

高浓度玉米秸秆厌氧发酵产沼气研究

王禹霄飞，孙云博，曲威

(中国农业大学烟台研究院，烟台264670)

摘要：以干黄玉米秸秆为主要发酵原料，本文研究了10%、15%和20%等三种干物质浓度对玉米秸秆干式厌氧发酵产沼气性能的影响。研究表明：发酵前20d为产气高峰期，随着干物质浓度增加，产气量呈上升趋势，发酵反应器的有机负荷率也随之增加。20%的干物质浓度产气效果最好，累积产气量达16948ml，物料产气率达到212ml/g，相应的容积产气率可以达到0.847ml/(ml·d)。研究所得结果对利用玉米秸秆进行干物质发酵的实际应用具有一定的指导意义。

我国是一个农业大国，每年产生大量的农业废弃物，其中农作物秸秆总量约8亿~9亿t。农作物秸秆的处理主要以转化为养殖饲料和堆肥还田为主，除此之外还有一大部分未充分利用。大量未处理的农作物秸秆被随地堆弃和任意焚烧，造成严重的空气污染和土壤污染，在秋冬季节还会引起火灾事故等生态和社会问题[1]。以农作物秸秆为主要物料进行厌氧消化产生再生能源沼气，不仅可以利用湿法（总固体浓度大约在10%以下）进行厌氧发酵，也可以采用干法（总固体浓度为15%~35%）进行厌氧发酵[2]。干法厌氧发酵启动性能尽管比不上湿法厌氧发酵，但是它的单位容积产气率较高，发酵过程中需水量小或不需要水，发酵结束后无大量沼液外排，发酵后的处理费用较低。本文以玉米秸秆为发酵原料，研究同玉米秸秆干物质浓度条件下的厌氧发酵产沼气效果，同时考察发酵过程中有机负荷率与池容产气率，期望寻求合适的玉米秸秆干发酵的物料浓度，为实际沼气工程应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

玉米秸秆取自中国农业大学烟台研究院内种植实验基地。玉米秸秆在地里自然风干，整体呈暗黄色。实验前，将玉米秸秆剪成小段后放入粉碎机打成3~5mm的颗粒，装于透明密封袋中待用。

猪粪水取自烟台市牟平区养猪场，取回后置于4℃冷藏室中保存。

接种物取自实验室内正常运行的沼气发酵罐的新鲜出料，该沼气发酵罐运行温度为37℃。

1.2 试验装置

厌氧发酵装置采用自制沼气发酵系统，玻璃厌氧发酵瓶有效容积为400ml，用橡胶塞密封，橡胶塞上留有出气口，出气口由塑料管连接集气袋，用于收集沼气。发酵瓶置于水浴锅（HH-60），发酵过程中保持37℃±1℃恒温。

1.3 试验设计

采用批次实验分析高浓度玉米秸秆对产甲烷的影响，试验分为4组，原料玉米秸秆TS浓度分别为10%、15%和20%，以及对照组。原料和接种物加入到厌氧发酵瓶，充入氮气2min后，使发酵瓶内部形成厌氧环境。试验进行了50d，每天测定产气量，每3d测定甲烷含量。表1中给出的产气数据均为去除对照后的结果。

表 1 批次试验设计

原料 TS/%	玉米 秸秆质量 /g	接种物 /ml	猪粪水 /ml	水 /ml
对照	0	200	120	80
10	40	200	120	40
15	60	200	120	20
20	80	200	120	0

1.4分析方法

干物质含量（TS）的测定方法：105℃下烘干24h，并利用差重法测定。挥发性固体含量（VS）的测定方法：550℃下灼烧4h，并利用差重法测定。甲烷含量采用便携式气体分析仪测定。

2结果与分析

2.1不同干物质浓度玉米秸秆发酵日产沼气量变化

以玉米秸秆为原料的厌氧发酵产气第1d，各处理组所产气体不可燃，为废气。由图1可知，在厌氧发酵的前10d阶段，各处理组日产气量随发酵时间的延长，逐渐增大。TS10%、15%和20%的处理组分别在发酵的第20d、第21d和第21d达到最大日产沼气量，分别为436ml、523ml和546ml，随后各处理组产气量迅速下降。

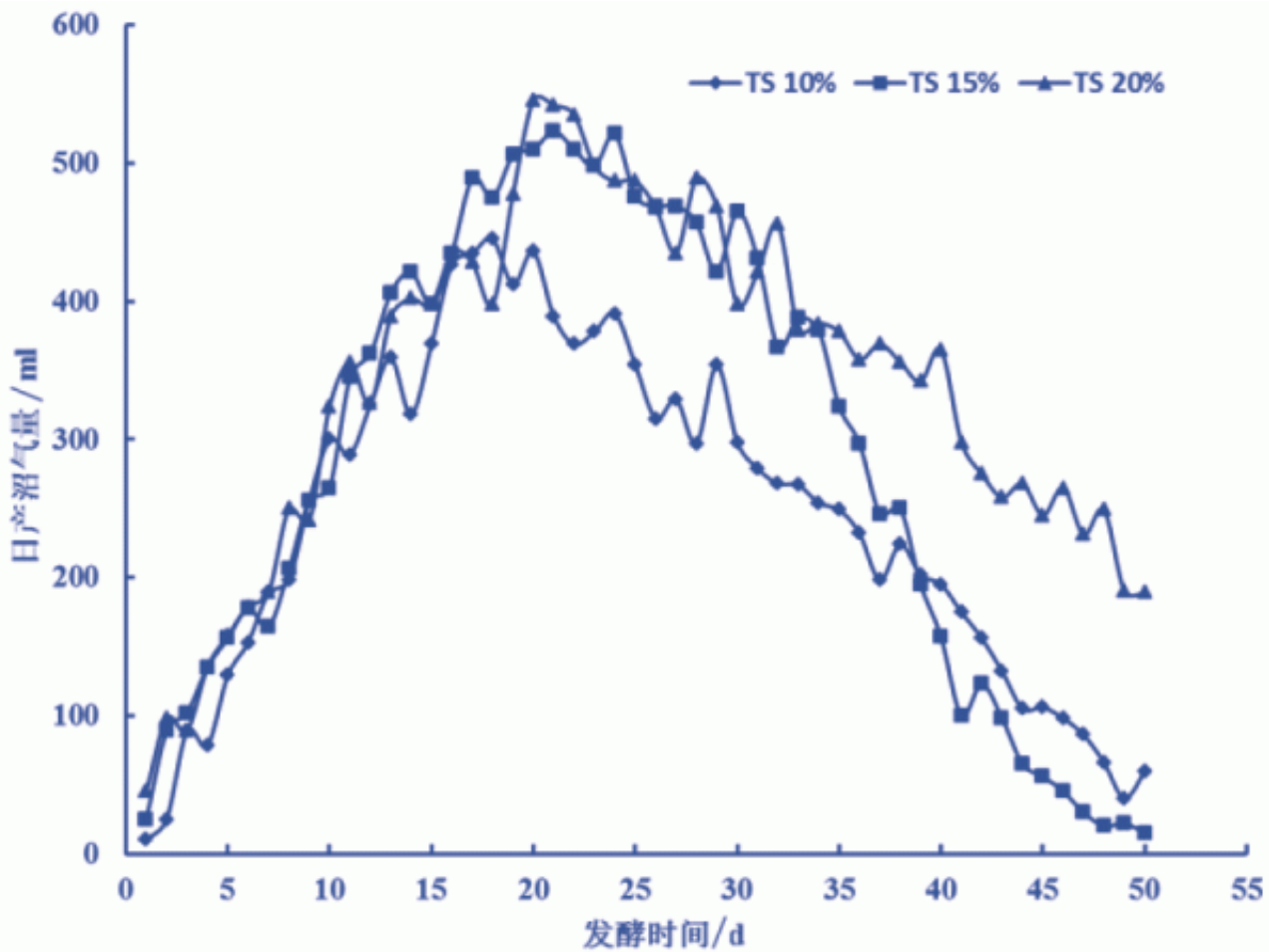
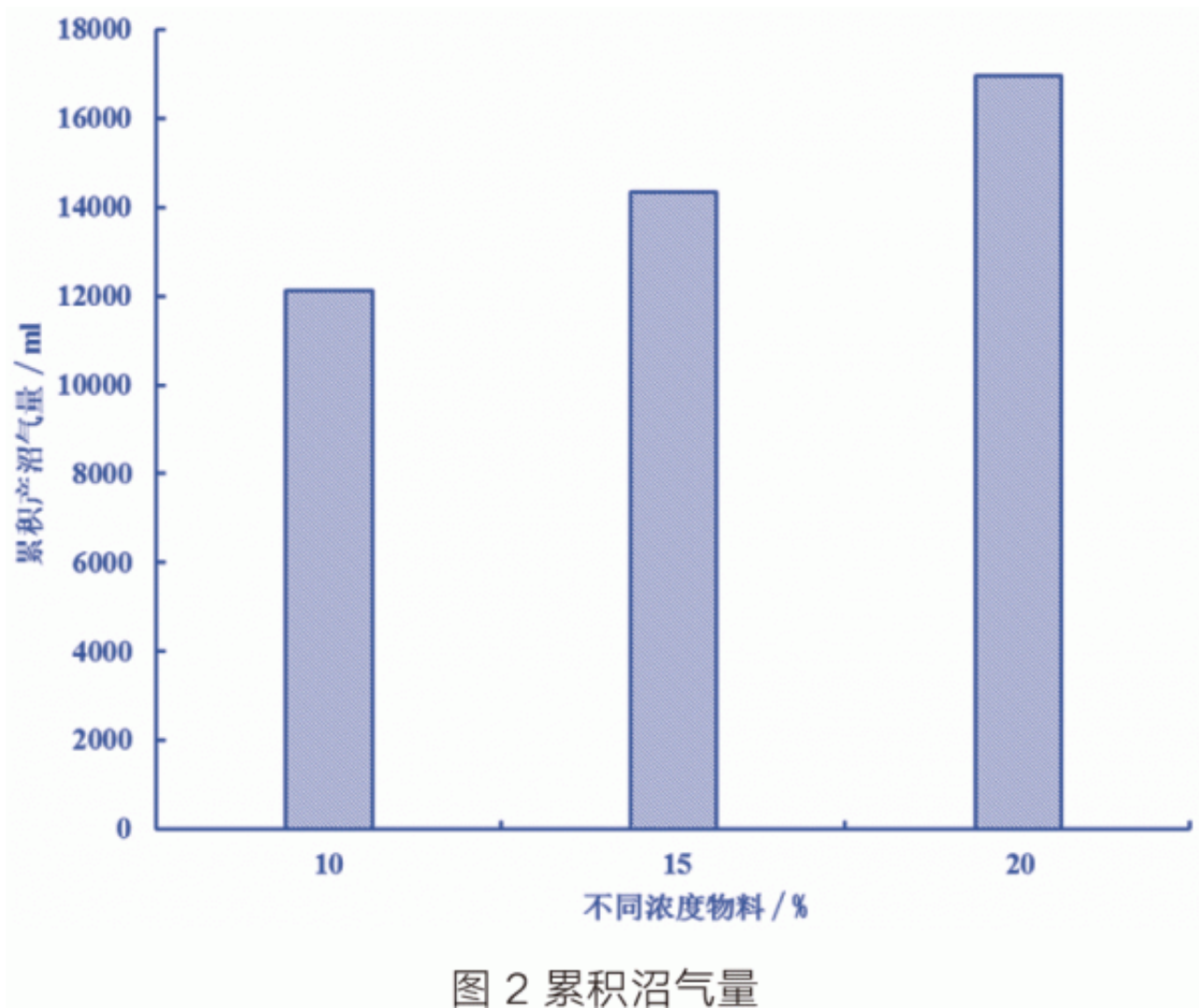


图 1 日产沼气的量

2.2不同干物质浓度玉米秸秆发酵累积产沼气的量

在底物浓度适宜的条件下，微生物在厌氧条件下进行沼气发酵，发酵反应速度会随底物浓度的升高而增大，产生的沼气的量也有一定程度的增加。由图2可知，当厌氧发酵瓶内发酵原料玉米秸秆的干物质浓度由10%增加到15%时，沼气的产量提高18.43%，而玉米秸秆的单位干物质产气量却由302.7ml/g降到239ml/g，降低63.7ml/g；由15%变化到20%时，沼气的产量提高18.18%，单位产气量由239ml/g降到211.85ml/g，降低了27.15ml/g。研究结果表明，在本沼气发酵周期内，虽然沼气的产量随发酵原料固体浓度的升高而提高，但是单位干物后的产气量却有所降低，这说明利用较高浓度干物质原料进行干式发酵时，应当选择较长的厌氧发酵时间，以利于发酵物料能够被充分利用，降解转化为沼气。



2.3 不同干物质浓度玉米秸秆发酵产沼气中甲烷含量的变化

在利用玉米秸秆进行厌氧发酵过程中，发酵原料的干物质浓度越高，其中含有的碳素含量越高，这将为微生物生长提供充足的原料，发酵所产生的甲烷产量也有一定程度的增加。由图3可知，在厌氧发酵初期，随着玉米秸秆被微生物水解，产甲烷微生物开始利用水解产物进行甲烷发酵，沼气中的甲烷含量随发酵时间的延长，浓度逐渐增大。不同玉米秸秆浓度的发酵组在发酵进行到13d左右时，沼气中甲烷含量相对稳定，维持在50%左右。

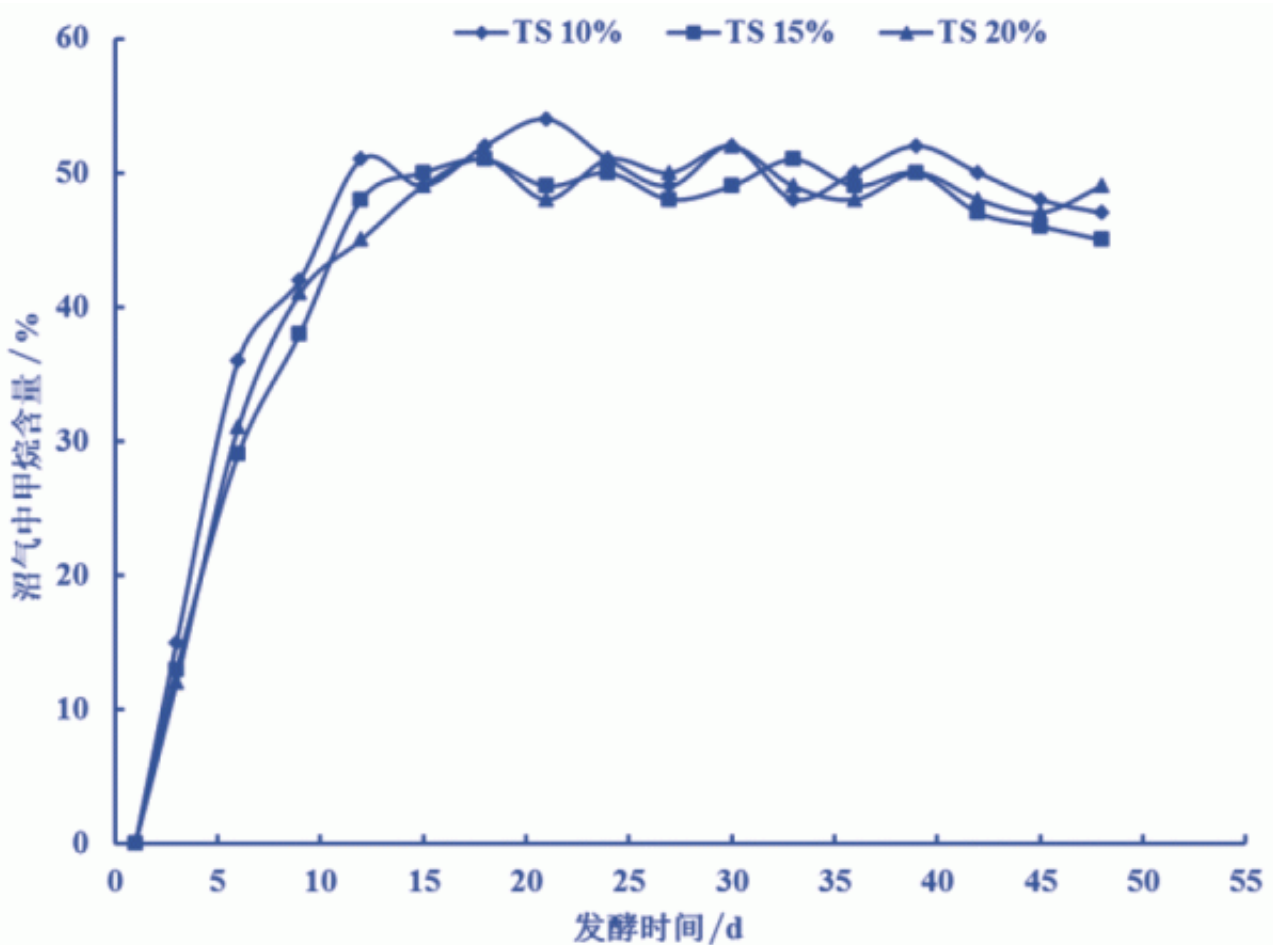


图 3 沼气中甲烷含量

2.4 有机负荷率和池容产气率的影响

沼气厌氧发酵过程中的有机负荷率 [单位为 $\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$] 是指单位反应器容积中单位时间内处理的干物质的质量。在厌氧发酵时间和发酵原料添加数量相同的条件下, 对高有机负荷率的发酵反应器需求越小, 因此, 在实际沼气工程建设过程中可以减少沼气工程投资建设费用。同时发酵有机负荷率还与发酵时间有关。在本研究中, 整个厌氧发酵的50d内, 在发酵固体物料分别为10%、15%和20%三个浓度条件下, 有机负荷率分别为 $2\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 、 $3\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 和 $4\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。研究表明, 当厌氧发酵原料的干物质浓度较高时, 单位容积厌氧发酵反应器中可以处理更多的发酵原料, 因此干式发酵的有机负荷率要远高于湿式发酵。

对于沼气的厌氧发酵的效率评价, 除了有机负荷率外池容产气率也是一个重要的评定指标。池容产气率是发酵装置容积利用效率的重要指标。一般户用沼气池的池容产气率约为 $0.132\text{m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。在本研究中, 发酵干物质浓度分别为10%、15%和20%条件下, 在整个厌氧发酵的50d内, 池容产气率分别为 $0.484\text{m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 、 $0.574\text{m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 和 $0.678\text{m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 远高于户用沼气池, 因此玉米秸秆适于高浓度的厌氧发酵。

3 结论

本研究以玉米秸秆为主要发酵原时进行为期50d的厌氧发酵产沼气, 当发酵干物质浓度为10%、15%和20%时的单位干物质产气量分别为 302ml/g 、 239ml/g 和 211ml/g 。而干物质浓度在15%和20%之间总产气量和有效容积利用率较高。厌氧发酵过程中玉米秸秆与畜禽粪水按质量比1:2混合后, 进行高物料浓度的厌氧发酵, 在处理大量农作物秸秆的同时, 降低了区域内的畜禽养殖废水的排放, 减少了环境污染。秸秆高浓度发酵产沼气技术作为秸秆资源化利用的一种新技术, 具有潜在的研究空间, 通过建立完善的秸秆高浓度厌氧发酵研发体系, 快速发展沼气产业, 将会是未来能源农业的重要发展方向之一。

参考文献

[1]韩鲁佳, 闫巧娟, 刘向阳, 等.中国农作物秸秆资源及其利用现状[J].农业工程学报, 2002, 18(3): 87-91.

[2]杜静, 常志州, 王世梅, 等.不同底物沼气干发酵启动阶段的产气特性研究[J].江苏农业科学, 2008(1): 225-227.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/196234.html>