

控温和添加垃圾液对水葫芦发酵效果影响的研究

刘海琴, 宋伟, 姜继辉, 韩士群, 黄建萍

(江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏南京 210014)

摘要: 利用自制 200 L 厌氧发酵罐, 分别在 35 ℃ 和 53 ℃ 恒温条件下, 在剪切处理的水葫芦中添加不同比例的垃圾液进行厌氧发酵, 观察对其发酵产气的影响及其发酵原料的全碳降解率。结果在相同控温条件下, 添加 40% 和 30% 垃圾液处理的产气量及产气率分别是不添加垃圾液处理的产气量及产气率的 1.32 倍、1.19 倍和 1.87 倍、1.48 倍; 相同进料量条件下, 高温(53 ℃) 发酵有利于发酵原料全碳的降解, 发酵 30 d 后全碳降解率即可达到 31.52%。水葫芦汁、渣分离的发酵总产气量比剪切处理提高 46.10%, 恒温 35 ℃ 发酵 15 d, 水葫芦汁发酵沼液的 COD 降解率为 75.73%, 水葫芦渣发酵沼液的全碳降解率为 15.86%。

关键词: 水葫芦; 垃圾液; 控温; 沼气发酵

中图分类号: S216 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2009)03-0374-03

水葫芦(water hyacinth), 又名凤眼莲、洋水仙、水生风信子等, 属雨久花科凤眼莲属多年生漂浮水生草本植物, 原产于南美洲。水葫芦无性与有性繁殖力均强, 喜群生, 往往形成单一的优势群落^[1], 其生物量每 15~18 d 可以翻 1 倍。水葫芦是富集能力很强的水生植物, 能大量吸收氮磷营养盐、重金属离子以及降解苯、苯等有机化合物^[2-5]。目前在富营养化水体污染治理中, 广泛利用了水葫芦超强的净化功能, 及其根部分泌物的抑藻功能^[6-7]。此外, 水葫芦在作为生物质能源、肥料等资源利用方面具有较大潜力, 并引起了人们的重视。但由于水葫芦资源化利用的效益较低, 且自身危害也十分突出, 若在江河湖泊中迅速繁衍, 将造成生态失衡, 株体死亡腐

烂后易造成二次污染, 因此对种植水葫芦修复富营养化水体一直存在很大争议。

20 世纪 90 年代以来, 生活垃圾问题已成为世界最严重的公害之一^[8-9], 被自然填埋后产生的渗滤液对土壤、地下水等都会造成现实或潜在的危害。生活垃圾渗滤液是一种高浓度的有机废水, 化学需氧量(chemical oxygen demand, COD) 最高达到 90 g/L, 成分也非常复杂, 污染负荷很高, 危害程度严重。目前垃圾渗滤液的处理流程基本以生物化学法为核心, 辅以其他物理、化学方法的多级处理组合。本研究控制发酵温度稳定在 35 ℃ 和 53 ℃, 将水葫芦发酵与垃圾液发酵有机地结合起来, 一方面有利于消除生活垃圾液的排放污染问题, 另一方面进一步探索可提高水葫芦发酵效率的途径。

收稿日期: 2008-12-04

基金项目: 江苏省农业科学院科研基金(编号: 6110726)。

作者简介: 刘海琴(1971—), 女, 江苏南京人, 助理研究员, 主要从事水环境生态修复方面的研究。Tel: (025) 84390241; E-mail: liuhaiqin616@yahoo.com。

(上接第 373 页)

粉红聚端孢 *Trichothecium roseum* (Pers.) Link ex Gray

狭截盘多毛孢 *Truncatella angustata* (Pers. ex Link) S. Hughes

葡串细基格孢 *Ulocladium botrytis* Preuss

软枝轮枝 *Verticillium tenerum* (Nees ex Pers.) Link

轮枝菌属 *Verticillium* sp.

3 讨论

土壤是微生物生存繁衍的大本营, 据测定, 1 g 肥沃表土中, 真菌繁殖体的数量可达几千至数十万个^[1]。通过对长白山自然保护区北坡不同海拔、不同林型下的土壤真菌进行分类鉴定, 鉴定出真菌 45 属 82 种; 在已鉴定的真菌中, 笔者已先后参与发表报道了 2 个中国新记录属。鉴定结果表明, 长白山自然保护区在特定而复杂的环境条件下, 不仅真菌物种种类丰富, 且有独特的物种潜质。

研究发现, 随着海拔的升高, 不同林型下生态环境的差异

1 材料与方法

1.1 发酵原料

水葫芦, 取自江苏省农业科学院内 3 号塘, 打捞后自然堆放 1 个月左右; 生活垃圾液, 取自江苏无锡国联火力发电厂;

对真菌群落的相似性、丰富度、均匀度存在这不同程度的影响。随着长白山北坡真菌种类鉴定工作的开展, 更多的真菌物种将被发现, 将进一步丰富长白山生物物种多样性, 可对长白山生物物种可持续开发和利用提供理论依据。

参考文献:

- [1] 梁晨, 吕国忠. 土壤真菌分离和计数方法的探讨[J]. 沈阳农业大学学报, 2000, 31(5): 515-519.
- [2] 李建东, 吴榜华, 盛连喜. 吉林植被[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2001: 393-396.
- [3] 杨莉榕, 任文智, 贺冰. 园林土壤真菌种类的初步研究[J]. 山西农业大学学报, 2008, 28(2): 149-152.
- [4] 张睿, 刘志恒, 杨红. 吉林省人参根际土壤真菌群落生态特征及区系分析[J]. 吉林农业科学, 2008, 33(1): 47-50.
- [5] Carmichael J W, Kendrick W B, Connors L. Genera of hyphomycetes [M]. Edmonton: The University of Alberta Press, 1980: 1-386.
- [6] Domsch K H, Gams W, Traute-Heidi A. Compendium of soil fungi [M]. London: Academic Press, 1980: 1-859.

发酵接种物污泥,取自江苏南京锁金村污水处理厂。

1.2 试验装置

自行研制的 200 L 圆柱形不锈钢发酵罐,分内外 2 层,内层为原料反应层,有效装料体积 130 L;外层为循环水层,通过外层热水循环经温控器控制罐内反应温度。由于发酵物料会自动分层,因而发酵罐内层被不锈钢筛分为上下 2 层;上层为固体发酵原料,下层为经不锈钢筛渗漏下来的发酵液体。下层的发酵液体经泵定时抽取上下循环,以保持固液充分混合。

1.3 水葫芦形态(剪切和整株)、发酵原料比例和温度对发酵效果的影响

1.3.1 不同处理对发酵产气的影响 根据水葫芦形态(剪切和整株)、各种发酵原料比例和温度的不同共分 5 个处理,并分别进行发酵(表 1),5 种处理的终重量保持一致,处理 1

和处理 5 的比例不足部分加水补充。试验周期设定为 30 d,每天分别测量和记录各处理的以下指标:达到产气高峰期的天数(d)、最高日产气量(L)、最大容积产气率 $[L/(L \cdot d)]$ 、发酵总产气量(L)和单位重量干物质产气量(L/kg)。

1.3.2 不同处理对发酵原料全碳降解的影响 采用燃烧法,测定 1.3.1 中发酵前水葫芦和各处理发酵 30 d 后沼渣的全碳含量,以判断水葫芦不同原料形态的降解率。

1.4 水葫芦汁、渣分离后分别发酵的效果

试验共设 2 个处理,即将水葫芦压榨后,取其汁和渣在 35 ℃下分别进行发酵(表 2),2 种处理的终重量保持一致,处理 2 中比例不足部分加水补充。试验方法和观察指标同 1.3.1。试验中水葫芦汁发酵后的沼液 COD 采用重铬酸盐法(GB 11914—1989)测定。

表 1 不同处理对发酵产气的影响试验分组及处理

试验处理	水葫芦形态	发酵温度(℃)	原 料					
			水 葫 芦		垃 圾 液		接 种 物	
			重量(kg)	比例(%)	重量(kg)	比例(%)	重量(kg)	比例(%)
1	剪切	35	60	50	0	0	36	30
2	剪切	35	48	40	36	30	36	30
3	剪切	35	36	30	48	40	36	30
4	剪切	53	36	30	48	40	36	30
5	整株	53	60	50	0	0	36	30

表 2 水葫芦汁、渣分离对发酵的影响试验分组和处理

处理	水葫芦汁		接种物	
	重量(kg)	比例(%)	重量(kg)	比例(%)
1	84	70	36	30
2	60	50	36	30

2 结果与分析

2.1 水葫芦形态、发酵原料比例和温度对发酵效果的影响

2.1.1 各处理对发酵产气的影响 试验结果发现,在 30 d 的试验周期内,前 15 d 各处理的产气量差异比较明显(表 3),而后 15 d 各处理的产气量均维持在 20~30 L/d 范围内,

表 3 各处理发酵 15 d 的产气情况

处理	控温(℃)	达到产气高峰期天数(d)	最高日产气量(L)	发酵罐有效装料容积(L)	最大容积产气率 $[L/(L \cdot d)]$	发酵 15 d 总产气量(L)	干物质(kg)	单位重量干物质产气量(L/kg)
1	35	9	40.60	130	0.31	477.62	3.96	120.61
2	35	10	59.28	130	0.46	567.02	3.17	178.87
3	35	10	81.44	130	0.63	628.62	2.78	226.12
4	53	9	78.14	130	0.61	788.00	2.78	283.45
5	53	11	53.04	130	0.41	337.41	3.96	85.20

2.1.1.2 相同发酵原料时不同控温条件对产气的影响 处理 3 和处理 4 虽然在不同控温条件下(35 ℃和 53 ℃),但产气高峰期到达的时间仍然集中在 9、10 d,最高日产气量也无明显差异,分别为 81.44 L、78.14 L,而处理 4 在 53 ℃下的单位重量干物质产气量则是处理 3(35 ℃)的 1.25 倍,说明温

差异不明显。

2.1.1.1 相同温度条件下不同水葫芦进料量及添加垃圾液对产气的影响 处理 1、2、3 的产气高峰期到达时间基本都集中在发酵后 9~10 d。虽然处理 1 添加的水葫芦量最高,但添加垃圾液的处理 3 和处理 2 的 15 d 产气量和产气率分别是处理 1 的 1.32 倍、1.19 倍和 1.87 倍、1.48 倍,均高于处理 1,说明添加垃圾液后可提高产气量及产气率。处理 3 的最高日产气量达 81.44 L,是处理 2(59.28 L)的 1.33 倍。发酵 15 d 时处理 3 的总产气量为 628.62 L,是处理 2(567.02 L)的 1.11 倍。处理 3 的单位重量干物质产气量为 226.12 L/kg,是处理 2(178.87 L/kg)的 1.26 倍,说明 40% 的垃圾液添加量产气效果高于 30% 的垃圾液添加量。

度升高到 53 ℃有利于提高发酵效率。

2.1.1.3 相同原料量时不同原料形态和不同温度条件对产气的影响 处理 5 由于发酵温度较高(53 ℃)最大容积产气率 $[0.41 L/(L \cdot d)]$ 高于处理 1 $[0.31 L/(L \cdot d)]$,但单位重量干物质产气量(85.20 L/kg)则低于处理 1(120.61 L/kg)。

另外,试验中持续记录发酵30 d后的总产气量还显示处理5(约为520 L)低于处理1(约为720 L)。结合处理3和处理4的比较结果,说明水葫芦剪切后的发酵效果好于整株发酵,即原料形态对发酵有明显的影响,并且该影响力可能大于温度的影响。

2.1.2 不同处理对发酵原料全碳降解的影响 水葫芦发酵前的全碳含量为38.51%,发酵30 d后各处理的沼渣全碳含量测定结果见表4。

表4 发酵沼渣全碳含量测定结果

处理	全碳含量(%)	全碳降解率(%)
1	33.72	12.44
2	28.14	26.93
3	27.29	29.14
4	26.37	31.52
5	36.43	5.40

从表4可知:发酵30 d后,处理4的全碳降解率最高,达到31.52%。在相同温度条件下添加垃圾量不同其发酵物料全碳降解率也不同:40%垃圾液>30%垃圾液。相同进料量条件下控温不同其发酵物料全碳降解率也有差异:高温53℃>中温35℃。原料形态处理方式不同其发酵物料全碳降解率更是有高低之分:尽管处理5发酵温度控制在53℃的高温水平,但由于其发酵原料水葫芦未经切碎,所以沼渣中全碳含

表5 水葫芦汁、渣分离后的发酵产气情况

发酵原料	控温(℃)	达到产气高峰期天数(d)	最高日产气量(L)	发酵罐有效装料容积(L)	最大容积产气率[L/(L·d)]	发酵15 d总产气量(L)
水葫芦汁	35	2	52.30	130	0.40	384.44
水葫芦渣	35	7	115.70	130	0.89	1 105.43

水葫芦汁经过15 d的恒温发酵后,沼液中的COD含量由起始值13 080 mg/L降为3 175 mg/L, COD降解率为75.73%;发酵15 d的总产气量为384.44 L,每降解1 g COD的产气量为0.323 L。查国君等^[10]研究常温下水葫芦汁发酵80 d后每降解1 g COD的沼气产量为0.332 L,说明本试验中水葫芦汁厌氧发酵的效果较好。

3 结论

相同控温条件下,添加垃圾液后可明显提高水葫芦发酵的产气量及产气率,添加40%和30%垃圾液处理的产气量及产气率分别是不添加垃圾液处理的产气量及产气率的1.32倍、1.19倍和1.87倍、1.48倍;添加40%垃圾液的产气量和产气率分别为添加30%垃圾液的1.11倍和1.26倍。

不同控温、相同进料量条件下,温度升高有利于提高发酵产气量和物料全碳降解率:试验进行15 d时的总产气量,高温53℃发酵比中温35℃发酵高出25.35%;单位重量干物质产气量高温53℃发酵是中温35℃发酵的1.25倍;高温53℃发酵有利于发酵原料全碳的降解,试验周期内降解率达到31.52%,中温35℃发酵的全碳的降解率为29.14%。

水葫芦汁、渣分离有利于发酵产气,恒温35℃发酵15 d,水葫芦汁发酵第2天即可进入产气高峰期,发酵15 d时COD降解率为75.73%,每降解1 g COD的产气量为0.323 L;水葫

芦渣全碳降解率为15.86%。该指标与2.1的结果相对应:即处理5(整株)在发酵15 d时的总产气量及单位重量干物质产气量也处于最低水平。这些结果进一步说明:不同原料形态的处理方式对发酵物料降解率影响较大,比温度和垃圾液等因子对发酵的影响更大。

2.2 水葫芦汁、渣分离后的发酵效果

利用水葫芦汁发酵可快速进入产气高峰期。表5显示,在35℃控温条件下,水葫芦汁发酵第2天即进入产气高峰期,与水葫芦剪切处理(9 d)相比,提前了7 d,而水葫芦渣在发酵7 d后才进入产气高峰期。

水葫芦汁和渣分别发酵的产气量总和高于剪切处理。表5显示,发酵后15 d,虽然水葫芦汁的总产气量(384.44 L)比水葫芦剪切处理(628.62 L)低,但水葫芦渣的总产气量(1 105.43 L)却明显高于水葫芦剪切处理。试验中采用压榨方式取得的水葫芦出汁率大约为49%,即1 kg水葫芦经压榨可分离出水葫芦汁0.49 kg、水葫芦渣0.51 kg,根据表5的试验结果换算得到其汁和渣的产气量分别为2.24 L、9.39 L,即两者的总产气量为11.63 L,比等重水葫芦剪切后直接发酵的产气量(7.96 L)提高了46.10%。说明压榨可以大幅度提高水葫芦的产气效果,可能是压榨在一定程度上破坏了水葫芦的细胞结构,使水葫芦得到充分发酵所致。该结果再次说明原料形态的处理方式在很大程度上影响发酵效果。

芦渣全碳降解率为15.86%。

参考文献:

- [1]刁正俗. 中国水生杂草[M]. 重庆:重庆出版社,1989:465-479.
- [2]贺丽虹,沈颂东. 水葫芦对水体中氮磷的清除作用[J]. 淡水渔业,2005,35(3):7-9.
- [3]蔡成翔,王华敏,张宗明. 凤眼莲对铜、铅、镉、锌、铁等离子体的短期净化机制研究[J]. 乐山师范学院学报,2004,19(5):69-72.
- [4]袁蓉,刘建武,成旦红,等. 凤眼莲对多环烃(萘)有机废水的净化[J]. 上海大学学报:自然科学版,2004,10(3):272-276.
- [5]刘建武,林逢凯,王郁,等. 水葫芦根系对苯的吸附过程研究[J]. 化工环保,2002,22(6):315-319.
- [6]孙文浩,俞子文,余叔文. 城市富营养化水域的生物治理和凤眼莲抑制藻类生长的机理[J]. 环境科学学报,1989,9(2):188-195.
- [7]唐萍,吴国荣,陆长梅,等. 太湖水域几种高等水生植物的克藻效应[J]. 农村生态环境,2001,17(3):42-44.
- [8]张艳,乔伟. 厌氧消化处理城市垃圾研究进展[J]. 湖南城市学院学报,2003,24(3):58-62.
- [9]国家环境保护总局污染控制司. 城市固体废物管理与处理处置技术[M]. 北京:中国石化出版社,2000:1-5.
- [10]查国君,张无敌,尹芳,等. 滇池水葫芦固液分离后的沼气发酵研究[J]. 中国野生植物资源,2008,27(1):36-38.