

# 生物预处理作物秸秆厌氧发酵产沼气初步研究

尚文广

(绥中县环境保护监测站, 辽宁葫芦岛1125200)

摘要：以提高秸秆厌氧发酵产气效率为目的，以小玉米、小麦秸秆为研究对象，通过菌种筛选及厌氧发酵产气研究，考察水解效果及产气效率，得到：添加尿素和微生物的水解效果最好、厌氧发酵过程的产气效率最高、产气中甲烷含量最高；只加微生物的次之；两者均未添加的最差。结果表明，筛选的菌种对秸秆有较好的水解能力，能得到较高的产气量和较高品质的沼气。

## 1引言

我国农作物秸秆的年产量约为6~7亿吨，列世界之首。随着我国农作物单产的提高，秸秆产量也将随之增加。但目前我国秸秆的利用率较低，大量的农作物秸秆被农民视作毫无用处的“农村垃圾”，或被丢弃在田间地头，或将其付之一炬。秸秆资源的露天燃烧，不仅浪费了这部分资源，还导致CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>等气体的排放，污染了空气。

## 2秸秆生物预处理实验研究分析

### 2.1纤维素水解微生物的筛选与培养

纤维素水解微生物主要是从市场购买得来，需要得到更优化的微生物，就必须对买来的微生物进行筛选，获得高效纤维素水解微生物。主要采用肉膏蛋白胨培养基、高氏合成一号培养基、豆芽汁培养基、察氏培养基4种培养基进行培养。

#### 2.1.1肉膏蛋白胨培养基

肉膏蛋白胨培养基的成分及各种物质的含量见表1。

**表 1 肉膏蛋白胨培养基成分**

成分	牛肉膏/g	蛋白胨/g	氯化钠/g	琼脂/g	自来水/mL	pH
含量	0.5	1	0.5	2	100	7.0~7.2

肉膏蛋白胨培养基的配制关键是牛肉膏的溶解，具体的配制方法如下：

(1) 按培养基配方比例依次准确地称取牛肉膏、蛋白胨、氯化钠放入烧杯中。牛肉膏常用玻棒挑取，放在小烧杯或表面皿中称量，用热水溶化后倒入烧杯。也可放在称量纸上，称量后直接放入水中，然后立即取出纸片。在上述烧杯中可先加入少于所需要的水量，用玻棒搅匀，然后在石棉网上加热使其溶解。

(2) 待溶液冷至室温时，用1mol/L NaOH溶液调pH至7.2。

(3) 待药品完全溶解后，补充水分到所需的总体积。

(4) 加入所需要量的琼脂，加热融化，补充失水（液体培养不用此步骤）。

(5) 高压蒸汽灭菌15min。

#### 2.1.2高低合成一号培养基

高氏合成一号培养基的成分及各种物质的含量见表2。

**表 2 高氏合成一号培养基**

成分	淀粉/g	KNO <sub>3</sub> /g	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> /g	MgSO <sub>4</sub> /g	NaCl/g	FeSO <sub>4</sub> /g	琼脂/g	自来水/mL	PH
含量	2	0.1	0.05	0.05	0.05	0.001	2	100	7.2

高氏合成一号培养基具体的配制方法如下：

(1) 量取所需水量的2/3左右加入到烧杯中，置于石棉网上加热至沸腾。称量可溶性淀粉，至于另一小烧杯中，加入少量冷水，将淀粉调成糊状，然后倒入上述装沸水的烧杯中，继续加热，使淀粉完全融化。分别称量KNO<sub>3</sub>，NaCl，K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>和MgSO<sub>4</sub>，依次逐一加入水中溶解。按每100mL培养基加入1mL，0.1%FeSO<sub>4</sub>溶液。

(2) 用1mL/MaOH溶液调pH至7.2。

(3) 将溶液倒入量筒中，加入至所需体称。

(4) 加入所需重量琼脂，加热融化，补充失水。

(5) 高压灭菌20min。

### 2.1.3 豆芽汁培养基

豆芽汁培养基的成分及各种物质的含量见表3。

**表 3 豆芽汁培养基成分**

成分	黄豆芽 /g	葡萄糖 /g	琼脂 /g	水 /mL	pH
含量	10	5	2	100	自然

豆芽汁培养基的配制关键是豆芽汁的制备，具体的配制方法是：

(1) 称取新鲜黄豆芽10g，置于烧杯中，再加入100mL水，煮沸30min，补足失水。用纱布过滤，即成10%豆芽汁。

(2) 配置时按每100mL10%豆芽汁加入5g葡萄糖，煮沸后加2g琼脂，继续加热融化，补足失水。

(3) 分装、加塞、包扎。

(4) 高压蒸汽灭菌20min。

#### 2.1.4 察氏培养基

察氏培养基的成分及各种物质的含量见表4。

表 4 察氏培养基成分

成分	蔗糖/g	NaNO <sub>3</sub> /g	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> /g	KCl/g	MgSO <sub>4</sub> /g	FeSO <sub>4</sub> /g	琼脂/g	水/mL	pH
含量	3	0.3	0.1	0.05	0.05	0.001	2	100	7.2

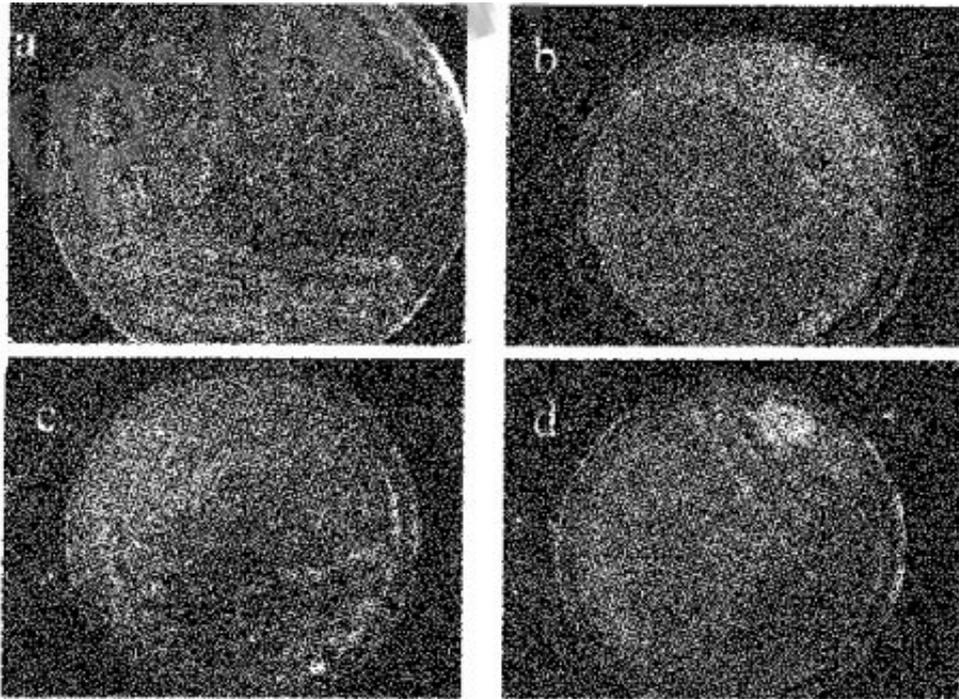
察氏培养基具体的配制方法是：

- (1) 量取所需水量的2/3左右加入到烧杯中，分别称量蔗糖NaNO<sub>3</sub>，K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>，K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>。依次逐一加入水中溶解。按每100mL培养基加入0.1%的FeSO<sub>4</sub>溶液。
- (2) 待药品完全溶解后，将溶液倒入量筒中，加水至所需体积。
- (3) 加入所需量的琼脂，加热融化，补足失水。
- (4) 高压蒸汽灭菌20min。

用上述的培养基配制方法对所需要的菌进行筛选和培养，得到具有高效水解作用的微生物，然后进行水解作用。

#### 2.1.5 微生物培养

按照上述过程配制培养基、培养微生物，微生物生长良好，图1是4种培养基上微生物的生长状况。



(a)肉膏蛋白胨培养基;(b)高氏合成一号培养基;  
(c)豆芽汁培养基;(d)察氏培养基

## 2.2微生物对秸秆纤维素的水解预处理

### 2.2.1预处理实验的设计

将得到的微生物分别与玉米秸秆粉末、小麦秸秆粉末进行接种，用微生物水解秸秆，测量水解20d后的VFA（挥发性脂肪酸），同时做了空白对照试验，通过对比来得出微生物消解的效果。具体的分组和对照实验计如下：

- (1) 将玉米和小麦秸秆粉末分别加入两个玻璃瓶中，并接种上4种微生物，同时加入尿素。
- (2) 将玉米和小麦秸秆粉末分别加入两个玻璃瓶中，只加入4种微生物。
- (3) 不接种微生物。

### 2.2.2预处理实验的接种培养与运行

#### (1) 水解接种与培养

按照上述实验的设计步骤，将玉米秸秆和小麦秸秆进行干燥、粉碎。称取一定量粉末于瓶中，并在瓶中接种微生物或加入水，具体的数据见表5。

表5 水解接种数据

编号	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>
名称	小麦 1号	小麦 2号	小麦 3号	玉米 1号	玉米 2号	玉米 3号
秸秆用量 /g	2	2	2	2	2	2
接种成分	尿素 4种菌	4种菌	未加菌	尿素 4种菌	4种菌	未加菌

将秸秆与微生物接种完成后，放置于摇床上培养水解。其中，温度控制在35℃，摇速在100转/min，水解20d，实验装置见图2。

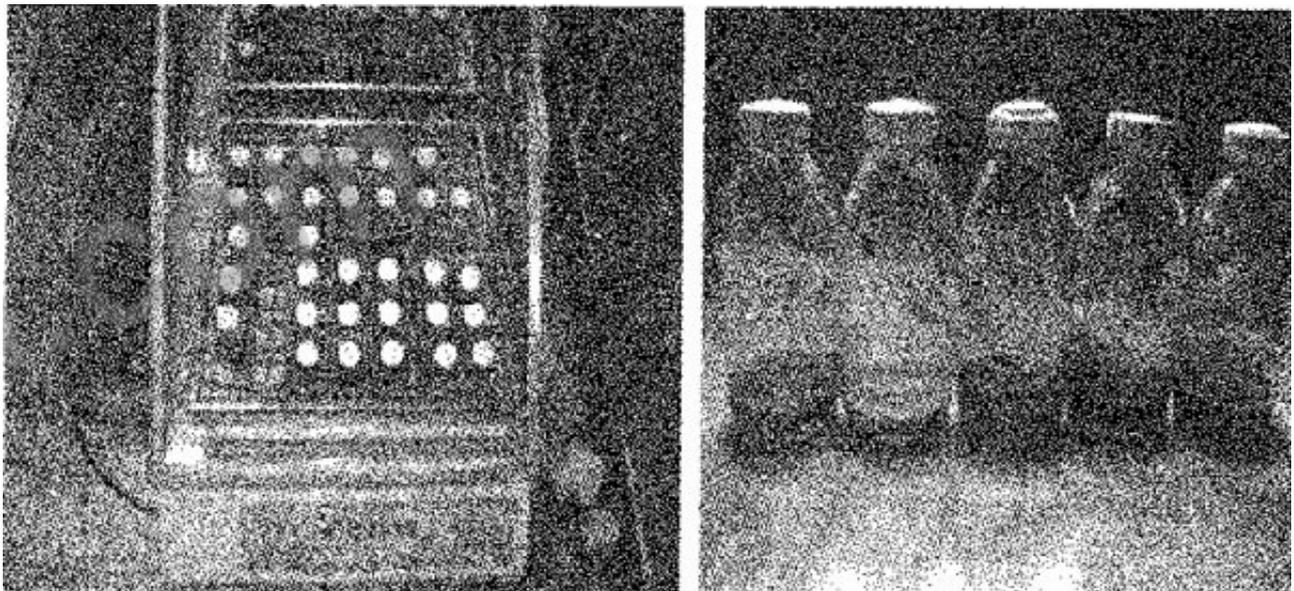


图2 秸秆水解培养

(2) 数据记录与处理

水解后的溶液中，主要的水解产物是挥发酸（VFA），测量其中的VAF含量，测量色谱图分别见图3-8。

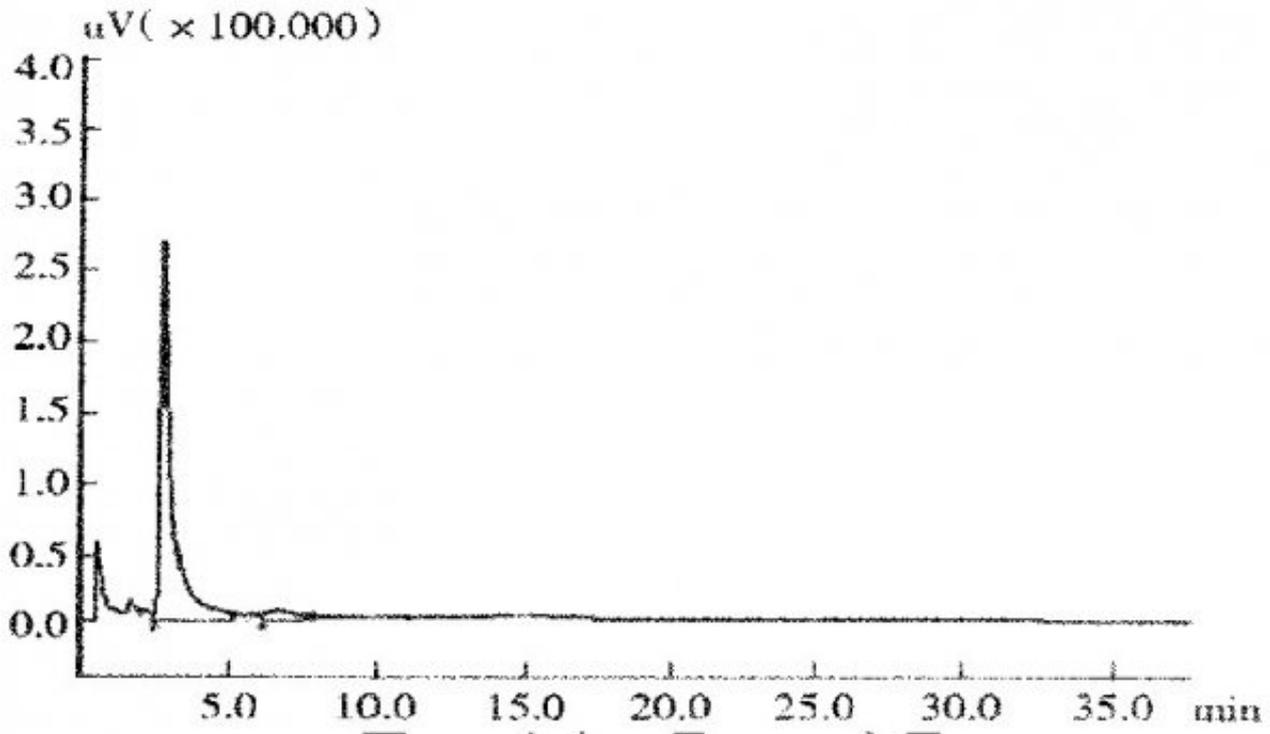


图3 小麦1号VFA含量

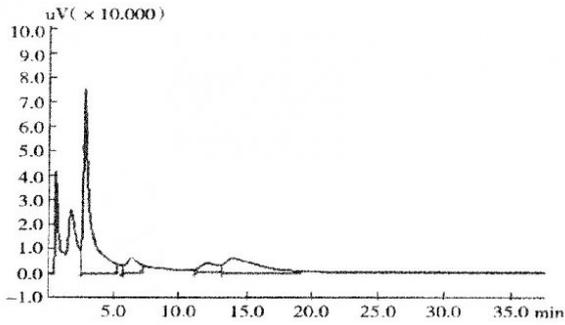


图4 小麦2号 VFA 含量

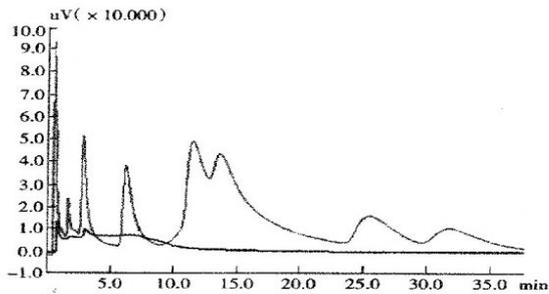


图5 小麦3号 VFA 含量

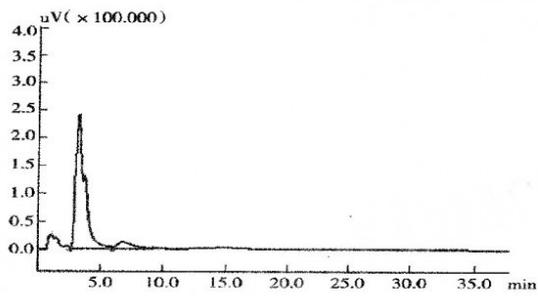


图6 玉米1号 VFA 含量

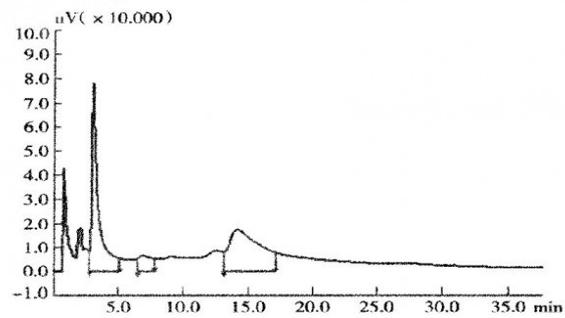


图7 玉米2号 VFA 含量

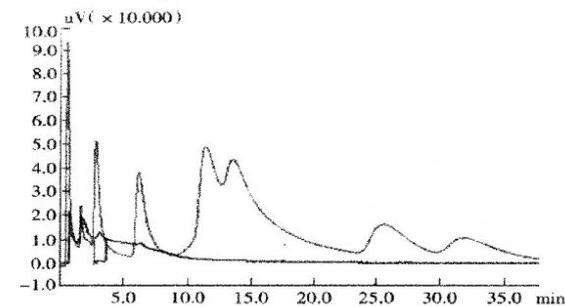


图8 玉米3号 VFA 含量

通过计算机拟合，将上述谱图所得到的VFA列于表6。

**表 6 水解 20 d 水解物 VFA 含量 mg/L**

编号	乙酸	丙酸	异丁酸	丁酸	异戊酸	戊酸	总VFA
M <sub>1</sub>	1 318.34	46.39	0.00	0.00	0.00	0.00	1 364.74
M <sub>2</sub>	484.98	34.02	24.70	75.55	0.00	0.00	619.26
M <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Y <sub>1</sub>	2 066.25	104.43	0.00	0.00	0.00	0.00	2 170.69
Y <sub>2</sub>	474.98	37.32	0.00	195.74	0.00	0.00	708.05
Y <sub>3</sub>	97.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	97.43

### 2.3 实验结果分析

本章主要是利用细菌对秸秆进行水解，测量水解后的VFA，从表6的水解后VFA含量中可以得到以下结论：

(1) 水解后总的VFA含量从大到小的顺序是M<sub>1</sub>>M<sub>2</sub>>M<sub>3</sub>；Y<sub>1</sub>>Y<sub>2</sub>>Y<sub>3</sub>。同时加入尿素和细菌的水解效果最好，只加细菌的水解效果远远低于加了尿素的，而没有加细菌的秸秆几乎没有水解。

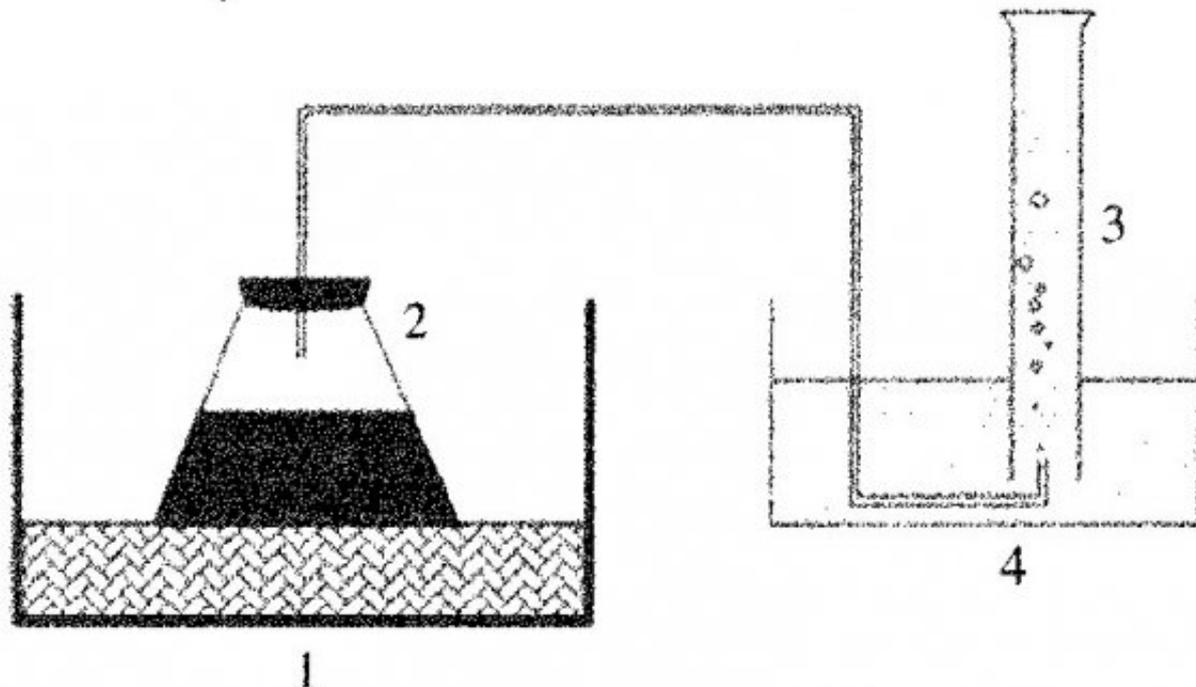
(2) M<sub>1</sub>，M<sub>2</sub>，Y<sub>1</sub>，Y<sub>2</sub>都是为了细菌进行秸秆水解，从M<sub>1</sub>与M<sub>2</sub>的对比和Y<sub>1</sub>与Y<sub>2</sub>的对比可以看出，加了尿素的水解产物主要是乙酸，而丙酸、异丁酸、丁酸的含量极少，几乎没有；没有加尿素的水解各种酸都有。从厌氧消化的反应机理可以得知，只有乙酸能够通过厌氧消化转化为甲烷气体。由上看出，水解对氮的需求较大，氮源充足更利于水解和下一步厌氧消化进行。

(3) 由M<sub>1</sub>与Y<sub>1</sub>的总VFA含量对比看出，玉米的水解效果更好。

## 3 秸秆厌氧发酵产气研究

### 3.1 厌氧发酵的实验室设计

厌氧发酵的厌氧污泥来自污水处理厂，厌氧发酵是一个缓慢产气的过程，所以设计的装置必须严格密封。厌氧发酵产生的气体不易溶于水，排水法是一种很好的收集气体的方法。实验中使用带精确刻度的量筒倒置收集气体。具体的装置见图9。

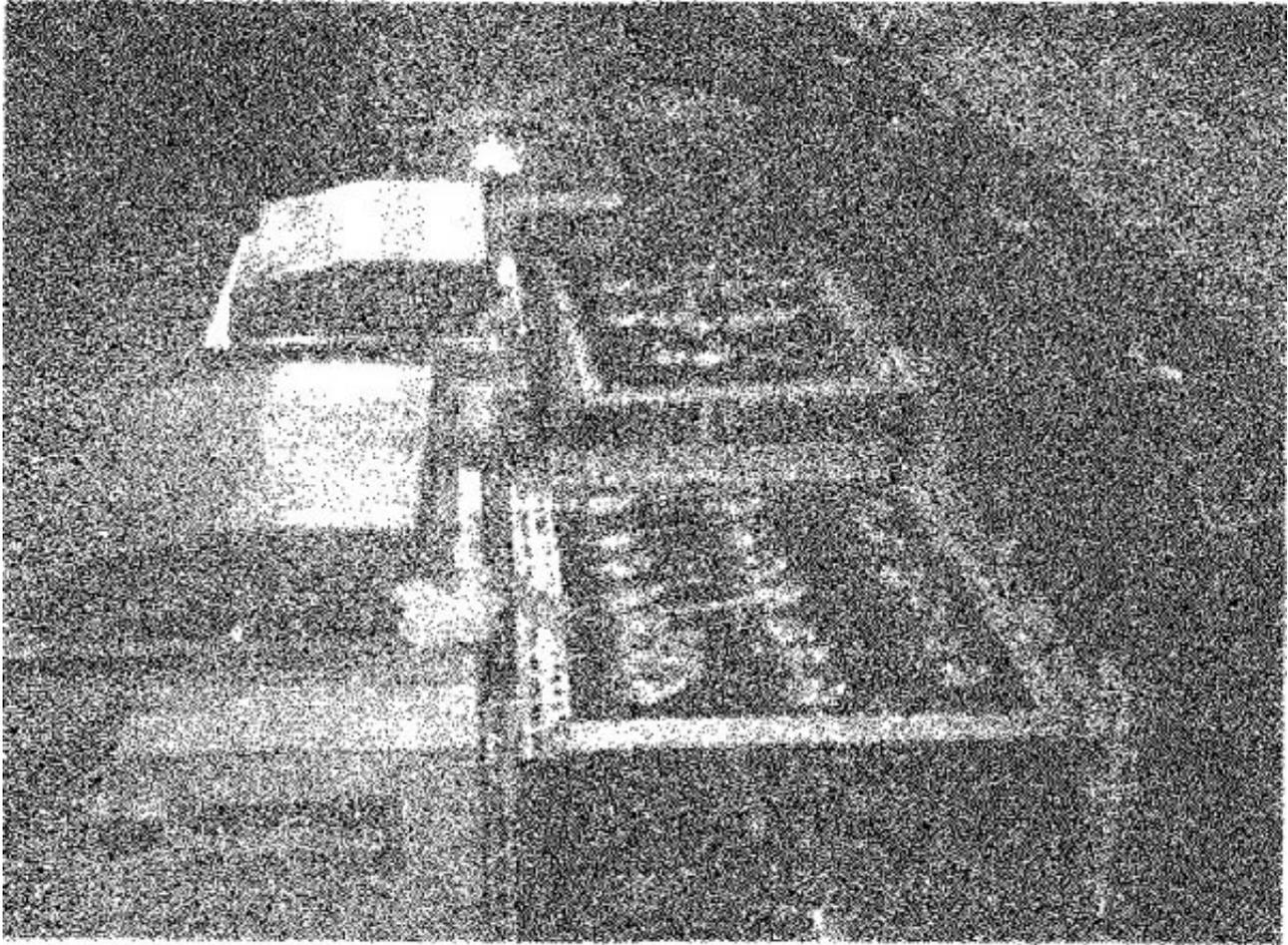


1.恒温摇床;2.厌氧发酵瓶;3.量筒;4.水槽

## 图9 秸秆厌氧发酵产气与气体收集装置

### 3.2装置的连接与运行

按照图9所示的流程将装置连接，尤其要保证接口的密封。实验中量筒规格为250mL，摇床恒温控制35℃，转速80转/min。厌氧消化产气及气体收集见图10。装置连接好后，每天记录产气量和观察瓶内厌氧污泥状况。



**图 10 秸秆消化产气与气体收集装置**

### 3.3数据记录与处理

#### 3.3.1产气量对比

将每日产气量、总产气量（图11~15图）进行对比，分析产气效果得出实验结论。

（1）玉米秸秆日产气量在前7d产量很高，最大日产量达到140mL，产气12d以后日产气量趋于平稳，22d以后产气量很小，平均2ml/d，且添加菌种水解产气效率比未添加的高（图11）。总产气量前7d上升较快，添加菌种的总产气量高，18d后产气增长减慢，总产气量达到600mL以上（图12）。

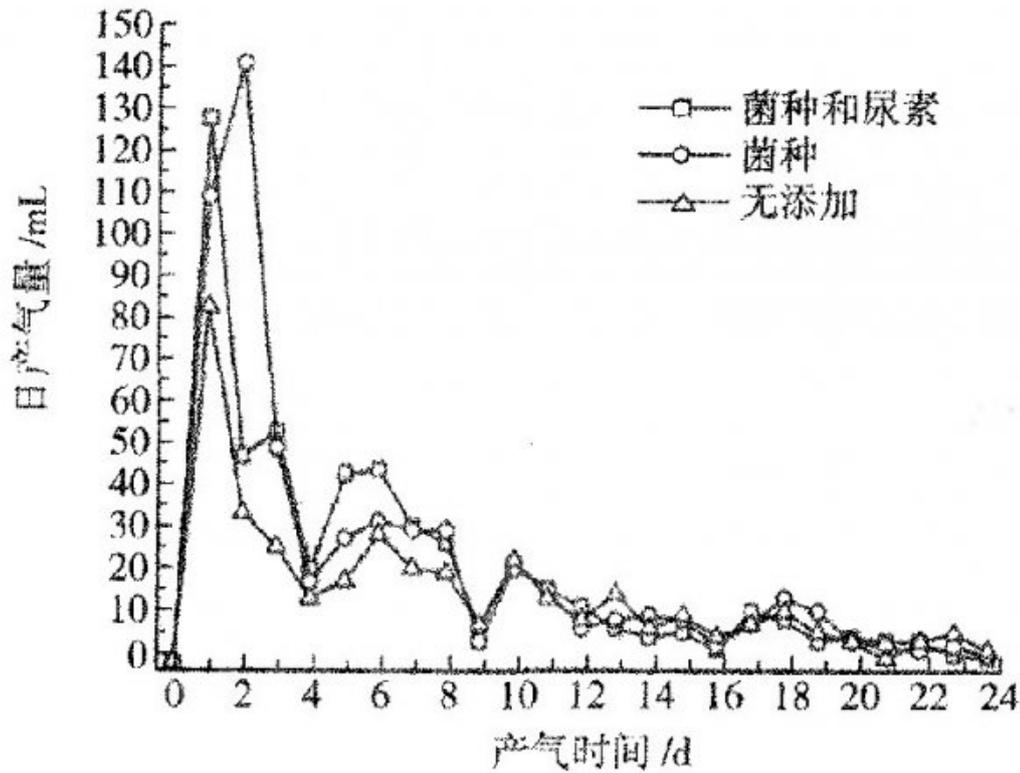


图 11 不同水解条件玉米日产气量

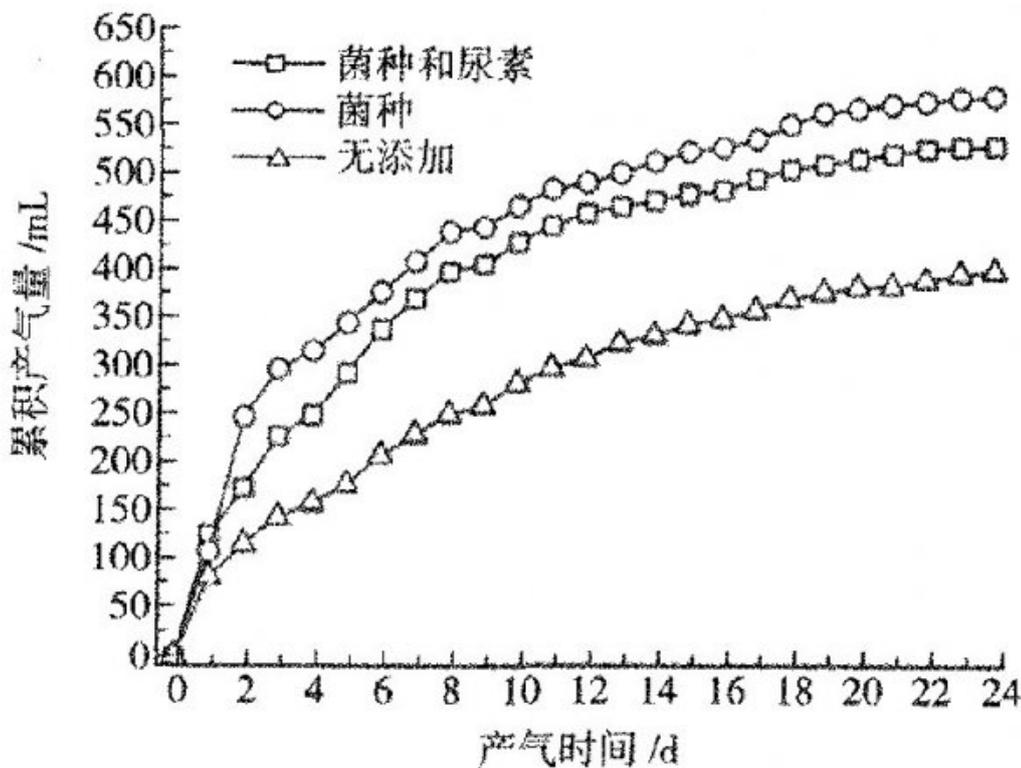


图 12 不同水解条件玉米总产气量

## (2) 小麦秸秆日产气量和总产气量对比

小麦秸秆日产气量在前10d较高，日产气量最大为95mL；与玉米秸秆的情况相似，添加菌种水解的产气效率比不添加的高；19d后日产气量很小，低于3ml/d（图13）。添加微生物和尿素的总产量最高，只添加微生物的次之，均未添加的量少；总产气量最大达到550mL以上（图14）。

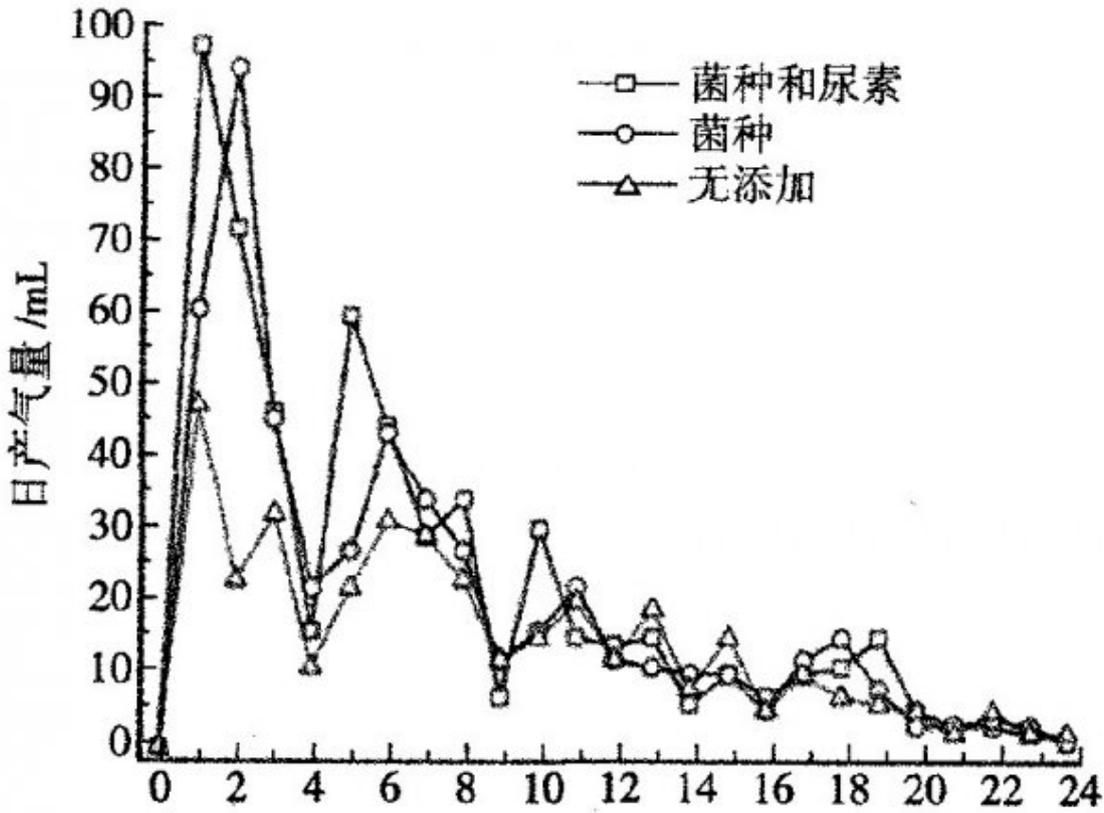


图 13 不同水解条件小麦日产气量

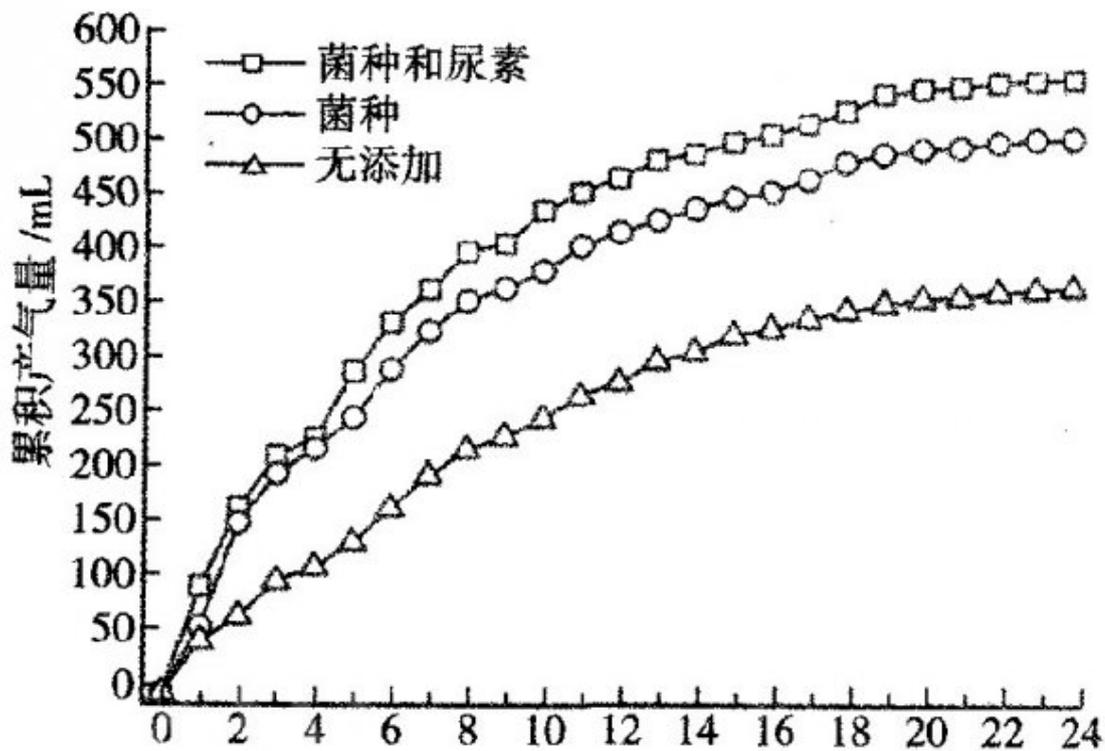


图 14 不同水解条件小麦总产气量

(3) 小麦秸秆和玉米秸秆总产气量的对比

总体来说，玉米的产气量要比小麦的产气量高。但是，对既加了微生物又加了尿素的两种秸秆，小麦秸秆的产气量要高于玉米秸秆；而只加了微生物没有加尿素的两种秸秆，玉米秸秆的产气量又要高于小麦秸秆（图15）。

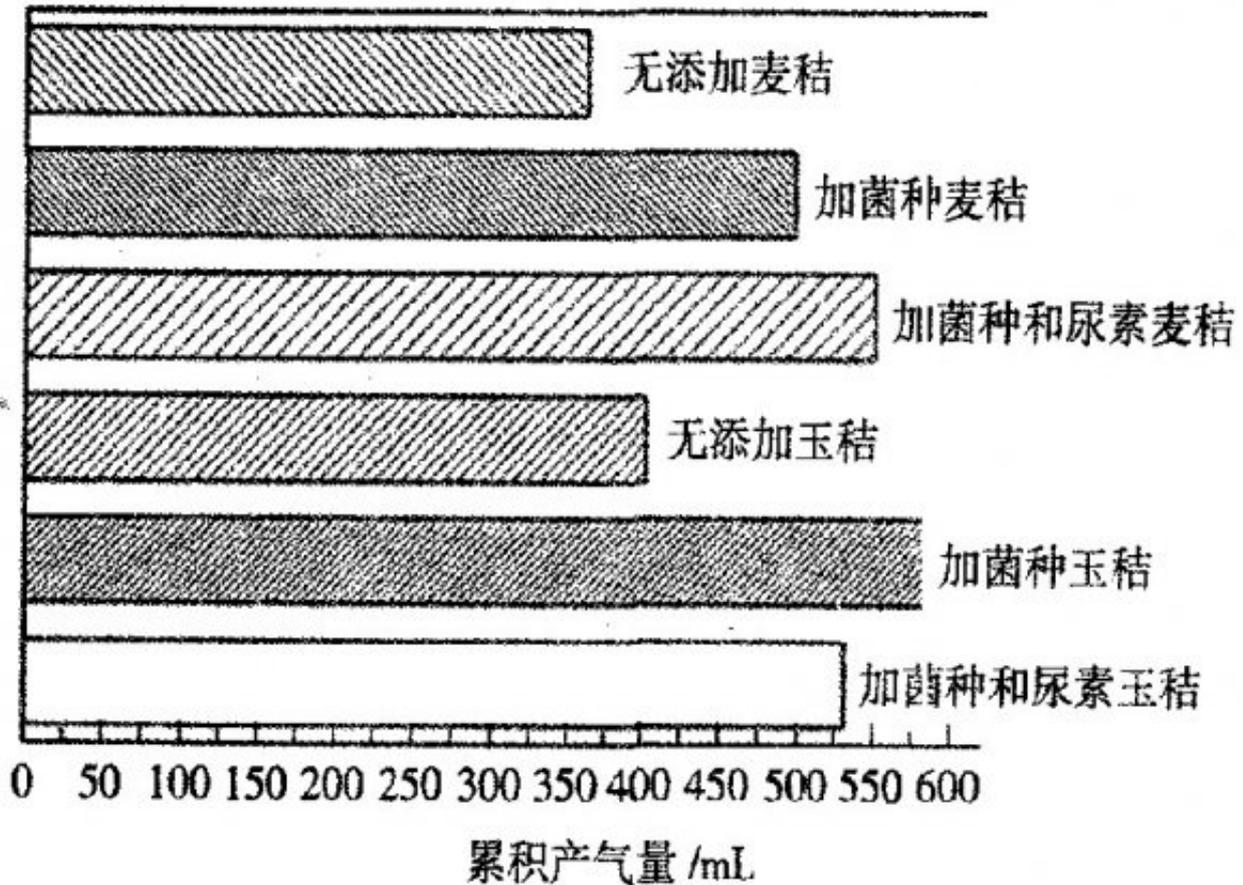


图 15 不同水解条件玉米、小麦总产气量对比

3.3.2 气体成分分析

将厌氧发酵所收集到的气体使用气相色谱仪测量其中的气体各组分含量，图16、17分别是玉米秸秆厌氧发酵所产气体和小麦秸秆厌氧发酵所产气体成分的气相色谱图。

通过计算机拟合，得到各气体中CH<sub>4</sub>和CO<sub>2</sub>含量列于表7。

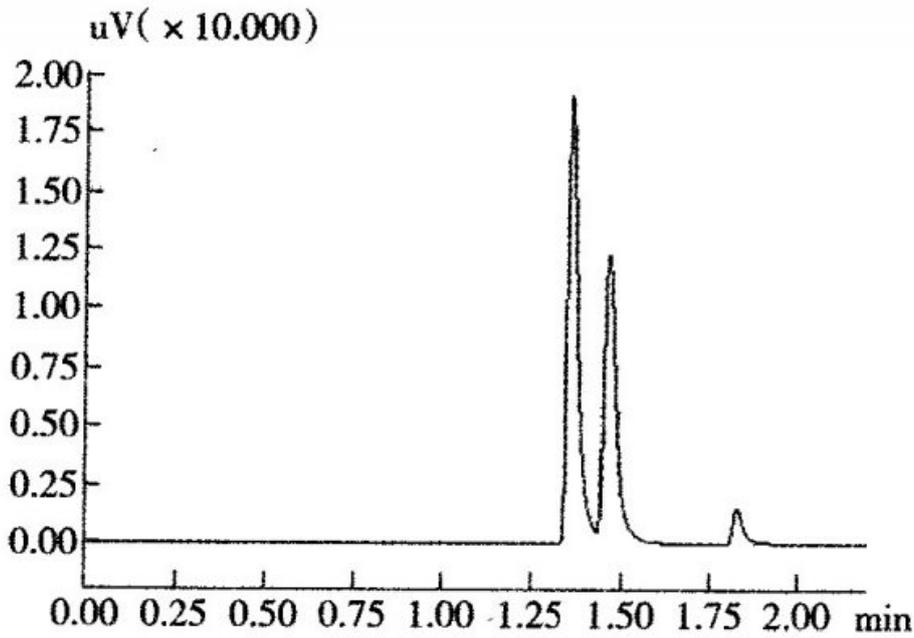


图 16 玉米秸秆气体成分

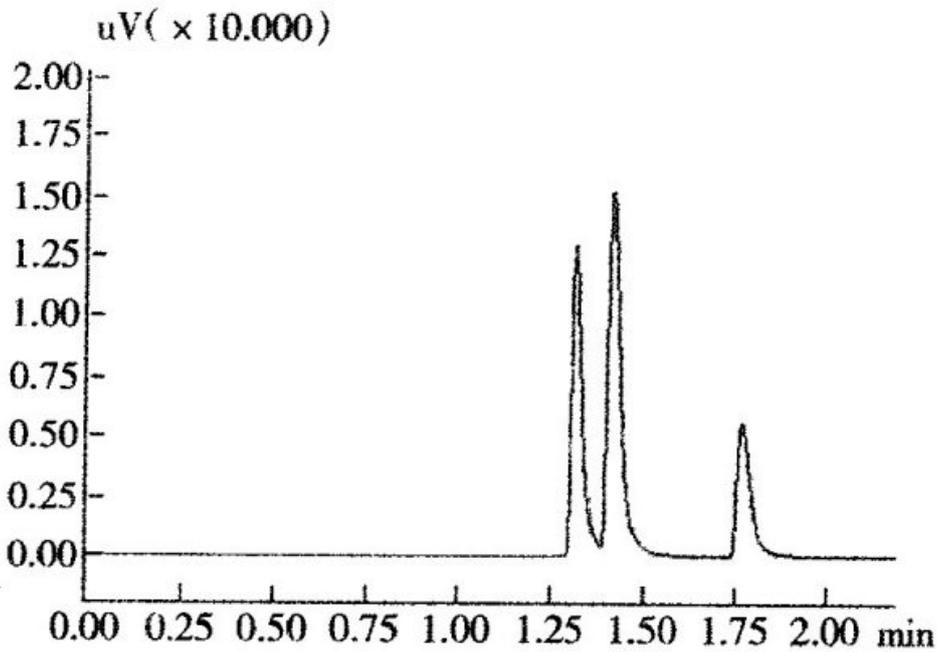


图 17 小麦秸秆气体成分

表 7 秸秆发酵气体 CH<sub>4</sub> 和 CO<sub>2</sub> 含量 %

成分	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>
CH <sub>4</sub>	61	61	45	67	68	49
CO <sub>2</sub>	16	18	8	18	11	3

### 3.4本章小结

使用水解后的秸秆进行厌氧发酵产气实验，从前面的产气量数据和气体成分可以得到以下结论：

(1) 厌氧发酵的前7d日产气量非常大，主要原因是因为经过20d的预处理水解，使溶液中含有大量VFA供厌氧消化细菌发酵产甲烷。

(2) 有微生物水解的秸秆日产气量和总产气量远远大于没有微生物水解的产气量，所以微生物的水解过程非常重要。

(3) 加有尿素的VFA含量高，在厌氧发酵过程中，加有尿素的日产气量和总产气量都是较好的。

(4) 玉米秸秆的产气量比小麦秸秆的产气量大，所以玉米秸秆是秸秆发酵制沼气较好的原料。

(5) 玉米的甲烷含量比小麦高，添加微生物水解的秸秆所产气体中甲烷含量较高。

以上的实验充分体现了本文开头的结论，也就是添加尿素和微生物的水解效果最好、厌氧发酵过程的产气效率最高、产气中甲烷含量最高；只加微生物的次之；两者均未添加的最差。结果表明，筛选的菌种对秸秆有较好的水解能力，能得到较高的产气量和较高品质的沼气。

沼气的好处比比皆是，首先，沼气是清洁能源，它燃烧后的产物不会造成二次污染；其次，产生沼气的原材料丰富，在广大的乡村，能够产生沼气的原材料来源广泛、收集便利、用于产生沼气的基础建设所需的土地也比较宽裕，建造沼气和沼气收集存储设备成本低廉，人们使用起来简单便捷；再则，大范围的利用沼气，有利于当地的环境建设，平时不方便处理的粪便、秸秆、根茎等废弃物都可以用来发酵，整洁了环境，并且发酵的产物可以作为肥料，平衡土地所流失的物质。可见，沼气是一个好东西，应该得到广泛地利用。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/170070.html>