

热带农业废弃物资源及沼气利用

焦静 王金丽*, 邓怡国, 李明, 欧忠庆, 宋德庆 (中国热带农业科学院农业机械研究所, 广东湛江524091)

摘要 介绍了甘蔗叶、木薯渣、菠萝叶渣和香蕉茎秆等热带农业废弃物资源及利用现状。通过对这几种资源组成成分的分析, 确认利用它们进行沼气厌氧发酵的可行性。

关键词 热带农业废弃物; 干法厌氧发酵; 沼气

中图分类号 S216.4 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)30-13350-02

Tropical Agricultural Waste Resources and Use of Biogas

JIAO Jing et al (Agricultural Machinery Institute of Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Zhanjiang, Guangdong 524091)

Abstract Several kinds of tropical agricultural waste resources and current situation such as sugarcane leaves, cassava dregs, slag of pineapple leaf and banana stem were introduced. The feasibility of biogas anaerobic fermentation was affirmed based on the analysis of composition of these kinds of resources.

Key words Tropical agricultural waste; Dry anaerobic fermentation; Biogas

农业废弃物是指在整个农业生产过程中被丢弃的有机类物质, 主要包括农业生产和加工过程中产生的植物残余类废弃物、动物残余类废弃物和农村城镇生活垃圾等^[1]。在我国华南等热带地区, 由于具备良好的光、热、湿等自然气候条件, 农作物种类丰富, 造就了丰富的热带农业废弃物资源, 比较典型的如甘蔗叶、甘蔗渣、木薯渣、香蕉假茎等。绝大多数农业废弃物均含有未被分解的碳水化合物、脂肪、蛋白质、糖类物质。这些物质有利于细菌的生长, 如被随意丢弃或者排放到环境中, 不仅给热带农业产地带来极大的危害, 而且对整个生态环境造成不利的影响。另一方面, 大多数农业废弃物属可再生资源, 通过科学处理可转变成为饲料、肥料及能源。因此, 解决好热带农业废弃物的利用问题, 无论是对改善热带地区农村生态环境, 还是对保持热带农业的可持续发展都有至关重要的意义。

1 热带农业废弃物资源及利用技术

我国海南、广东、云南、广西和福建南部及贵州、四川南端的河谷地带以及台湾等省区属于热带和南亚热带区域, 面积约48万km², 热带作物、经济作物种类繁多。这些作物的茎、叶及加工副产品大多成为废弃物资源。其中有些资源已得到一定的开发利用, 如剑麻叶渣用来提取皂素, 甘蔗渣用于造纸等, 但仍有许多热带农业废弃物资源有待开发利用。下面介绍几种比较大宗的有开发价值的热带农业废弃物资源。

1.1 甘蔗叶 甘蔗是热带地区的主要经济作物之一, 我国种植面积为120万hm²。甘蔗叶是甘蔗收获后的剩余物, 一般占甘蔗产量的12%~20%^[2]。年废弃甘蔗叶总量2700万t, 具有产量大、产地集中、易于收购、成本低等特点, 而且营养价值高。目前绝大多数甘蔗叶被就地焚烧, 除了造成严重的空气污染外, 还造成极大的安全隐患。

据报道, 甘蔗叶经氨化处理, 其粗蛋白质含量增加, 适口性提高, 贮存时间延长^[3]。氨化甘蔗叶饲喂山羊采食量增加、日增重提高, 且饲喂后山羊毛色亮泽、皮肤弹性好、羊肉

品质提高。利用甘蔗叶作青粗饲料, 不但可解决养羊越冬渡春青饲料不足的矛盾, 而且节约粮食, 是一种发展养羊业很好的饲料资源。此外, 就地将砍收后的甘蔗叶堆积沤制还田, 可提高蔗地肥力, 满足甘蔗生长对养分的需求, 实现高产、稳产。甘蔗叶还可用来制浆造纸, 尤其适用于生产纸板。此外, 利用甘蔗叶提取多糖, 在80℃、浓度95%乙醇沉淀的条件下多糖提取率达到1.34%。

1.2 木薯渣 我国木薯种植面积约60万hm², 总产量1100万t, 大部分直接用于加工淀粉和酒精。从2005年开始, 我国已成为世界第一大木薯进口国。木薯渣是提取淀粉后的下脚料混合物, 其主要成分为粗纤维。木薯渣价格低廉, 来源广, 营养丰富, 有毒、有害物质含量低。目前, 全国有木薯淀粉和酒精加工厂200多家, 每年可产约9.25万t木薯渣(干物质计)^[4-5]。

以前, 国内外对木薯渣的研究多在利用其生产单细胞蛋白和酒精等方面。近几年, 新饲料资源的开发与利用越来越受到人们的重视, 木薯渣作为饲料原料的研究也成为一项重要课题。木薯渣经加工可生产出良好的木薯渣饲料, 既可减轻对环境的污染, 又能极大地缓解饲料资源紧张的状况, 并可降低饲料成本, 提高养殖业经济效益, 具有很大的发展潜力。谢文伟等还将木薯渣经羧甲基化制得的羧甲基纤维素用作硅酸盐保温涂料的黏合剂, 其性能指标良好, 成本低廉, 是综合利用木薯渣、消除环境污染的一条新途径^[6]。

1.3 菠萝叶渣 我国是世界菠萝生产大国, 种植面积达7万hm², 年废弃菠萝叶总量1000万t。叶片中所含纤维是一种优质的天然纺织原料。在加工提取该纤维时, 1t菠萝叶片可以产生0.7t叶渣, 叶渣呈粉碎状, 含有丰富的碳水化合物, 营养物质含量丰富。

目前, 叶渣主要用来制作饲料、有机肥, 提取菠萝蛋白酶等。菠萝叶渣经过青贮或氨化等处理, 可制成一种成本低廉、适口性好的饲料, 有效解决我国热带地区菠萝种植区牧草、饲料不足的问题, 促进热带地区畜牧业的发展。中国热带农业科学院农业机械研究所正在进行菠萝叶渣饲料的开发研究工作。用菠萝叶渣饲料进行喂养奶牛的初步试验, 取得了较好的效果, 奶牛的产奶量提高9.7%, 牛乳比重提高到26.8°以上^[7]。此外, 菠萝叶渣中含有特殊的物质。经初步试验, 发现这种物质对蔬菜的某些病害具有一定的防治效果,

基金项目 国家科技支撑计划(2006BAD07A02-4); 中国热带农业科学院重点学科建设项目。

作者简介 焦静(1983-), 女, 陕西蒲城人, 硕士, 研究实习员, 从事热带农业废弃物利用方面的研究。* 通讯作者。

收稿日期 2008-07-25

即用沤制的菠萝叶渣作肥料可防治蔬菜病害。这对发展我国绿色食品事业将具有十分重要的意义。

1.4 香蕉茎秆 我国香蕉茎秆资源丰富。据有关统计,2005年我国香蕉收获面积为27.4万hm²,每生产1hm²香蕉可产生600~900t茎秆^[8]。与其他农作物秸秆相比,香蕉茎秆中无氮浸出物含量丰富,粗纤维含量低,营养价值和能量高,在堆制有机肥料、开发新型饲料、栽培食用菌、造纸等行业都有着巨大的应用潜力^[9]。

将香蕉茎叶残体与微生物肥料堆制成有机肥,并用于香蕉有机生产,可增加土壤有机质及N、P、K等元素的含量,改善土壤理化性状,促进香蕉根的生长,增强植株抗病力。以香蕉茎为主要原料生产菌体蛋白饲料添加剂,试验表明饲喂后鸡和猪的免疫力增强,发育提前,生长速度加快,可代替10%~25%的进口饲料^[10]。香蕉茎叶发酵后栽培食用菌,既为香蕉茎叶找到了出路,又解决了以前依赖木屑、蔗渣栽培食用菌的问题。香蕉假茎中含丰富的K、Ca、Fe等元素,对高血压、心血管疾病的防治有一定的帮助。香蕉叶梢中含良好的纤维,可作为造纸和制板甚至纺织纤维原料。

2 热带农业废弃物资源沼气利用

2.1 沼气干发酵技术 沼气干发酵是以固体有机废弃物为原料(总固体含量在20%以上),利用厌氧菌将其分解为CH₄、CO₂、H₂S等气体的发酵工艺^[11]。与湿发酵相比,主要优点是节约用水,节省管理沼气池所需的工时,池容产气率较高,缩小池体积,污染物排放少等^[12]。20世纪80年代后建立的消化工艺过程多是干法发酵工艺。

20世纪80年代起我国对沼气干发酵工艺进行较全面的研究,包括发酵装置、发酵工艺、发酵原料、发酵菌种及发酵生产性试验等,都取得了一定成果。目前,该工艺主要应用在小型沼气发酵工程上,对大型规模化沼气干发酵技术还在进一步研究、完善和试验中。而国外的沼气干发酵技术比较成熟。德国、法国、荷兰、瑞典等国已将沼气干发酵技术应用于规模化沼气生产中,所生产的沼气主要用来发电或作燃料。这不仅使大量城市垃圾及农业废弃物资源得到充分利

用,而且使当今能源化危机得到有效缓解。

2.2 可行性分析 原料是沼气微生物赖以生存和产生沼气的物质基础。按营养成分,分为富氮原料如人、畜和家禽粪便,富碳原料和其他原料。富碳原料通常指秸秆等农作物的残余物。这类原料富含纤维素、半纤维素、果胶以及难降解的木质素和植物蜡质,干物质含量高,质地疏松,比重小,厌氧分解慢,产气周期长。目前,对我国大宗粮食作物秸秆沼气开发已经有较多研究,利用玉米秆、稻草、麦秸为原料生产的沼气技术和方法已经成熟。与此相比,热带地区的甘蔗叶、木薯渣、菠萝叶渣及香蕉茎秆渣中也含有沼气发酵所需的成分,也是良好的发酵原料。

由表1可知,这几种热带农业废弃物资源纤维素含量高,是优良的富碳原料,特别是甘蔗叶,纤维素含量高达52.30%。欧忠庆等研究表明,在常温(27~35℃)下进行沼气湿发酵,香蕉茎秆渣每克干物质可生产沼气0.273L,产气高峰期为投料后3~5d,期间产气量占整个产气周期产气量的39.36%;菠萝叶渣每克干物质的产气量为0.364L,投料后3日内产气量占整个产气周期产气量的59%。由此可知,这2种渣都是良好的沼气发酵原料,产气速率较快,产气效果也较好^[8]。所以,热带农业废弃物干法厌氧发酵沼气是可行的。几种热带农业废弃物沼气年产量估算见表2。

表1 热带农业废弃物资源的主要成分

Table 1 The main components of tropical agricultural waste resources %

原料 Raw material	水分 Water	灰分 Ash	总氮 Total nitrogen	总碳 Total carbon	纤维素 Cellulose
甘蔗叶 Sugarcane leaves	13.24	5.03	0.43	64.20	52.30
木薯渣 Cassava dregs	64.32	2.28	0.25	27.00	11.04
菠萝叶渣(干样) Sag of pineapple leaf (dry sample)	-	-	1.26	51.67	28.83
香蕉茎秆渣(干样) Sag of banana stem (dry sample)	-	-	1.46	46.87	30.22
玉米秸秆 ^[13] Corn stalk	14.50	4.42	0.49	54.19	40.70

表2 几种热带农业废弃物资源沼气产量估算

Table 2 Gas production estimation of several tropical agriculture waste resources

原料 Raw material	总固体含量 % Total solid content	资源量 ×10 ⁴ t Resource quantity	产气率 m ³ /t Gas production rate	产气量 ×10 ⁶ m ³ Gas production
甘蔗叶 Sugarcane leaves	87	27.00	400	9 396.00
木薯渣 Cassava dregs	36	0.26	200	18.72
菠萝叶渣 Sag of pineapple leaf	22	7.00	364	560.00
香蕉茎秆渣 Sag of banana stem	5	133.00	273	1 815.00

2.3 主要工艺控制措施 以热带农业废弃物资源为原料进行沼气干法厌氧发酵,其原料具有纤维素含量高、总碳含量高、酸度高及水分含量高等特点。为了保证沼气干发酵启动顺利、运行正常,需要严格控制工艺条件。

针对发酵原料纤维素含量高这一特点,可以对原料先进行预处理,即好氧发酵。将原料自然堆沤,堆沤后纤维素变松散,扩大纤维素分解菌与纤维素的接触面,大大加速纤维素的分解速度,加速沼气发酵过程。甘蔗叶这类叶片较长的原料,还要先切断成3~5cm小节,再进行预处理,以便使好

氧发酵更快、更充分。

甘蔗叶、木薯渣、菠萝叶渣和香蕉茎秆渣都是优良的富碳原料,总碳含量很高。正常的沼气发酵要求合适的碳氮比,一般以(20~30):1较为适宜。原料的碳氮比过高,发酵就不易启动,而且影响产气效果,因此,应与含氮量较高的原料配合,以降低原料的碳氮比。一般,可添加适量的碳酸氢铵等氮肥,或与畜禽粪便混合发酵,以补充氮素。

一般情况下,产甲烷菌适宜的pH值为6.5~7.8,过酸或

(下转第13405页)

根据相似区第2阶段的产量推求项目区第2阶段未成立协会情况下的产量。

根据第1阶段各种作物的单产情况,画出单产散点图,确定出回归方程,再根据第2阶段相似区的各作物平均产量 X_q ,推求第2阶段受益灌区在假设未成立协会情况下各作物的平均产量 Y_{q1} ,具体计算结果见表2。 Y_{q2} 为第2阶段受益区各作物的实际年均产量。

表2 灌区主要作物产量计算结果

Table 2 The calculation results of the yield of main crops in the irrigated area

作物种类 Crop species	回归方程 $y_q = c + dx_q$ Regression equation	X_q kg/hm ²	Y_{q1} kg/hm ²	Y_{q2} kg/hm ²
水稻 Rice	$y_q = 214.46 + 0.62x_q$	7 655.40	7 963.20	8 575.35
小麦 Wheat	$y_q = -10.36 + 1.12x_q$	3 122.85	3 342.15	4 023.30
玉米 Maize	$y_q = 34.18 + 0.91x_q$	4 714.20	4 807.05	5 702.55
油料 Oil crop	$y_q = -7.64 + 1.17x_q$	2 345.10	2 629.20	3 537.75

通过调查统计,受益灌区多年主要作物的价格 p_i 分别为:水稻1.60元/kg、小麦1.25元/kg、玉米1.10元/kg、油菜2.40元/kg。

$$P = Y_2 - (Y_1 + Q) = Y_{q2i} \cdot p_i - Y_{q1i} \cdot p_i = 85\,311.64 \text{ (元)}$$

受益灌区第1阶段各作物的年均产量分别为:水稻

(上接第13351页)

过碱都会影响产气。但是在启动阶段,甲烷菌比较少,活性低,容易造成酸的积累,而且大部分热带农业废弃物资源为酸性原料,比如菠萝叶渣pH值为3.5,香蕉茎秆渣pH值为4.5~5.5,因此应调节原料的酸碱度,通常添加适量的澄清石灰水或草木灰来中和有机酸。

新鲜的木薯渣、菠萝叶渣和香蕉茎秆渣中水分含量都很高,如果直接用来发酵,则发酵液浓度过稀,有机物含量少,沼气发酵细菌数量少,产气量也少。干法发酵要求总固体含量在20%以上,因此,应对原料进行脱水处理,一般采用自然风干法或者机械脱水法,使原料达到半干状态。

3 结语

长期以来,由于缺乏足够的重视,我国热带农业废弃物资源的综合利用率十分低下,相关技术还有待进一步研究。沼气干法发酵技术能够保证热带农业废弃物在干物质浓度较高的情况下正常发酵,产生清洁能源,基本上达到零排放,符合我国热带农村地区对优良环境、清洁能源的需求,也是发展现代热带农业、提高经济效益、实现可持续发展和循环农业的需要。但干法厌氧发酵工艺系统控制相对困难,需要

487.45 kg、小麦198.58 kg、玉米284.43 kg、油菜189.97元/kg。如果不使用效益分离模型,按照传统的指标计算方法,即简单的2个阶段的实际产量相减作为增产量,则得到的增产效益为:

$$P = 125\,393.04 \text{ (元)}$$

结算结果表明,使用效益分离模型计算得到的效益值比传统计算方法减少幅度为31.96%,计算精度得到有效提高。

3 结语

使用效益分离模型计算出的增产效益要小于传统方法的计算结果,这主要是由于传统方法的结果并不纯粹反映管理效益,实际上包含了原有因素的效益在第2阶段出现的增量,而效益分离模型的核心便是剔除原有因素的干扰和影响,实现了单独精确的测量用水户协会的管理效益。由此说明用水户协会管理效益分离模型对于用水户协会管理效益指标的计算精度起到了提升作用。

参考文献

- [1] 郭善民. 灌溉管理制度改革问题研究——以皂河灌区为例[D]. 南京: 南京农业大学, 2004.
- [2] 穆贤清. 农户参与灌溉管理的制度保障研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2004.
- [3] 张陆彪, 刘静, 胡定寰. 农民用水协会的绩效与问题分析[J]. 农业经济问题, 2003(2): 29-34.
- [4] 李可. 自主管理灌排区的运行机制及其绩效分析[D]. 郑州: 河南农业大学, 2004.
- [5] 何淑媛. 农业节水综合效益评价指标体系与评估方法研究[D]. 南京: 河海大学, 2005: 34.

有针对性地进行深入研究。这对推动我国生物质能产业发展具有重要意义。

参考文献

- [1] 孙永明, 李国学, 张夫道, 等. 中国农业废弃物资源化现状与发展战略[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 169-173.
- [2] 李茂植. 甘蔗叶沤制还田试验[J]. 广西热带农业, 2004(6): 13.
- [3] 江明生. 甘蔗叶氨化及饲喂山羊技术[J]. 中国农村科技, 2004(2): 38.
- [4] 刘慧. 发展木薯产业开辟能源新领域[J]. 经济日报, 2007-12-15(003).
- [5] 郝静, 刘钢, 左福元. 木薯渣的饲用价值及应用[J]. 饲料研究, 2007(11): 64-66.
- [6] 谢文伟, 赵宁, 孙一峰. 木薯渣综合利用研究[J]. 农牧产品开发, 1999(10): 10-11.
- [7] 连文伟, 张劲, 李明福, 等. 菠萝叶渣青贮饲料饲喂奶牛对比试验[J]. 热带农业工程, 2003(4): 23-25.
- [8] 欧忠庆, 张劲, 邓干然, 等. 香蕉茎秆渣和菠萝叶渣沼气利用效果及经济效益浅析[J]. 中国热带农业, 2007(2): 62-63.
- [9] 韩丽娜, 李建国. 香蕉茎叶残体综合利用研究进展[J]. 福建果树, 2006(1): 18-20.
- [10] 黄晓亮, 黄银姬. 不同处理方式对青贮香蕉茎叶营养成分的影响[J]. 饲料博览, 2007(19): 53-55.
- [11] 李想, 赵立欣, 韩捷, 等. 农业废弃物资源化利用新方向——沼气干发酵技术[J]. 中国沼气, 2006, 24(4): 23-27.
- [12] 曲静霞, 姜洋, 何光设, 等. 农业废弃物干法厌氧发酵技术的研究[J]. 可再生能源, 2004(2): 40-41.
- [13] 边义, 刘庆玉, 李金洋. 玉米秸秆干发酵制取沼气的试验[J]. 沈阳农业大学学报, 2007, 38(3): 440-442.