

# 蓝藻泥干发酵潜力研究

宋伟 韩士群 周庆 刘海琴 李国锋 常志州

(江苏省农业科学院, 江苏南京 210014)

**摘要** 探讨藻泥干式发酵资源化利用的潜力。以太湖脱水藻泥为原料,进行干式厌氧发酵产沼气试验,分析蓝藻干式发酵的可行性。结果表明,接种物与蓝藻体积比为3:7时,在恒定温度为35℃的发酵环境中发酵42d,蓝藻TS产气潜力为352.31mL/g,VS产气潜力为381.59mL/g,产气高峰时沼气中甲烷的含量为67.25%,蓝藻TS利用率为50.15%,VS利用率为52.39%,TOC利用率为53.86%。蓝藻泥可以作为发酵原料直接进行干式发酵。

**关键词** 蓝藻泥;干发酵;沼气;资源化利用

中图分类号 S216.2 文献标识码 A 文章编号 1007-5739(2009)24-0251-03

## Study on Potentiality of Blue Algae sludge's Dry Fermentation

SONG Wei HAN Shi-qun ZHOU Qing LIU Hai-qin LI Guo-feng CHANG Zhi-zhou

(Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing Jiangsu 210014)

**Abstract** To explore the potential of algae sludge's resource utilization by dry anaerobic fermentation, with water removal algae sludge as test material, the experiment of producing biogas by anaerobic fermentation was carried out and the possibility of algae sludge's dry fermentation was analyzed. The result showed as follows: the volume ratio of inoculum to blue algae was 3:7, the anaerobic fermentation lasted for 42 days at the constant temperature of 35℃, and the potential of producing biogas of TS and VS was 352.31mL/g and 381.59mL/g, respectively; the content of methane in the biogas was 67.25% in gas production fruitful periods; the utilization of TS, VS and TOC was 50.15%, 52.39% and 53.86%, respectively. Blue algae sludge can be used directly as dry anaerobic fermentation's material.

**Key words** blue algae sludge; dry fermentation; biogas; resource utilization

近年来,因水环境污染而导致的水体富营养化日益严重,而随着工业化进程的加快,更使得富营养化成为湖泊、水库的主要环境问题之一。我国有约70%的湖泊、水库存在富营养化,太湖、滇池、巢湖等著名湖泊正遭受严重的富营养化危害;而更为严峻的是富营养化所造成的蓝藻暴发,经常给周围地区带来不可预料的损失,例如2007年无锡市由蓝藻忽然暴发所引起的“饮用水水危机”。

自20世纪90年代始,对富营养化湖泊的治理就受到政府和社会各界的高度重视,由于自然生态平衡的复杂性,富营养化湖泊的修复是一个长期的过程,在治理过程中,蓝藻水华的暴发仍不可避免,目前针对蓝藻暴发的最有效处理方式是机械或人工打捞,据统计仅2007年太湖累计打捞蓝藻18万t,打捞上来的蓝藻水华大多采用围池堆积的方式存放在山坳等地,由于打捞的蓝藻数量巨大,不仅要占用大量山林土地,而且堆积在野外的蓝藻在自然雨水的冲刷等条件下容易通过渗漏、径流重新回到太湖水域造成二次污染,因此,如何处置打捞的蓝藻水华成为重要而紧迫的现实问题。

目前国内外针对蓝藻利用的研究主要有制备饲料用氨基酸添加剂<sup>[1]</sup>、提取藻蓝蛋白<sup>[2]</sup>、提取胞外多糖<sup>[3]</sup>、制有机肥<sup>[4,5]</sup>、作生物柴油<sup>[6]</sup>、厌氧发酵生产沼气<sup>[7-12]</sup>等,其中,蓝藻厌氧发酵产沼气作为蓝藻资源化利用是目前应用较广泛的一种处理方式,不仅能有效的降解藻毒素<sup>[9]</sup>,实现打捞蓝藻的去毒化、规模化处理,而且发酵产物和残渣具有产业化利用的潜力。目前蓝藻厌氧发酵生产沼气的研究大都采用湿发酵方式,发酵原料的总固体含量均小于10%<sup>[7-12]</sup>,现在江苏省农科院蓝藻资源化利用项目的基础上,对脱水处理后高浓度

**基金项目** 国家支撑计划课题(2009BAC52B04);江苏省农业科技创新基金(6110727)。

**收稿日期** 宋伟(1979-),男,湖北黄冈人,助理研究员,主要从事环境微生物研究工作。

**收稿日期** 2009-12-02

蓝藻的干式发酵潜力进行了相关研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

发酵用藻泥取自太湖蓝藻水华脱水后产物,经测定总固体(TS)含量为12.53%,挥发性固体(VS)含量为91.58(文中VS均以干样为基数)。发酵接种物取自江苏省农业科学院厌氧发酵中试工程的发酵沼液,TS含量为4.87%,VS为86.62%。试验用水稻秸秆添加剂取自江苏省农业科学院粮食作物研究所,并用9FQ40-20型粉碎机粉碎,经浸水预发酵15d后使用,经测定TS含量为33.73%,VS为95.28%。

### 1.2 试验装置

厌氧发酵反应器采用2500mL玻璃瓶,用橡胶塞密封,再用玻璃管与导气管相连接,形成一个小型的厌氧发酵装置。

### 1.3 试验设计

采用12套厌氧发酵装置,分为5个处理,每个处理设3个平行。处理1:仅添加蓝藻和接种物,接种物与蓝藻的质量比为3:7;处理2:仅添加稻草和接种物,作为蓝藻干式发酵试验的对照,接种物与稻草的质量比为3:7(由于稻草体积大、质量轻,发酵装置的体积固定,故试验稻草发酵的总质量小于其他3个处理);处理3、4:添加接种物、稻草和蓝藻质量比分别为3:1:6、3:2:5;处理5:仅添加接种物(表1)。在遮光烘箱中35℃恒温发酵,发酵时间持续42d。

表1 沼气发酵原料配比 (kg)

处理	发酵原料及用量		
	接种物	藻泥	稻草
1	0.60	1.4	0
2	0.33	0	0.77
3	0.60	1.2	0.20
4	0.60	1.0	0.40
5	0.60	-	-

### 1.4 试验分析项目和方法

发酵原料TS测定采用105±5℃烘干法测定<sup>[13]</sup>将待测混

合物置于已烘干、称重的坩锅中,105±2℃烘干至恒重,VS的测定将待TS测定恒重物置于马弗炉中550±10℃灼烧至恒重,称重后计算VS<sup>[14]</sup>。用排水集气法收集沼气并测量沼气产量,产气高峰期时收集沼沼气用气相色谱检测甲烷含量,总氮测定方法为过硫酸钾氧化-紫外分光光度法<sup>[15]</sup>,有机碳测定方法采用外热源稀释法<sup>[16]</sup>。

2 结果与分析

2.1 发酵前后料液的成分变化分析

由于试验研究的是高浓度原料的干式发酵,处理2发酵原料稻草和接种物经搅拌充分混合后见不到水分,呈固形物状态堆积在一起;处理1发酵原料蓝藻和接种物充分混合后也见不到水分,呈泥状堆积;处理3、4发酵物料充分混合后介于处理1、2之间的状态,呈固体状;处理5呈液态,在整个发酵过程中几乎收集不到气体,这说明接种物本身产气量很小,发酵过程中沼气主要是由接种物消化蓝藻和稻草而产生的,故处理5不作统计分析。为了分析发酵前后各成分的变化状况,测定发酵前后的各组TS值、VS值和TOC值(表2)。可以看出,处理1的TS和VS降解率达50.15%和52.39%,在各处理中TS和VS降解率最高,处理2的TS和VS降解率为15.72%和16.12%,在各处理中TS值和VS降解率最低,处理3的TS和VS降解率为38.00%和40.13%,处理4的TS和VS降解率为34.03%和37.24%;各处理的TS和VS降解率随蓝藻含量的升高而升高。在4组处理中处理1的TOC降解率最高,达53.86%,处理2的TOC降解率最低,为19.32%,处理3和处理4的TOC降解率居中,分别为39.16%和36.49%;各处理的TOC降解率与TS和VS降解率变化趋势一样,也与蓝藻含量成正相关;发酵前后处理1、处理2、处理3和处理4总质量分别减重230g、40g、160g和130g,总质量减少趋势和蓝藻含量成负相关。处理1的TS、VS降解率和TOC降解率均不足处理2的1/2,总质量减少更是低于处理2的1/5,这些说明在厌氧发酵中,蓝藻的降解速度远远快于稻草,即使经过前期发酵处理,稻草的降解速率仍然比蓝藻要小得多;混合发酵过程中沼气的产生主要是通过接种物消化蓝藻而产生的。

表2 发酵前后各处理组的TS、VS和TOC值 (%)

处理	发酵前			发酵后		
	TS	VS	TOC	TS	VS	TOC
1	10.25	88.38	43.43	5.11	42.08	20.04
2	25.07	93.01	51.25	21.13	78.02	41.35
3	12.37	89.28	45.91	7.67	53.46	27.93
4	14.49	89.63	48.59	9.56	56.25	30.86

2.2 产气情况及分析

厌氧发酵历时42d,试验过程中沼气产量变化情况如图1所示。可以看出,处理3和处理4发酵启动相对较快,其中处理4启动最快,在发酵开始的第6天就进入快速产气期(由于发酵首日的非物料发酵产气影响因素较多,各处理的首日产气量均较高,次日均大幅回落,故首日产气量不用于产气高峰的比较和数据分析),产气量在第14天第1次到达高峰,单日产气量峰值达2.92L,容积产气率为1.17,持续时间15d;经短暂调整后进入第2次产气高峰,单日产气量峰值为1.32L,容积产气率为0.53,持续时间8d,产气高峰期的

累积产气量占总产气量的79.33%。处理3在发酵开始的第7天也开始快速产气,在第23天到达产气顶峰,单日产气量峰值为1.43L,容积产气率为0.57,持续时间29d,产气高峰期的累积产气量占总产气量的84.87%。处理1在发酵的第19天进入产气高峰,在第28天到达单日产气峰值,产气量达2.28L,容积产气率为0.91,产气高峰期持续时间为21d,产气高峰期的累积产气量占总产气量的87.52%。处理2在发酵过程中无明显产气高峰,单日最高产气量为0.89L,容积产气率为0.36。处理1进入产气高峰期的时间明显要比处理3和处理4慢,究其原因可能是蓝藻蛋白质含量较高,在厌氧发酵初期阶段产生大量铵抑制厌氧反应的进行,在微生物经过一段时间适应后,又重新加速厌氧分解过程,这和有关报道<sup>[15、16]</sup>一致。各处理中蓝藻含量与高峰期产气量占总产气量的比值呈正相关,均随蓝藻含量的升高而增大;除处理2外,各处理在产气高峰期的产气量占到整个产气周期的79%以上,而各处理在40d内产气高峰均已结束,说明在中温发酵条件下,经过40d的发酵,蓝藻和稻草厌氧发酵中其易分解物质大部分均已降解,验证了董诗旭<sup>[10]</sup>、崔志军<sup>[12]</sup>等研究结果,即在20℃以上的环境条件下,用蓝藻为原料进行厌氧发酵,1个月就能使其易生物分解的物质分解80%以上。

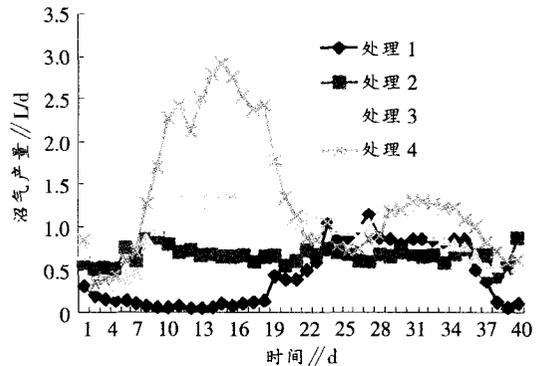


图1 不同处理沼气产量变化

2.3 不同处理产气量和产气潜力比较比较

由表3可以看出,处理2的TS和VS产气潜力最大,分别为638.05mL/g和668.98mL/g;处理1的TS和VS产气潜力最小,分别为352.31mL/g和381.59mL/g;处理3和处理4的TS和VS产气潜力居中,分别为428.88mL/g、454.88mL/g和562.37mL/g、573.35mL/g,各处理TS和VS产气潜力呈现随稻草含量升高而增加的趋势,究其原因可能是稻草中碳含量高于蓝藻,能为厌氧菌提供充足的碳源。经42d发酵处理1干物质产气176.68mL/g,处理2g干物质产气100mL/g,处理3g干物质产气162.97mL/g,处理4g干物质产气191.37mL/g,可见虽然蓝藻产气潜力不如稻草高,但是产气效率远高于稻草,但纯蓝藻的产气效率又不如蓝藻和稻草混合物,其原因可能和稻草难以厌氧发酵降解的特性<sup>[17]</sup>及各个处理的碳氮比有关。有关研究<sup>[18-19]</sup>表明,发酵原料的C/N是影响产气率的主要因子之一,合适的碳氮比对厌氧发酵有促进作用,发酵最适碳氮比为20~30;处理4的碳氮比为23.52,刚好在这个区域,而处理1、处理2和处理3碳氮比分别为6.01、67.31和14.77,所以处理4不仅发酵启动短,产气速度快,而且单位干物质的产气总量也大大提高,产期的均

匀性也比较好,这和高礼安等<sup>[20]</sup>的研究报道相符合。虽然处理1和处理2的碳氮比远离最适碳氮比,但它们最终也都能顺利启动厌氧发酵,说明碳氮比对发酵的影响不具有决定性作用,在发酵过程中微生物有自我调节作用,碳氮比不适只能延缓产气时间,降低发酵物间的协同作用。

表3 总产气量及产气潜力

处理	总产气量 L	干物质总量 g	TS产气潜力 mL/g	VS产气潜力 mL/g
1	36.22	205.00	352.31	381.59
2	27.66	275.77	638.05	668.98
3	40.32	247.40	428.88	454.88
4	55.46	289.80	562.37	573.35

### 3 结论与讨论

蓝藻是一种很好的厌氧发酵材料,目前有关蓝藻发酵的研究都是直接取自表层藻华,反应体系中的总固体含量一般在10%以下,而对堆积处理后的高浓度藻泥的干式发酵(总固体含量>10%)则没有相关研究。试验研究结果表明,高浓度藻泥可以直接作为干式发酵原料生产沼气。在不添加稻草的情况下,在35℃左右,接种物与藻泥的质量比为3:7时,蓝藻的TS产气潜力为352.31mL/g,VS产气潜力为381.59mL/g,产气高峰期沼气中甲烷的平均含量为67.25%。

为了消除蓝藻污染,在蓝藻暴发季节大量蓝藻被打捞起来,2007年仅太湖就打捞18万t蓝藻<sup>[21]</sup>,由于打捞蓝藻量过大,相应的藻华湿发酵装置不能及时处理,大量藻华被堆积于山坳等空地,经曝晒等最终形成藻泥。研究为这些藻泥的利用提供了一种简洁的干式发酵的处理方法,不仅有望解决堆积蓝藻的二次污染问题,而且蓝藻和稻草混合的干式发酵可以解决由于蓝藻的碳氮比过低造成湿发酵时蓝藻利用率偏低的问题,但如何经济、有效地获得大量藻泥还需进一步研究。另外,要真正实现沼气发酵以快速、大量、有效的处理蓝藻,还有一些技术问题需要解决,包括高效发酵装置的设计,经济、高效发酵工艺的建立,发酵的快速启动以及发酵残余物肥料化利用等。相信随着科学发展,利用生物技术提供的各种可能性,蓝藻发酵工作将会取得重大进展,蓝藻作为一种生物质必将发挥其巨大的潜力。

(上接第250页)

免雨滴击溅,增加土壤的抗侵蚀能力。在实施林草措施的同时,可采取接种VA菌根等微生物措施,能更有效地改良贫瘠的矿山土壤,促进林草的生长并提高土壤的抗侵蚀能力。

### 3.3 土壤压实问题

露天采矿使用大型开采及运输机械,重型运输汽车的载重量高达一二百吨,车轮碾压造成表层土壤的压实。压实土壤的容重可达1.49g/m<sup>3</sup>以上,坚硬的表面恶化了土壤的物理性状,给耕作和种植增加了难度,而且还造成地表径流的大量汇集,给水土流失创造了条件。国外利用深松机深松土壤,松土深度达到40cm以上,效果良好。另外,露天开采工艺、运输工艺和运输机械的改进也是减轻土壤压实的重要方面。

### 4 结语

露天矿土地复垦是一个涉及多学科、多约束条件的复杂

### 4 参考文献

- [1] 钱玉婷,常志州,王世梅,等.水华蓝藻酸解制备复合氨基酸液的研究[J].江苏农业学报,2008,24(5):706-710.
- [2] 杨苏,陈朝银,赵声兰,等.滇池蓝藻资源综合利用的研究进展[J].云南化工,2006,33(3):49-53.
- [3] 邵雪玲,佐藤,竹内昌昭.蓝藻 *Trichodesmium thiebautii* 细胞外多糖的抗癌活性[J].氨基酸和生物资源,2001,23(4):14-16.
- [4] 汪之和,施文正.蓝藻的综合开发利用[J].渔业现代化,2003(2):32-33.
- [5] 王景文.比利时蓝藻爆发防治和综合利用[J].全球科技经济瞭望,2007(12):52-53.
- [6] 孙世中,高天荣,徐锐,等.蓝藻泥和废弃烟叶混合制作有机肥料工艺优化[J].云南师范大学学报,2008,28(5):35-39.
- [7] 徐锐,高天荣,EVEN P,等.蓝藻沼气发酵产甲烷潜力测定[J].云南师范大学学报,2007,27(5):35-38.
- [8] 胡萍,严群,宋任涛,等.蓝藻与污泥混合厌氧发酵产沼气的初步研究[J].环境工程学报,2009,3(3):559-563.
- [9] 韩士群,严少华,王震宇,等.太湖蓝藻无害化处理资源化利用[J].自然资源学报,2008,23(6):942-949.
- [10] 董诗旭,董锦艳,宋洪川,等.滇池蓝藻发酵产沼气的研究[J].再生能源,2006(2):16-18.
- [11] 王震宇,韩士群,严少华,等.蓝藻厌氧发酵过程中若干指标的变化[J].江苏农业学报,2008,24(5):701-705.
- [12] 翟志军,马欢,李军,等.巢湖蓝藻产沼气的试验研究[J].安徽农业科学,2008,36(12):5084-5087.
- [13] 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测分析方法[M].北京:中国环境科学出版社,1989.
- [14] 中国科学院成都生物研究所.沼气发酵常规分析[M].北京:北京科学技术出版社,1981.
- [15] CHAMY R,POIRRIER P,SCHIAPPACASSE M C,et al.Effect of ammonia content in the biodegradability of the salmon industry wastes[J].Bioprocess Engineering,1998,19(1):1-5.
- [16] GALLERT C,BAUER S,WINTER J.Effect of ammonia on the anaerobic degradation of protein by a mesophilic and thermophilic biowaste population[J].Applied Microbiology Biotechnology,1998,50(4):495-501.
- [17] 何荣玉,闫志英,刘晓凤,等.秸秆干发酵沼气增产研究[J].应用与环境生物学报,2007,13(4):583-585.
- [18] 边义,刘庆玉,李金洋.玉米秸秆干发酵制沼气的试验[J].沈阳农业大学学报,2007,38(3):440-442.
- [19] HONGWEI Y,DAVID E. Anaerobic codigestion of algal sludge and waste paper to produce methane[J].Bioresource Technology,2007(98):130-134.
- [20] 高礼安,邓功成,赵洪,等.不同C/N对沼气发酵均匀性影响的研究[J].现代农业科技,2009(4):248-249.
- [21] 杨海麟,李克朗,张玲,等.蓝藻资源无害化利用技术的研究[J].生物技术,2008,18(6):95-99.

系统工程,在进行土地复垦的理论研究和工程实践中,应当从露天矿的土地复垦规划着手,对土地复垦工程进行系统地、综合地分析,并且要考虑到对土地复垦这一活动的监控,才能对矿区破坏的土地因地制宜、适时全面地进行土地复垦,实现矿区资源的可持续发展。

### 5 参考文献

- [1] 何绍华.浅谈露天煤矿的土地复垦[J].中国新技术新产品,2008(7):112.
- [2] 刘金辉.采煤塌陷区生态工程复垦规划设计[J].矿山测量,2000(1):44-45,27.
- [3] 潘元庆,刘晓丽,谷志云.矿山土地适宜性评价及复垦模式——以河南省重点煤炭基地土地复垦工程为例[J].国土资源科技管理,2007(4):112-116.
- [4] 张雪华.废弃金矿区生物工程复垦技术研究[J].苏州城建环保学院学报,2000,13(3):74-78.
- [5] 李国强,蒋雷,李荣.露天矿复垦技术措施[J].内蒙古水利,2007(1):55-56.