# 稻草秸秆厌氧发酵产沼气研究

刘秀娟[1]，李晖[1]，薛金红[2]，牛潇[1]，韦萍[1]

（1.南京工业大学生物与制药工程学院，江苏南京211816；2.南京工业大学药学院，江苏南京211816）

摘要［目的］对影响稻草秸秆厌氧生产生物沼气的重要因素进行分析，以提高产气率，最大限度地提高秸秆原料利用率。［方法］采用单因素法对南京工业大学沼气站生产沼气的接种量、总固体含量、碳氮比进行分析。［结果］沼气站厌氧发酵的最优条件为接种量34%，总固体含量6%，碳氮比25∶1。经验证，最优配比下的总产气量比目前常用的发酵条件（接种量50%，总固体含量5.6%，碳氮比22∶1）下的总产气量提高了27.60%。［结论］为进一步研究利用秸秆发酵产沼气提供了依据。

我国能源紧张与农业废弃物污染并存现象日趋严重，因此利用农作物秸秆和畜禽粪便厌氧发酵生产沼气早已成为人们关注的焦点。以秸秆为原料进行沼气生产是解决我国日益严峻的能源和环境问题的有效途径之一。对于实际生产来说，要达到产气率高且最大限度地提高秸秆原料利用率的目的，需要摸索影响产气的重要因素并进行分析。

目前已有不少提高沼气产量的方法，如改变物料配比、添加外源添加物（啤酒糟、蛋白胨氨基酸、微量元素）等。笔者以农作物秸秆为原料，根据目前南京工业大学沼气站生产的情况，结合其他秸秆发酵产沼气工艺方面的研究，对目前影响沼气站沼气生产的接种量、总固体含量、C/N几个因素进行了优化。

## 1材料与方法

### 1.1发酵原料和接种物

稻草秸秆取自江苏省泗阳县卢集乡，自然风干后用粉碎机粉碎至3～5cm，用人粪尿淋湿后堆沤，取堆沤7d的中层发酵适宜的秸秆，4℃储存备用。接种物取自南京工业大学创新中心沼气站沼气发酵罐，pH为7.65。发酵原料和接种物的基本理化性质见表1。

### 1.2试验装置

采用自制试验装置，以1000ml小瓶作为发酵瓶，37℃水浴锅中进行发酵，同时用5000ml水瓶作集气瓶，采用排水集气法测定产气量。

### 1.3单因素试验

采用单因素分析方法，分别对接种量（所取的含菌种的发酵沼液占发酵原料总体积的百分比）、总固体含量、C/N几个对沼气发酵有重要影响的因素进行分析。先确定接种量对产气的影响，接种量分别为18%、26%、34%、42%、50%，每个发酵瓶中加入堆沤秸秆使总固体含量为6%，按设计加入接种物，充分搅拌混匀后，加蒸馏水补足体积，使发酵液体积为600ml。发酵液起始pH均用稀HCl或NaOH溶液调节并维持在7左右。连续发酵15d，统计日平均产气量及总产气量，并进行分析。然后再在34%接种量、C/N为25∶1、pH为7的条件下考察不同总固体含量（3%、4%、5%、6%、7%）对产气的影响。再在34%接种量、总固体含量6%、pH7的条件下考察不同C/N（20∶1、25∶1、30∶1）对产气的影响。最后用优化好的配比于25L发酵罐中进行中试试验，同时测定发酵前后总固体含量、木质纤维素含量及总产气量的变化。

表1　发酵原料与接种物的理化性质

| 材料 | 总固体 % | C/N | 木质素 % | 纤维素 % | 半纤维素 % |
|---|---|---|---|---|---|
| 稻草秸秆（堆沤） | 29.5 | 30∶1 | 12.62 | 38.75 | 19.99 |
| 接种物 | 4.0 | 18∶1 | – | – | – |

注“–”表示含量很少，未进行测定。

1.4测定项目及方法

总固体含量采用沼气发酵常规分析中的方法测定；总碳采用重铬酸钾氧化－外加热法测定；总氮采用凯氏定氮仪测定；木质素、纤维素、半纤维素含量采用美国可再生能源实验室（NREL）原料成分分析方法测定。

**2结果与分析**

2.1接种量对产气的影响

接种物的数量影响到沼气发酵的运行效果和稳定性。接种量过少，将因产甲烷微生物数量不够而导致发酵启动缓慢，产甲烷速率降低；接种量过多，则在保证较高处理效率的条件下，势必会增大消化器的容积。试验研究了18%、26%、34%、42%、50%接种量下稻草沼气发酵情况，并从启动时间、总产气量以及日产气量几个方面加以分析。

2.1.1接种量对启动时间的影响。沼气池从进料开始，到能够正常而稳定的产气所需要的时间称为沼气发酵的启动时间。由图1可知，24h内即已达到稳定产气，故不再研究总固体含量和C/N2个因素对启动时间的影响。接种量在18%～50%都能正常启动，接种量大，启动快、产气量也大，说明沼气发酵微生物基数大，微生物生长必不可少的生长因子能满足微生物生长发育的需要，有利于产气。

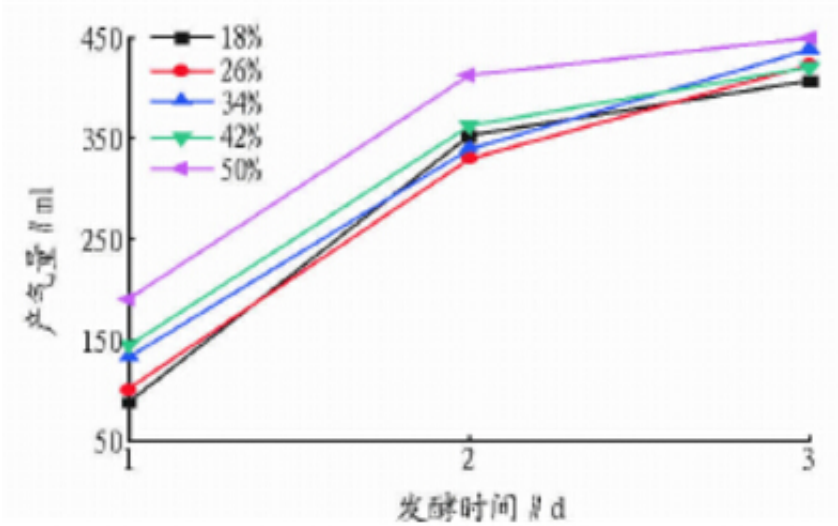


图 1　不同接种量对发酵启动时间的影响

2.1.2接种量对产气量的影响。对15d内产气量的数据进行分析，从图2很难直观地看出各个接种量的差异，但是从总体来看，接种量为34%的发酵组产气高峰期比较长，而且上下浮动不大，接种量少或是接种量多的组产气浮动较大，不稳定。另外由图3可以很清楚地看出，接种量为34%的组总产气量最高，达到4566ml；其次是接种量为26%和42%的组，总产气量分别为3980、3797ml。

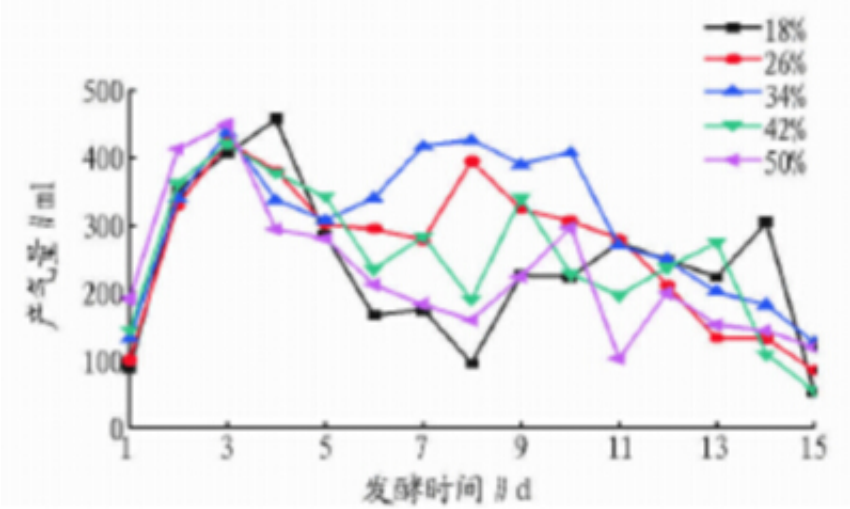


图 2　不同接种量下日产气量随发酵时间的变化

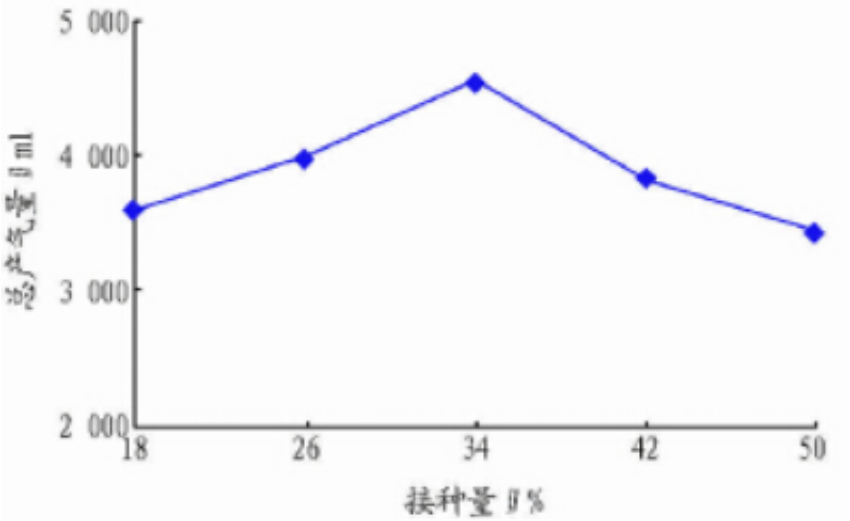


图 3　不同接种量下总产气量的比较

2.2总固体含量对产气量的影响

由图4、5可以看出，当发酵体系的总固体含量为6%时总产气量最高，日产气量在产气高峰期也较其他几组高。沼气发酵的总固体含量对于沼气研究具有重要的意义，在发酵体积及接种量一定的情况下，总固体含量高则加入的秸秆量就多，当秸秆量超过一定的范围时，一方面造成秸秆上浮严重，搅拌困难，甚至会堵塞出气口；另一方面，使发酵罐中的微生物大量生长繁殖，产生酸积累而影响产气。

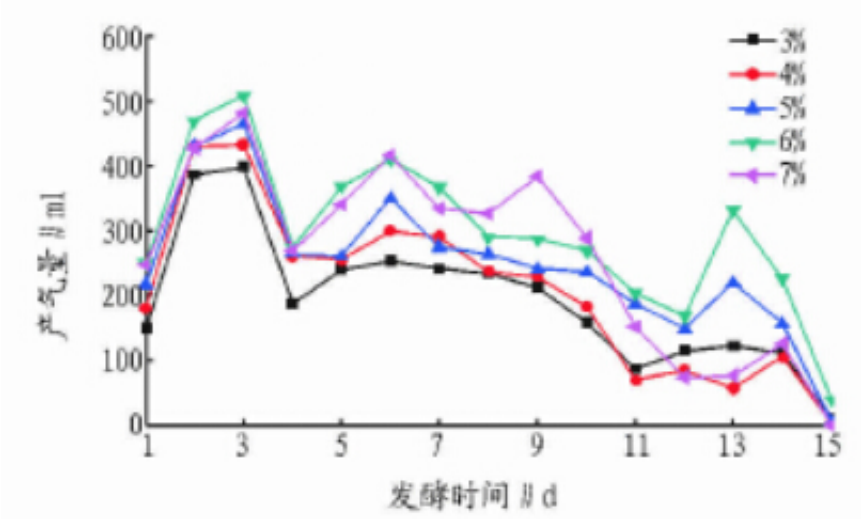


图 4　不同总固体含量下日产气量随发酵时间的变化

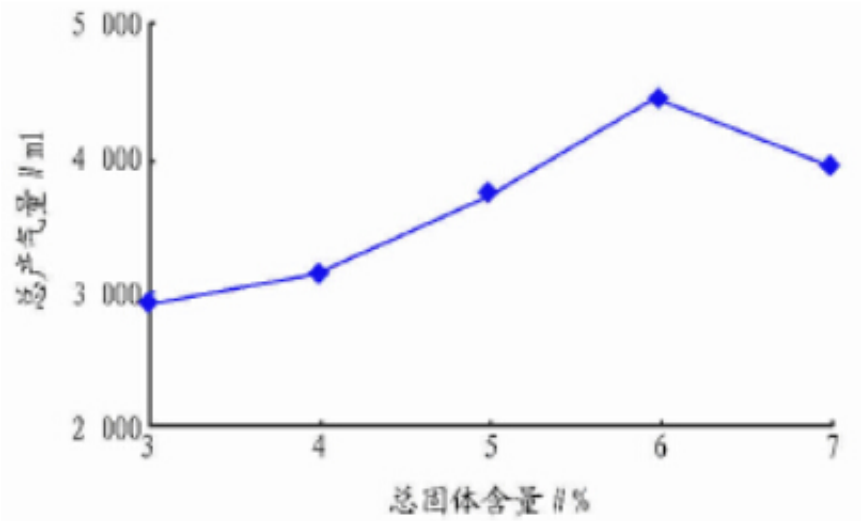


图 5　不同总固体含量下总产气量的比较

2.3C/N对产气量的影响

C元素为沼气微生物的生命活动提供能源，又是形成甲烷的主要物质，N元素是构成沼气微生物细胞的主要物质，微生物自身的C/N约是5∶1。沼气站预处理稻草秸秆时，为了减少校园内污染，通常是利用校园生活区的人粪尿代替自来水堆沤秸秆，自然在原料中加入了一定量的N素，调节了一定的C/N。但是，因为人粪尿中的水分含量特别大，其中的N含量也不足以满足发酵生产需要，故需要另外加入N素。常用的氮源包括尿素、畜禽粪便等有机氮源以及氯化铵、硝酸钾等无机氮源，但不同氮源对厌氧微生物活性以及厌氧消化过程影响不同，陈广银等研究各种氮源中以尿素效果最好。现以尿素的添加量来对发酵的氮源进行优化，以调节所需的C/N。

从图6、7中可以看出，C/N为25∶1时日产气量出现产气高峰的时间快且日产气量的高峰值和总产气量较其他两组高，3组均能正常发酵产气，这与其他报道一致，发酵液的最适C/N为25∶1。由图6可知，当C/N比较小时，发酵液中的氮含量较大，发酵产气启动慢，产气量少，若C/N比过小，则过量的氮就会转化成可溶性氮，导致料液“氨中毒”，使发酵产气变慢，甚至停止。

2.4中试试验验证

根据选出的最优条件：接种量34%，总固体含量6%，C/N=25∶1，在25L发酵罐中进行中试试验（试验组），并将目前沼气站使用的发酵条件作为对照组（接种量50%，总固体含量5.6%，C/N=22∶1），发酵温度为37°C，发酵时间为30d。

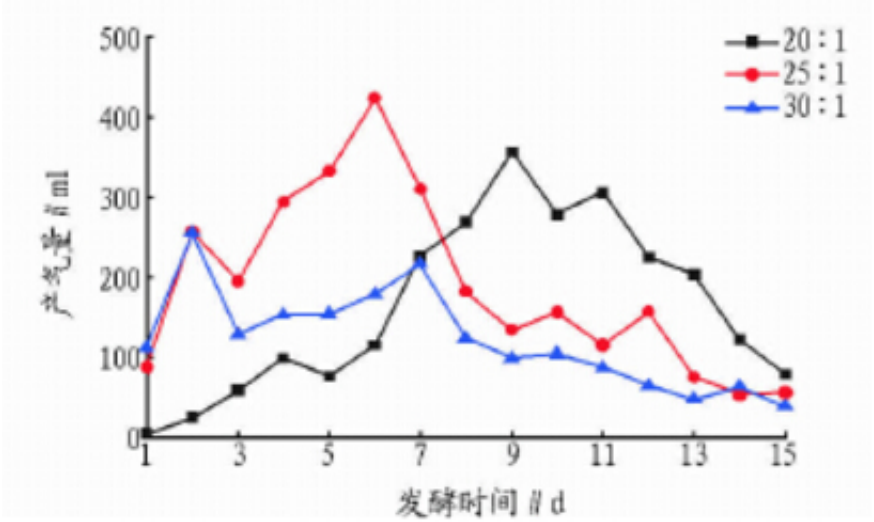


图 6　不同 C/N 下日产气量随发酵时间的变化

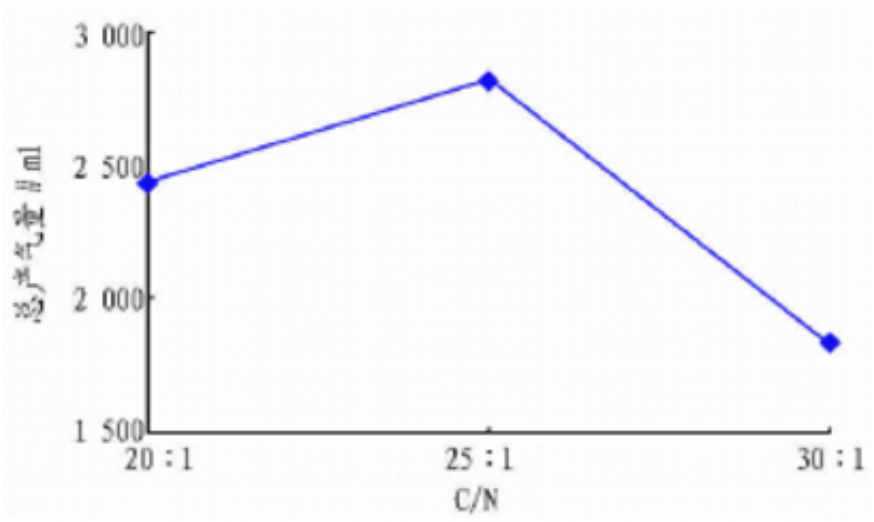


图 7　不同 C/N 下的总产气量比较

由表2可知，发酵后对照组和试验组的木质素含量都比发酵前有较大的提高，这是由于木质素未降解或降解缓慢，使得其相对百分含量升高，这与Boruff等的研究是一致的；而稻草秸秆中纤维素与半纤维素含量均有不同程度的减少，其中纤维素含量的变化趋势与其相应的产气情况及发酵液的固体含量的变化均有较好的对应关系（表3）。在最优配比条件下，试验组发酵液总固体含量的降低程度（40.49%）比对照组（30.83%）高，同时总产气量比对照组提高了27.60%。

表2　沼气发酵前后稻草中木质素、纤维素及半纤维素含量的变化

%

| 稻草 | 组别 | 木质素含量 | 纤维素含量 | 半纤维素含量 |
|---|---|---|---|---|
| 发酵前 | | 12.62 | 38.75 | 19.99 |
| 发酵后 | 对照组 | 28.01 | 25.83 | 16.94 |
| | 试验组 | 33.41 | 28.19 | 13.09 |

表3　25 L 发酵罐发酵前后总固体含量的变化及总产气量比较

| 组别 | 总固体含量//% | | 总产气量 |
|---|---|---|---|
| | 发酵前 | 发酵后 | L |
| 对照组 | 6.0 | 4.2 | 309.224 |
| 试验组 | 6.1 | 3.6 | 394.621 |

**3结论**

（1）足量的接种物是沼气发酵高效运行的保证，一定范围内产气速率与产气量随接种量的增大而增大。综合各方面因素来看，34%的接种量最适合发酵，其启动和产气情况均比较理想。

（2）原料配比也是发酵过程的一个重要因素。在一定的发酵温度（37℃）下，总固体含量在6%左右时最佳。浓度过低会使发酵产气不足，过高会造成搅拌困难、堵塞管道等实际生产问题而影响产气。另外在实际生产上，发酵浓度一般也会随着季节的交替而作相应的变化。

（3）C/N在一定程度上影响着沼气的产生。在以富碳原料为主要发酵原料的沼气站，加入适当的氮源可以提高产气量。添加氮源改善了微生物的生存环境，提高了厌氧微生物的活性，产气率大幅提高。25：1为沼气厌氧发酵的最佳C/N比值。

（4）以筛选的最优条件进行验证试验，并与目前采用的发酵条件进行对比，总产气量提高了27.60%。另外，影响沼气发酵的因素还有很多，如菌剂、堆沤天数、添加外源促进剂等，这些因素还有待进一步研究。

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/107546.html