

陈金发. 温度对紫茎泽兰茎秆产沼气的的影响[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(7): 400–403.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.07.134

# 温度对紫茎泽兰茎秆产沼气的的影响

陈金发

(西昌学院工程技术学院, 四川西昌 615013)

**摘要:**以 2 种不同预处理后的紫茎泽兰茎秆作为直接发酵原料, 对厌氧发酵在不同温度条件下 (25 ~ 50 ℃) 产气情况以及对原料的利用情况进行比较, 结果表明: (1) 中温条件 (25 ~ 35 ℃) 是发酵的最佳温度, 发酵产气量与产甲烷率随温度升高而上升; 40 ~ 45 ℃ 不利于发酵微生物 (包括非产甲烷微生物与产甲烷微生物) 的发酵作用; 50 ℃ 时, 嗜热菌生长良好, 产气量与产甲烷率得到恢复。 (2) 发酵甲烷直接利用对象主要是半纤维素, 温度上升不利于发酵微生物对木质纤维的水解, 所以粉状原料较杆状原料更适合发酵产甲烷。本试验条件下, 粉状原料 30 ℃ 时产气与产甲烷最佳, TS (总固体) 与 VS (有机干物质) 产气率与产甲烷效率分别为 152.8 L/kg TS、74.3 L/kg VS。

**关键词:**紫茎泽兰; 甲烷; 温度; 原料利用; 发酵

**中图分类号:** S216.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)07-0400-04

紫茎泽兰 (*Eupatorium adenophorum* Spreng.), 别称飞机草, 破坏草等, 在四川、云南、贵州广泛发生。紫茎泽兰不仅具有很强的繁衍能力, 其生长过程中还会分泌克生性化感物质, 压制当地植物的正常发育, 其入侵后便具有单种优势, 现已被我国环保总局确定为首批外来入侵物种黑名单之首<sup>[1-2]</sup>。紫茎泽兰入侵天然草地 3 年后盖度就达 85% ~ 95%, 牧草减少 70% ~ 79%<sup>[3]</sup>。另外, 紫茎泽兰具有毒性, 对人畜都有一定程度的伤害, 甚至对牲畜具有致死程度的毒性<sup>[4]</sup>。紫茎泽兰入侵之处的自然环境、生态环境都受到很大程度的损害。对该

物种的防治措施主要有人工与机械防除、化学防除与生物防除, 这些方法都具有自身的局限性<sup>[5-7]</sup>。

紫茎泽兰具有光合效率高、生物量大、可利用性强 (粗蛋白含量近 20%) 等特点<sup>[8]</sup>, 因此如何有效地资源化利用受到人们广泛的关注。如以紫茎泽兰为原料, 制作杂草刨花板、活性炭、染料及香精原料, 还有将其作为野生肥料资源栽培食用菌以及作为发酵动物饲料、发酵沼气的原料<sup>[3,9-11]</sup>。江蕴华等认为紫茎泽兰是一种理想的发酵原料, 但是正常发酵之前需要脱去丹宁、香豆素等有毒物质, 否则会导致发酵微生物群中毒而失去产气能力, 且生产的饲料具有毒性<sup>[12-13]</sup>。这一结论被 Sang 等所证实, 其试验结果表明, 预处理后的紫茎泽兰在 30 ℃ 条件下天然气率为 180 m<sup>3</sup>/t TS, 燃料转换效率为 12.37%<sup>[14]</sup>。闫乾胜等对紫茎泽兰剧毒物质 9-羰基-10, 11-去氢泽兰酮 (euptox A) 提取并对其动态分布进行研究,

收稿日期: 2014-07-24

基金项目: 四川省科技厅应用基础研究项目 (编号: 2013JY0131)。

作者简介: 陈金发 (1976—), 男, 福建莆田人, 硕士, 副教授, 主要从事污染控制与循环经济研究。E-mail: 84536683@qq.com。

儿井水水质最好, 为 I 级水, 其余坎水水质较好, 为 I 或 II 级水, 水质在灌溉期前后变化较小。从吐鲁番市主要泉水来看, 泉水水质在灌溉期前后有一定变化, 分别为 I 至 III 级不等, 水质差别较大。

综合来看, 10 月灌溉用水水质较好, 基本为 I 级或 II 级, 5 月部分灌溉水质为 III 级, 水质较差, 易造成土壤盐碱化, 3 月检测的煤窑沟流域水样水质均为 IV 级, 不适宜作为农田灌溉用水。所以实际中在 3—5 月春季灌溉用水的应用中, 尤其是煤窑沟流域应注意灌溉方式, 多种灌溉用水混合灌溉, 避免加重土壤盐碱化。

物元分析法在本吐鲁番市灌溉用水水质综合评价的应用中取得的结果与前期模糊综合评价法结果<sup>[7]</sup>基本吻合, 取得较好的一致性, 并且符合客观实际, 表明物元理论用于灌溉水质评价问题是可行的, 为今后灌溉用水的合理使用提供了较为可靠的科学依据。

## 参考文献:

[1] 谢海霞, 王开勇, 龚江, 等. 新疆玛纳斯河流域灌溉水质对滴灌

农田土壤盐分影响研究[J]. 节水灌溉, 2012(10): 1-4.

[2] 马春花, 全达人, 王红雨. 灌溉用水质量的化学评价概述[J]. 灌溉排水, 1997(2): 59-62.

[3] 门宝辉, 梁川. 水质量评价的物元分析法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35(3): 358-361.

[4] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994.

[5] 肖玖金, 谭周亮, 李旭东, 等. 基于物元分析法的沱江地表水水质评价[J]. 安全与环境学报, 2011, 11(1): 104-108.

[6] 热比亚木·买买提, 阿不都沙拉木·加拉力丁, 托合提古丽·图尔荪. 吐鲁番市水资源现状及水质特征分析[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(20): 8658-8659, 8676.

[7] 王欣, 阿不都沙拉木·加拉力丁, 师芸宏. 吐鲁番市灌溉用水质量评价[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(23): 7975-7978.

[8] 张礼兵, 程吉林, 金菊良, 等. 农业灌溉水质评价的投影寻踪模型[J]. 农业工程学报, 2006, 22(4): 15-18.

[9] 马春花, 全达人, 王红雨. 灌溉用水质量的化学评价[J]. 宁夏工学院学报, 1996, 8(1): 29-38.

[10] 罗金耀, 李少龙. 灌溉水质属性综合评价方法研究[J]. 灌溉排水学报, 2003, 22(1): 70-72, 80.

结果表明这种剧毒物质主要分布在叶片中,茎秆中含量却并不高,全年平均检出量为 0.27%,最高检出量为 1.17%<sup>[15-17]</sup>。

温度作为厌氧发酵产甲烷的基本因素之一,对发酵产甲烷能力起到关键作用。裴占江等探究不同温度(10~35℃)对产甲烷菌群发酵性能的影响,结果表明中温条件(25~35℃)产甲烷菌的产气能力随着温度的升高而增强<sup>[18]</sup>。然而,试验并未涉及高温(40~50℃)对产气能力的影响。本试验采用紫茎泽兰茎秆为发酵原料,在不脱毒情况下探究不同温度对其发酵产甲烷的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料为紫茎泽兰一年生茎秆。取紫茎泽兰除去根部与叶,并除去杂质,将茎秆切成 1~2 cm 小段,作为 A 料。将 A 料在干燥烘箱中于 105℃ 烘干,作为 B 料;将 A 料在干燥烘箱中于 105℃ 烘干并粉碎,作为 C 料。A、B、C 料进行接种发酵,接种物取自农户正常产气沼气池中厌氧底泥。

### 1.2 试验装置

采用常规的排水法收集气体,试验装置如图 1 所示。发酵瓶体积为 500 mL,所有接口均用凡士林涂抹以增强气密性。

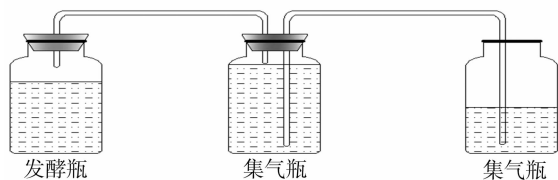


图1 试验装置示意图

### 1.3 试验方案设计

**1.3.1 发酵前堆沤** 将原料在发酵瓶外用定量沼液密封堆沤 3 d。B 料液配方:接种物 150 mL + 以烘干紫茎泽兰堆沤后的固体物质 180 g + 沼液 = 500 mL;C 料液配方:接种物 150 mL + 以烘干并粉碎后紫茎泽兰堆沤后的固体物质 180 g + 沼液 = 500 mL。

采用恒温水浴锅与传代试验的装置相结合,料液配方同传代试验,分别在 25、30、35、40、45、50℃ 的恒温条件下进行发酵试验。比较 24 d 不同温度下产气情况,测定 TS、VS 等各项指标以比较温度对发酵的影响。

### 1.4 指标测定方法

采用沼气成分简易测定法每天定时对沼气成分与含量进行测定;参照文献[19-21]采用常规试验对发酵试验的进出料液进行测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同温度下产气情况比较

**2.1.1 温度对产气量的影响** 试验主要对中温条件与高温条件下的产气情况进行测定分析。如图 2 所示,中温条件(25~35℃)下产气量随温度升高而上升,B、C 2 组 35℃ 时产气量较 25℃ 分别提高了 450% 与 360%。高温条件(40~50℃)下 B 组 45℃ 产气量仅为 35℃ 条件下的 65%,50℃ 时

又急剧回升,为 35℃ 产气量的 1.8 倍;C 组随着温度的升高,产气量出现缓慢上升趋势,45℃ 与 50℃ 条件下产气量分别为 35℃ 时的 1.58 倍和 1.64 倍。

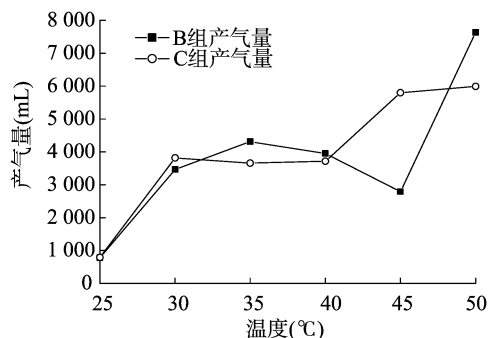


图2 温度对产气量的影响

厌氧微生物通常分为 3 种类型:最适合嗜冷菌(低于 15℃)、中温菌(37℃)、高温菌(55℃)。于晓章等研究认为嗜热菌群的最佳发酵温度为 40~55℃<sup>[22]</sup>。本试验结果表明,中温条件下发酵产气能力与温度成正比,这与裴占江等的结论<sup>[18]</sup>一致。40~45℃ 为嗜中温菌群与嗜热菌群生长过渡温度,产气能力即发酵微生物群活性在该温度下都受到了一定的负面影响。

**2.1.2 温度对产甲烷率的影响** 由图 3 可以看出,B 组产甲烷效率在中温条件下变化较小,而在 35~45℃ 条件下,产出效率急骤降低。C 组产甲烷效率在 30℃ 到达峰值为 60.7%,35℃ 下略有降低,而在 35~50℃ 下,产出效率又逐步回升,但各温度处理间差异不大。裴占江等的研究结果表明,发酵产甲烷微生物群的最佳生长温度为 25~35℃。沼气发酵微生物群主要分为非产甲烷菌群和产甲烷菌群,非产甲烷菌在产气同时也为产甲烷菌群提供生长所需底物<sup>[23]</sup>,B、C 2 组在产气量与产甲烷效率上出现的一致性表明 40~45℃ 不适合发酵微生物生长。该温度范围内非产甲烷菌不能充分分解原料产生气体,也未能为产甲烷菌提供足够的生长底物,50℃ 高温时嗜热菌群开始高效作用。

结合图 2 与图 3,B 组产气量与产甲烷率受高温条件影响程度大于 C 组,可见杆状的纤维较粉状难以直接利用。

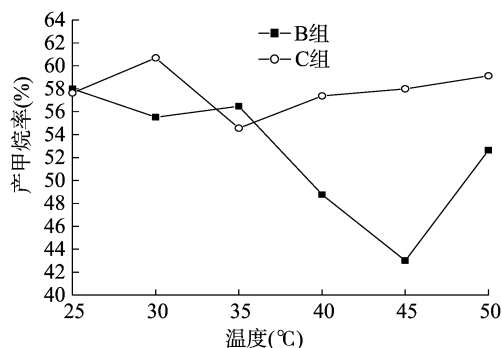


图3 温度对产甲烷的影响

**2.1.3 温度对日产气量的影响** 表 1 为 B、C 2 组原料在不同温度下产气与产气成分情况,常温情况即 25℃ 时产气主要在 0~4 d,5~16 d 的产气量几乎为 0,产甲烷率逐渐下降;中温与高温条件下,产气的高峰主要集中在 0~4 d,随后都出现了产气量先减少后上升的趋势,在后期主要是 17~24 d 出现

第 2 个产气高峰期,产甲烷率也出现先减小后增大的趋势,随着发酵时间的延长而不断上升,除 B 组在 45 ℃ 时产甲烷率

不足 50%,其余温度下的产甲烷率在 21 ~ 24 d 时都能达到 70% ~ 80% 的高水平。

表 1 B、C 组不同温度随时间变化的产气量与产气成分

时间 (d)	组别	25 ℃		30 ℃		35 ℃		40 ℃		45 ℃		50 ℃	
		产气量 (mL)	产甲烷 率(%)	产气量 (mL)	产甲烷 率(%)	产气量 (mL)	产甲烷 率(%)	产气量 (mL)	产甲烷 率(%)	产气量 (mL)	产甲烷 率(%)	产气量 (mL)	产甲烷 率(%)
1 ~ 4	B 组	756	58	815	58	728	40	999	33	1 810	42	2 108	35
	C 组	510	64	1 210	59	1 030	40	808	32	1 225	32	1 573	44
5 ~ 8	B 组	0	0	590	41	590	37	487	34	63	34	989	35
	C 组	46	43	228	39	567	39	220	43	599	34	410	36
9 ~ 12	B 组	0	0	349	36	675	47	298	45	28	39	450	56
	C 组	0	0	176	39	887	55	1 035	54	1 111	64	204	48
13 ~ 16	B 组	0	0	325	43	1 112	65	425	53	39	45	955	54
	C 组	16	34	670	52	914	72	916	72	1 539	69	620	54
17 ~ 20 d	B 组	8	46	502	64	728	71	1131	69	112	42	2 045	68
	C 组	145	42	978	68	182	82	434	76	870	77	1 570	70
21 ~ 24 d	B 组	17	45	888	67	481	74	609	76	735	45	1 090	71
	C 组	76	54	556	77	80	80	301	79	454	74	1 615	73

通过对日产气情况的分析可以看出,在预处理过程中,发酵微生物尤其是非产甲烷微生物有效富集,使得发酵前期具有较好的产气能力,且随着温度的上升,初期的产气能力呈增长趋势,产甲烷率却呈相反的趋势。非产甲烷微生物与产甲烷微生物的作用温度与作用时间存在明显差异,非产甲烷微生物对高温适应能力强,所以产甲烷微生物的富集较非产甲烷微生物而言要晚 10 d 左右,这 10 d 时间内处于发酵水解阶段,主要是非产甲烷微生物对纤维素成分进行水解,为产甲烷微生物提供可直接利用的原料<sup>[24]</sup>,当非产甲烷微生物对原料进行有效水解后产甲烷微生物生长稳定并已经较好地适应发酵环境,产甲烷率随着发酵时间增加而逐渐增大且在后期达到 70% 以上。

B 组原料在 45 ℃ 下日产气与其他温度下相近,但产甲烷效率较低,然而 C 组却有较高的甲烷产率。可见,在这一温度下物料状态对于原料能否被有效利用影响较大,木质素的存在是纤维素类原料沼气发酵中限速因素,厌氧条件下木质素很难生物降解<sup>[25]</sup>。这可能是由于 B 组原料未被粉碎,未被粉碎的原料木质结构较粉状更为严密,导致微生物不能进行有效分解利用。

2.2 不同温度下发酵对 TS、VS 的利用情况

2.2.1 温度对 TS 产气影响 TS(总固体)利用情况是发酵微生物对原料利用产气效率的重要评价指标。由图 4 可见,中温条件下 B、C 组 TS 利用率随温度升高而上升,40 ~ 45 ℃ 条件下 TS 利用率急剧下降,B 组材料在 40 ℃ 条件下最低,只有 2.5%,50 ℃ 恢复到 13% 左右。可见,40 ~ 45 ℃ 不利于发酵微生物群对原料的利用。

C 组 TS 产气率总体明显高于 B 组,粉状原料较杆状原料更易被直接利用。C 组在 30 ℃ 的 TS 产气率最高,达到峰值 152.8 L/kg。

2.2.2 温度对 VS 产甲烷影响 VS(有机干物质)产甲烷情况是产甲烷微生物对有机物质(即含有机碳部分)转化利用的评价标准之一。由图 5 可以看出,C 组 VS 的利用受到温度

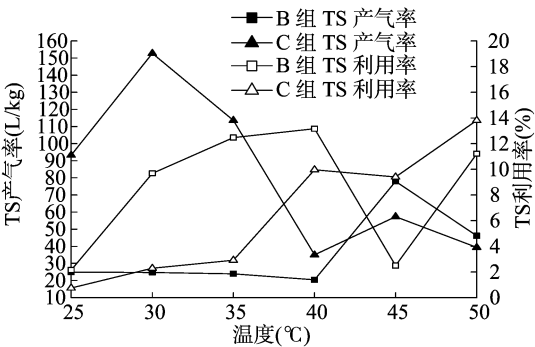


图4 TS 利用率和产气率

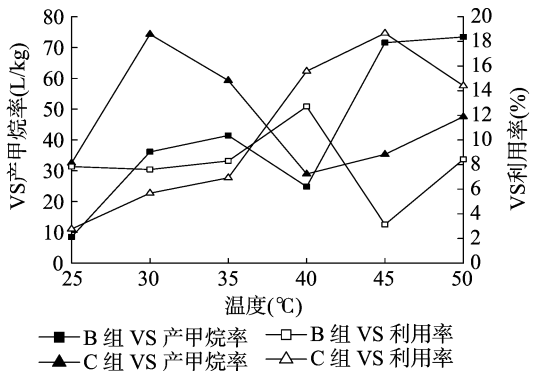


图5 VS 利用率和产甲烷率

的影响,中温条件下 VS 利用率与温度成正比。B 组在 45 ℃ 下利用率最低,表明该温度对杆状原料的影响比对粉状影响大。

C 组 VS 产甲烷率明显高于 B 组,表明粉状原料较杆状原料更易被直接利用。C 组在 30 ℃ 下,VS 产气率达到 74.3 L/kg 的峰值。

2.3 原料不同预处理对利用效率的影响

粗纤维是植物细胞壁的主要组成成分,包括纤维素、半纤维素、木质素及角质等。通过半纤维素与木质素的降解数据

(表 2)可以看出,B、C 2 组原料中半纤维素平均利用率分别为 4.7%、7.0%,C 组原料的半纤维素的利用率约为 B 组的 1.5 倍,原料利用率更高。2 组原料的木质素的平均利用率都为 1.6%,可以看出发酵过程中发酵微生物对木质素没有进行有效的利用,相比半纤维素,天然木质纤维素结构更加复杂。进行生物转化的难点在于如何将木质素与纤维素降解成为可发酵糖<sup>[25]</sup>。生产甲烷的原料利用则主要集中在半纤维素上,未经粉碎的杆状原料相比于粉状原料,木质纤维结构更加紧密,从而降低了微生物对其的利用效果。杆状原料的木质素比粉状原料更难以被水解,进一步影响了微生物利用半纤维等成分进行沼气发酵。

表 2 不同温度下粗纤维、木质素与半纤维素利用率

温度 (℃)	降解率(%)					
	粗纤维		半纤维素		木质素	
	B 组	C 组	B 组	C 组	B 组	C 组
25	5.35	4.94	1.97	0.14	2.92	3.77
30	8.94	3.67	1.30	2.69	1.70	4.60
35	1.38	2.82	5.69	7.15	1.70	0.00
40	0.76	0.24	3.65	3.40	0.42	0.85
45	0.70	0.65	1.72	7.80	0.84	0.65
50	4.47	4.70	9.08	13.66	0.40	0.10

3 结论

试验表明,中温条件(25~35℃)是发酵的最佳温度,发酵产气量与产甲烷率随温度升高而上升。该湿度条件下,有利于嗜中温菌发酵微生物群的富集作用,且对原料(TS、VS)的利用也随温度升高而提高。40~45℃是发酵的不利温度,是嗜中温菌与嗜热菌的过渡温度,不利于发酵微生物(包括非产甲烷微生物与产甲烷微生物)的发酵作用,发酵产气量、产甲烷率以及对原料的利用都受到一定限制,当达到 50℃时,嗜热菌生长良好,成为发酵作用主要微生物群,产气量与产甲烷率得到恢复。

粉状原料较杆状原料更适于发酵产甲烷,且受温度影响程度明显低于杆状原料。本试验条件下,粉状 30℃时产气情况最佳,原料 TS 产气率达到 152.8 L/kg,VS 产甲烷率达到 74.3 L/kg。

参考文献:

[1]段惠,强盛,吴海荣.紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum* Spreng)[J].杂草科学,2003(2):36-38.  
[2]华劲松.凉山州紫茎泽兰的分布及危害情况调查[J].现代农业科技,2012(22):139-140.  
[3]李丽,张无敌,尹芳.紫茎泽兰的各种利用研究[J].农业与技术,2007,27(4):51-54.  
[4]王银朝,赵宝玉,樊泽锋,等.紫茎泽兰及其危害研究进展[J].

动物医学进展,2005,26(5):45-48.  
[5]杨紫美.紫茎泽兰的危害及防除[J].草业与畜牧,2011(1):32,34.  
[6]梁小玉,张新全.紫茎泽兰发生特点、防治及其利用[J].四川草原,2004(2):13-15.  
[7]赵运涛,李新华,张征文.中国主要外来入侵物种的危害及防治措施[J].林业调查规划,2005,30(6):113-117.  
[8]张无敌.恶性有毒杂草紫茎泽兰的利用[J].云南林业科技,1996,74(1):78-81.  
[9]朱先洲.入侵植物紫茎泽兰资源化利用研究进展[J].湖北农业科学,2012,51(14):2905-2907,2917.  
[10]雷永松,陈亮,赵青.外来恶性杂草紫茎泽兰综合利用研究进展[J].湖北林业科技,2007(3):36-39.  
[11]侯太平,刘世贵.有毒植物紫茎泽兰研究进展[J].国外畜牧学:草原与牧草,1999(4):6-8.  
[12]杨发根,段家锦,朱桂玲.紫茎泽兰脱毒作猪饲料原料的研究[J].粮食与饲料工业,1998(5):21-22.  
[13]江蕴华,余晓华.用紫茎泽兰生产沼气的研究[J].太阳能学报,1986,7(3):288-294.  
[14]Sang W G, Zhu L, Axmacher J C. Invasion pattern of *Eupatorium adenophorum* Spreng in southern China[J]. Biological Invasions, 2010,12(6):1721-1730.  
[15]闫乾胜,杨婕,李华民,等.入侵物种紫茎泽兰化学成分及生物活性研究进展[J].北京师范大学学报:自然科学版,2006,42(1):70-73.  
[16]白洁,曹勘程,郭美霞,等.紫茎泽兰 9-羧基-10,11-去氢泽兰酮分布积累动态[J].植物学报,2011,46(4):470-475.  
[17]陈金发,廖茂芪,周家兴,等.紫茎泽兰茎秆厌氧发酵产甲烷[J].环境工程,2014,32(4):153-157.  
[18]裴占江,王大慰,张楠,等.温度对产甲烷菌群发酵性能的影响[J].黑龙江农业科学,2009(5):128-129,140.  
[19]王林风,程远超.硝酸乙醇法测定纤维素含量[J].化学研究,2011,22(4):52-55,71.  
[20]李华,孔新刚,王俊.秸秆饲料中纤维素、半纤维素和木质素的定量分析研究[J].新疆农业大学学报,2007,30(3):65-68.  
[21]张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].北京:中国农业大学出版社,2003:68-70.  
[22]于晓章,彭晓英,周朴华.温度对厌氧嗜热菌群产甲烷能力的影响[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2005,31(4):422-426.  
[23]虞方伯,罗锡平,管莉菠,等.沼气发酵微生物研究进展[J].安徽农业科学,2008,36(35):15658-15660.  
[24]蒙杰,王敦球.沼气发酵微生物菌群的研究现状[J].广西农学报,2007,22(4):46-49.  
[25]胡启春.微生物降解木质纤维素研究的某些进展[J].中国沼气,1987,5(1):4-7.