率分别为976、1098、992、1145mL/d。在发酵物料逐渐减少的过程中，产气量仍呈下降趋势。对照组和3组试验组对应积累产气量从小到大分别是对照组＜NaOH＜H_2SO_4＜H_2O_2，产气量分别是21.6、22.0、26.8、27.3L。可见经过酸碱处理的试验组，产气速率得到显著提升，明显优于对照组。试验组中，产气量极值出现在H_2O_2组。将每组产气累积量达到产气总量的90%设为一个发酵周期，则发酵周期由长到短分别是对照组＞H_2O_2＞H_2SO_4＞NaOH，周期天数分别为61、59、57、54d，综合来看没有明显差异。因此，对水稻秸秆实现一定预处理，能够更快地出现产气高峰，进而有效提升产气速率和产气量。通过H_2O_2实现预处理，产气速率最大值和产气量都要高于NaOH和H_2SO_4。

（二）预处理剂差异化浓度对厌氧发酵产生的影响

结合上述试验，在对预处理剂浓度展开优化试验的过程中，使用的预处理剂为H_2O_2，对应试验结果见图3。



注：●表示累积产气量；○表示日产气量。

图 3　不同预处理剂浓度下的产气趋势

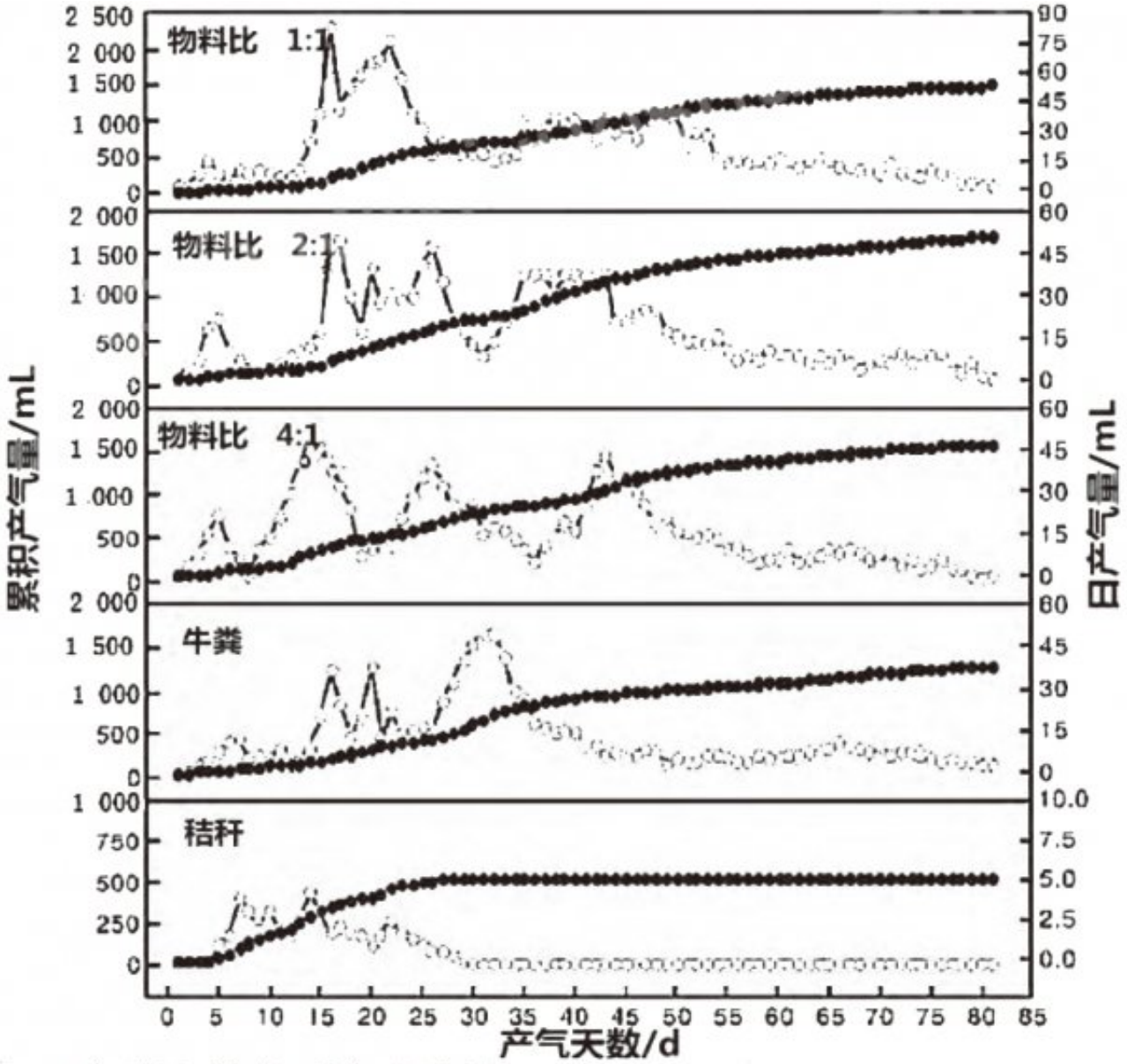
对照组和浓度分别为6%、4%和2%的H_2O_2试验组，其产气趋势都呈现出先上升后下降的趋势，整个趋势中均出现了多个显著产气峰值[4]。4组产气最大峰值分别是第49、23、19、17天，对应的产气速率最大值分别是1237、1613、1574、1673mL/d。相比试验组，对照组产气过程比较滞后，并且产气速率较低，证明秸秆在实现预处理之后，能够明显缩减发酵周期，促使产气效率得到有效提升。预处理剂为H_2O_2，浓度分别是6%、4%和2%的试验组，在实际发酵过程中，日产气量都高于1000mL的维持天数分别是11、6、18d，可见浓度为2%的H_2O_2

$_2O_2$＜4%H_2O_2＜2%H_2O_2，产气量分别是34.6、40.1、42.1、50.5L。浓度为6%、4%的H_2O_2试验组由于预处理浓度相对较高，会对秸秆造成较为严重的破坏，所以这两组累计产气量相对较低。将产气累积量达到产气总量的90%设为一个发酵周期，4组发酵周期从大到小分别是对照组＞2%H_2O_2＞4%H_2O_2=6%H_2O_2，试验组相比对照组有所提前，在试验组之

间没有明显差异。相比6%H_2O_2和4%H_2O_2，2%H_2O_2
出现产气高峰期时间更靠前，并在提高产气量、产气速率和产气天数等方面效果更好。

（三）差异化物料配比对厌氧发酵产生的影响

根据上述试验，确定对水稻秸秆进行预处理的时候，H $_2O_2$
为最佳预处理剂，且最佳浓度为2%，以此对不同配比的物料进行试验对比，试验结果见图4。



注：●表示累积产气量；○表示日产气量。

图 4 不同原料配比条件下的产期趋势

单一秸秆和单一牛粪为两对照组，牛粪和秸秆混合配比4：1、2：1、1：1为3组试验组，5组均有几个较为显著的产气高峰，产气速率最高值分别是450、1673、1587、1672mL/d和2297mL/d，可见混合比例为1：1的试验组具有最高产气速率[5]。同时，相比其他小组，1：1试验组在整体发酵期间pH值下降幅度相对较小，并且pH值较快回升至稳定状态，发酵产沼气系统比较稳定。对照组和试验组积累产气量从小到大分别是单一秸秆＜单一牛粪＜4：1＜2：1＜1：1，对应产气量为5.2、38.3、46.9、50.8L和53.7L，同时3组试验组的发酵周期没有明显差异。因此，混合厌氧发酵的产气高峰出现时间、产气量和产气速率均高于单一发酵，且原料配比在1：1时各项参数最佳。

综上所述，利用水稻秸秆和牛粪

1：1的混合物进行厌氧发酵，并将浓度为2%的H_2O_2作为预处理剂，能够获得最佳的厌氧发酵效果。

四、结语

水稻秸秆和牛粪作为常见的农业废弃物，利用两者进行厌氧发酵，对促进清洁能源生产和维护生态平衡具有重要作用。该文通过试验对牛粪与水稻秸秆混合厌氧发酵产沼气工艺进行优化，得出水稻秸秆和牛粪按照1：1比例获取混合物进行厌氧发酵，并将浓度为2%的H_2O_2作为预处理剂，厌氧效果最佳。

参考文献：

[1]王艳芹，付龙云，杨光，等.农村有机生活垃圾等混合物料厌氧发酵产沼气性能[J].农业资源与环境学报，2016（6）：1173.

[2]孙亚飞.基于秸秆与粪便混合原料的富氢沼气发酵工艺研究[D].郑州：河南农业大学，2016.

[3]梁仲燕，戴本林，郭旭晶，等.H3PO4预处理水稻秸秆厌氧发酵产沼气的试验研究[J].中国沼气，2016（3）：31.

[4]张钧，王月，黄培操，等.牛粪水稻秸秆厌氧共发酵产沼气操作参数优化[J].天津农学院学报，2017（1）：58.

[5]姜宗姗，平佳芃，郭延凯，等.牛粪与玉米秸秆配比对混合厌氧发酵速率的影响[J].河北科技大学学报，2016（4）：396.

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/168565.html