



新农村建设丛书

丛书主编：袁隆平院士 官春云院士

农村户用沼气及其综合利用

陶学军 施 骏 编著



● 新农村建设丛书 ●

农村户用沼气及其综合利用

编 著 陶学军 施 骏

中国三峡出版社农业科教出版中心

图书在版编目(CIP)数据

农村户用沼气及其综合利用 / 陶学军, 施骏等著. — 北京: 中国三峡出版社, 2008. 9

(新农村建设丛书 / 袁隆平, 官春云主编)

ISBN 978 - 7 - 80223 - 213 - 6

I. 农… II. ①陶…②施… III. ①农村—甲烷—生产—基本知识 ②农村—甲烷—利用—基本知识 IV. S216.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 052798 号

责任编辑: 周 娜

中国三峡出版社农业科教出版中心

(北京市西城区西廊下胡同 51 号 100034)

联系电话: (010)66112758; 66116828

<http://www.e-zgsx.com>

E-mail: sanxianongye@sina.com

北京通达诚信印刷有限公司印制 新华书店经销

2008 年 9 月第 1 版 2009 年 6 月第 2 次印刷

开本: 787 × 1092 1/32 印张: 4.875 字数: 101 千

ISBN 978 - 7 - 80223 - 213 - 6 定价: 9.80 元



丛书主编 袁隆平院士

袁隆平 中国工程院院士，杰出水稻育种家，联合国粮农组织首席顾问。现任国家杂交水稻工程技术研究中心暨湖南杂交水稻研究中心主任、研究员、博士生导师，兼湖南省农业科学院名誉院长、清华大学教授及湖南农业大学教授。

袁隆平是我国研究与发展杂交水稻的开创者，也是世界上第一位成功利用水稻杂种优势的科学家。他率先育成第一个实用的水稻雄性不育系及其保持系二九南1号A和B，实现“三系”配套，并育成第一个强优组合，继而又攻克杂交水稻制种与高产的关键技术，被誉为“杂交水稻之父”。他的这一重大成果的推广应用，使水稻的单产和总产都跃上了一个新台阶，为保障我国及世界粮食安全作出了重大贡献。1981年获得我国第一个技术发明特等奖，2001年获得首届中国国家最高科学技术奖；还相继获得联合国教科文组织“科学奖”、美国“世界粮食奖”等十多项国际奖。1999年，经国际小天体命名委员会批准，以袁隆平的名字将国际永久编号为8117号小行星命名为“袁隆平星”，以纪念他为人类作出的杰出贡献。



丛书主编 官春云院士

官春云 中国工程院院士，湖南农业大学教授、博士生导师。现任国际油菜咨询委员会(GCIRC)委员，国家油料改良中心湖南分中心主任，作物基因工程湖南省重点实验室主任，中国作物学会常务理事，国家科技进步奖评审委员会委员等职。是国家有突出贡献专家，教育系统劳动模范，享受政府特殊津贴。长期从事油菜育种栽培教学科研工作，育成优质油菜良种15个，推广面积1.5亿多亩；获国家科技进步二等奖1项，三等奖2项，省部级科技进步一、二等奖4项。提出油菜冬发栽培理论和技术体系，促进了长江中游地区的油菜高产。根

据光温生态特性，将油菜分成四大类型，即冬油菜有冬性-弱感光型、半冬性-弱感光型、春性-弱感光型；春油菜仅有春性-强感光型。创建油菜化学杀雄利用杂种优势新体系。育成转基因油菜品系3个。采用分子育种方法育成黄籽高油酸油菜品系、高抗菌核病品种各1个。出版专著9部，发表论文120多篇，为油菜育种栽培理论发展和生产实践作出了突出贡献。

《新农村建设丛书》

编辑委员会

主 编：袁隆平 官春云

副主编：王慧军 王思明 李付广 张云昌

策划、执行主编：冯志杰

编 委：（以姓氏笔画为序）

马文晓	马国辉	石文川	史跃林
吕建华	朱永和	刘庆昌	刘忠松
兴连娥	许 英	许尚忠	邢朝柱
李亚东	李存东	吴 琪	宋德友
辛业芸	汪炳良	陈秀兰	郑彦平
孟昭东	赵政文	钟国跃	侯乐峰
郭书普	郭庆法	曹立勇	曹红路
董金皋	惠富平	赖钟雄	蔡立湘

前 言

进入 21 世纪以来,我国更加重视充分合理地利用自然资源,持续稳定地发展农业生产,保护和改善生态环境。在农村发展沼气,就是以农村废弃的秸秆和人、畜粪便为原料,生产出高热值的气体燃料——沼气以及优质有机肥料——沼液、沼渣。通过以沼气池为纽带,发展养殖业和庭院经济,改善环境卫生,综合利用农业废弃物,变废为宝,增加农民收入,提高农民生活质量。因此,国家将沼气建设作为农村“六小”基本建设内容之一。

从 20 世纪 70 年代末起,我国推广农村沼气已有 20 多年的时间。在这期间,专业技术人员从沼气池建池材料、池型、发酵工艺、使用与维修技术、输配交流、灯炉具、沼液和沼渣的利用等方面做了许多研究,有了许多改进,使现有的技术更加方便建池、方便农户的使用与管理。例如改过去秸秆直接入池为过腹入池,省去了搅拌;克服了大出料的困难,采用抽粪器出料,减轻了农民日常出料的劳动强度,使农户用肥方便;“一池三沼”将厕所和猪圈的人、畜粪便自流进沼气池密封发酵,大大减轻肠道疾病的传染,改善了环境卫生;叶面喷施沼

液,既是肥料,又能防治疾病虫害;沼渣作基肥,能够提高作物产量和质量,还能够改良土壤;农户因地制宜,建立以沼气为纽带,带动各业发展的综合利用模式等等。

本书作者在借鉴过去一些技术资料的基础上,结合自己的工作体会,收入了近年来在实际推广沼气中一些好的做法,简要介绍了沼气基础理论和知识、建池技术、沼气池使用管理与维修、综合利用技术以及一些应用模式,力求语言通俗易懂,技工和农户易于掌握。本书承蒙首都师大周孟津教授给予审阅,在此谨表示谢忱!希望此书的出版能对沼气工作者,以及大技工、农户有所帮助,有所贡献,共同为生产发展、生活富裕、生态良好、实施可持续发展战略而努力。

由于水平和掌握的资料有限,错误和不足之处一定存在,恳请读者批评指正。

编 者

2007年10月26日

目 录

第一章	概述	(1)
第二章	制取沼气的条件	(3)
第三章	沼气池建池技术	(14)
第四章	沼气输配系统的安装与使用	(44)
第五章	沼气池的运行和日常管理	(59)
第六章	沼气池及配套设备的保养与维修	(68)
第七章	沼气的多种利用技术	(77)
第八章	沼肥的多种利用技术	(88)
第九章	沼渣沼液用作饲料的技术	(107)
第十章	沼渣沼液用作培养料	(121)
第十一章	沼渣沼液防治病虫害	(126)
第十二章	沼气、沼液和沼渣综合利用技术	(138)

第一章 概 述

沼气是各种有机物质(秸秆、人畜粪便、生活有机垃圾等)在一定的温度、浓度、酸碱度和厌氧条件下,经过微生物发酵分解产生的一种可燃性气体。由于这种气体最先在沼泽、池塘中发现的,所以称为沼气。

沼气发酵(又称厌氧消化、厌氧发酵或甲烷发酵)生产沼气是一个复杂的微生物学和生物化学过程,一般将其划分为产酸阶段和产甲烷阶段。产酸阶段:发酵原料中的淀粉、纤维素等糖类及脂肪酸、蛋白质等大分子物质在微生物分泌各种水解酶的作用下,转化成低分子化合物,以乙酸所占比例最大,约占80%,因此将这一过程称为产酸阶段。产甲烷阶段:发酵液中氨化细菌大量活动,为甲烷菌提供适宜的生存条件,甲烷菌将乙酸、丁酸、乙醇、氢和二氧化碳等低分子化合物转变为甲烷,可归纳为下式:

复杂有机物(碳水化合物、脂肪、蛋白质等)
细菌分泌的水解酶 $\rightarrow$ 低分子化合物(乙酸、丁酸、乙醇、二氧化碳、氢等) $\xrightarrow{\text{甲烷菌}}$ 甲烷等。

沼气发酵的两个阶段是相互依赖和连续进行的,发酵初期,以产酸阶段为主,产甲烷阶段为辅,接着两个阶段同时进行,到一定时期,保持一定的动态平衡,持续而正常的产气。如果发酵液中有机的浓度过高,产酸菌繁殖旺盛,产酸过快,就会造成

有机酸积累,使发酵液酸化,pH 值下降,产甲烷菌的活动受到抑制,打破产酸与产甲烷的速度平衡,导致沼气发酵过程失败。如果发酵液中有机物浓度过低,酸的生成满足不了产甲烷菌的需求,则会使沼气发酵的速度降低,减少沼气的产量。

兴建和使用户用沼气池,是人工制取沼气的方法之一。它是以农村生活和生产活动中的有机废弃物为发酵原料,下池发酵,制取沼气并取得大量的厌氧消化残留产物——沼液、沼渣。若进行科学利用,不仅可以改善庭园卫生,减少疾病,让农户用上优质燃料,而且,沼渣、沼液还可作为优质的有机肥料,饲料添加剂,提高农产品质量,保护生态环境。在生态农业建设中,能够起到植物生产、动物消化、微生物还原的生态循环链作用,使千家万户走上生产发展、生活富裕、生态良好的可持续发展道路

以沼气为纽带的生物循环链示意图:(见图 1—1)。

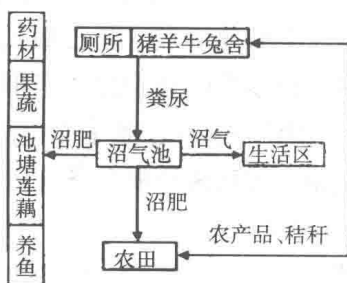


图 1—1 以沼气为纽带的生态循环链示意图

在一定的条件下,人工制取的沼气是一种可燃的混合气体,主要是甲烷(CH_4)、二氧化碳(CO_2)、还有少量的氮气(N_2)、一氧化碳(CO)、硫化氢(H_2S)、氧气(O_2),其中甲烷含量为60%左右。甲烷是一种优质气体燃料,热值为3.58兆焦/立方米,这种混合气体根据气体成分或原料来源可称为甲烷气或生物气,俗称为沼气,其热值为2.15兆焦/立方米。

第二章 制取沼气的条件

沼气是靠微生物的生命活动(不断的新陈代谢和生长繁殖),即将有机废物转化而成的结果,因此制取沼气就要满足微生物的生活条件。沼气发酵微生物需要的良好环境条件主要有:厌氧、合适的原料和适宜的浓度、适宜的温度、合适的 pH 值、良好的接种物、避免有毒物质等。只有具备这些条件,才能制取出沼气,并能获得较高的产气率,才能够早产气、多产气、产好气。

一、厌氧环境

生产甲烷的微生物都是厌氧性细菌,它们整个生命活动(包括生长、发育、繁殖、代谢等)都不需要氧气。甲烷菌对氧特别敏感,不能在有氧的环境中生存,哪怕存在微量的氧也会使发酵受阻。空气中的氧气会使这类细菌生命活动受到抑制,甚至死亡。有机物质经微生物分解,在有氧的情况下只产生二氧化碳,在无氧的情况下才产生甲烷。所以,厌氧消化不能有氧气或含有氧气的空气介入。沼气池必须是密封的,不漏水、不漏气,这是人工制取沼气的关键。

二、原料

(一) 原料的分类

自然界中的沼气发酵原料十分广泛和丰富,几乎所有的有

机物都可以作为沼气发酵原料。根据沼气发酵原料的化学性质和来源,可以分为以下 3 类:

1. 富氮原料

在农村主要是指人、畜、家禽粪便。这类原料颗粒较细,氮素含量较高,含有较多的易分解有机化合物,原料碳氮比(含碳量与含氮量的比,用 C/N 表示)一般小于 25 / 1,不必进行预处理,分解和产气速度较快,是我国农村沼气发酵原料的主要来源。它的特点是产气速度快,发酵周期短,一般在 30 ~ 60 天。“三结合”(即畜圈、厕所、沼气池三者有机地结合在一起)沼气池投入的原料基本上是富氮原料,由于经常进出料,克服了发酵周期短的缺陷,目前这种沼气池的使用效果较好。

2. 富碳原料

在农村主要是指农作物秸秆。这类原料是由木质素、纤维素、果胶等化合物组成,碳素含量较高,原料的碳氮比一般在 30 / 1 以上。入池前需进行堆沤等预处理,以提高产气效果,也是我国农村主要发酵原料之一。它的特点是产气速度慢,发酵周期长,一般约 90 天。

3. 其他类型发酵原料

①水生植物:水葫芦、水花生、水草、藻类等。这些符合纤维素的水生植物繁殖速度快,产量高,而且组织鲜嫩,易于被微生物分解利用,也是沼气发酵的好原料。

②城市有机废物:包括人粪、生活污水和有机垃圾、有机工业废水、废渣和污泥等。但由于来源不同,化学成分和生产沼气的潜力差异很大,户用沼气池在缺乏原料时,可以有选择的利用。

(二) 原料的配比

沼气细菌在发酵原料中吸取的主要营养物质是碳(C)元素和氮(N)元素,以及其它一些营养物质氢、硫、磷等元素。碳为沼气细菌提供能量;氮用于构成细胞。沼气细菌对碳素、氮素的需要量有一定比例,一般碳氮比为 20 : 1 ~ 30 : 1。如果发酵原料中碳素太多,氮被利用后,剩下过多的碳素容易造成有机酸大量积累,不利于沼气发酵。一般情况下,鲜粪和作物秸秆的重量比为 2 : 1。原料碳氮比较低,微生物在生长过程中就会将多余的氮素分解为氨而放出,使发酵液中构成碱度的物质 NH_4HCO_3 增加,可以提高发酵液的缓冲能力。在缺乏人畜禽粪便的地区,可在沼气池中加入发酵原料的 0.3% 以下的碳酸氢铵,或 0.1% 以下的尿素,能有效的提高产气率。

各种发酵原料所含的碳量和氮量是不同的,见表 2-1。

表 2-1 常用沼气发酵原料的碳氮比

发酵原料	碳素占原	氮素占原	碳氮比	产气潜力
	料重量 (%)	料重量 (%)		立方米 / 千克 干物质
干麦秸	46.0	0.53	87 : 1	0.45
干稻草	42.0	0.63	67 : 1	0.40
玉米秸	40.0	0.75	53 : 1	0.50
落叶	41.0	1.00	41 : 1	
大豆茎	41.0	1.30	32 : 1	
野草	14.0	0.54	27 : 1	0.44
鲜牛粪	16.0	0.55	29 : 1	
鲜牛粪	7.3	0.29	25 : 1	0.30
鲜马粪	10.0	0.42	24 : 1	0.34
鲜猪粪	7.8	0.60	13 : 1	0.42
鲜人粪	2.5	0.85	2.9 : 1	0.34
鲜人尿	0.40	0.93	0.43 : 1	
鸡粪	35.7	3.70	9.7 : 1	0.31

由表 2-1 可以看出,各种发酵原料的含碳量、含氮量、碳氮比及产气潜力是不同的,有的差距很大。

各种发酵原料的沼气产量,所产沼气中的甲烷含量,以及产气持续时间也是不同的。为了达到持久产气,并均衡产气的目的,在进料时应做到消化速度快的和消化速度慢的原料合理搭配。详见表 2-2。

表 2-2 常用发酵原料的产气量

发酵原料	每吨干物质产生的 沼气的量(立方米)	沼气中含甲烷量 %	产生持续时间 (天)
人粪	240	50	30
牲畜厩肥	260 ~ 280	50 ~ 60	
牛粪	280	59	90
马粪	200 ~ 300	60	90
猪粪	561	65	60
麦秸	432	59	
玉米秸	250	53	90
谷壳	230	62	90
青草	630	70	60
树叶	210 ~ 294	58	
废物污泥	640	50	
酒厂废水	300 ~ 600	58	

人畜禽粪便是产生沼气的主要原料。1 头猪、1 头牛、1 只鸡和 1 个人在 1 年中所排出的粪便能够产生沼气的数量见表 2-3。

表 2-3 人畜禽粪便的沼气产量

原料来源	日产鲜粪 (千克)	年产鲜粪 (千克)	干物质 含量(%)	年产干重 (千克)	实际沼气转换率 (立方米/千克)	年产沼气的量 (立方米)
人	0.25	91	20	18	0.30	5.4
猪	3.00	1095	28	306	0.25	78.6
出	15.00	5471	20	1095	0.19	208.0
鸡	0.10	36	30	11	0.25	2.7

不同的发酵原料产气速度也不同,见表 2-4。

表 2-4 几种常用有机物质的产气速度

发酵原料	正常产气期间的平均产气率 (立方米/立方米·天)	原料产气量 (立方米/千克)	产气速度(占总含量的%)			
			0 ~	15 ~	45 ~	75 ~
			15 天	45 天	70 天	135 天
牛粪	0.20	0.12	11	34	21	34
水葫芦	0.40	0.16	83	17	0	0
水花生	0.38	0.20	23	45	32	0
水浮莲	0.40	0.20	23	45	32	0
猪粪	0.30	0.22	20	32	25	23
干青草	0.20	0.21	13	11	43	33
稻草	0.35	0.23	9	50	16	25
人粪	0.53	0.31	45	22	27	6

注:发酵温度 30℃ 批量发酵。

三、浓度

沼气池内发酵原料的浓度,随季节的变化而要求不同。一般在夏季,发酵原料浓度可以低些,要求浓度不低于 6%;冬季浓度可以高一些,要求在 12% 左右。浓度太低时,发酵原料相应减少,会降低沼气池单位容积的沼气产量,不利于沼气池的充分利用;浓度太高时,不利于沼气细菌的活动,发酵原料不易分解,使沼气发酵受到阻碍,产气慢而少。

配置发酵原料时,要根据发酵原料的含水量和不同季节所要求的浓度,再加入一定量的水,使之达到合适的浓度,以充分地利用发酵原料和获得比较稳定的产气率。常用发酵原料含水量见表 2-5。

农村户用沼气池在投入发酵原料时,可以按以下比例配制:人粪便占投料的 10%,牲畜粪便、秸秆及青草类占投料的 40%,

水占投料的 50%。

表 2-5 常用发酵原料的含水量

发酵原料	含水量(%)	含干物质量(%)
干麦秸	18.0	82.0
干稻草	17.0	83.0
玉米秸	20.0	80.0
野(杂)草	76.0	24.0
鲜牛粪	83.0	17.0
鲜马粪	78.0	22.0
鲜猪粪	82.0	18.0
鲜人粪	80.0	20.0
鲜鸡粪	70.0	30.0
鲜人尿	99.6	0.4

发酵原料的浓度与发酵原料在池内停留的时间有密切关系。发酵原料在池内停留时间与发酵原料浓度的关系,可用下式表示:

$$\text{发酵原料停留时间} = \frac{\text{沼气池有效容积}}{\frac{\text{人畜粪便、作物秸秆等有机物质}}{\text{升/天}} + \text{配制水量(升/天)}}$$

由上式可以看出,在沼气池容积一定时,如果发酵原料在沼气池内停留的时间过短,表示发酵原料过稀,而未经发酵就被排出,这不但影响产气,还浪费了发酵原料;如果发酵原料在池内停留的时间过长,表示加水量太少,发酵原料过浓,使酸聚积过多,发酵受阻,产气率降低。

此外,在投入发酵原料时,还要注意以下几点:

- (1) 不能加入近期喷过农药的植物茎叶和秸秆。
- (2) 不能加入近期喷过农药的粪便。
- (3) 不能加入工业榨油剩余物,如豆饼类。

四、温度

在沼气发酵过程中,温度是影响沼气的产生和产气率高低的重要因素。当温度适宜时,产甲烷菌的生命力旺盛,发酵顺利进行,沼气产生得快,产气率也高。沼气发酵的温度范围较广,一般在 $8 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 条件下原料都能发酵产气。

根据发酵原料的性质、来源和数量,以及处理有机物质的目的、要求、用途和经济效益,通常把沼气发酵分为高温发酵、中温发酵和常温发酵三种类型。

1. 高温发酵

高温发酵的温度范围是 $45 \sim 60^{\circ}\text{C}$,最适宜的温度为 $47 \sim 55^{\circ}\text{C}$,产气率为 $2 \sim 2.5$ 立方米/立方米·天。主要用于食品、酿造、发酵等工业生产排出的有机废水、废渣、糟液等。

2. 中温发酵

中温发酵的温度范围是 $20 \sim 45^{\circ}\text{C}$,最适宜温度为 $30 \sim 35^{\circ}\text{C}$,产气率为 $1 \sim 1.5$ 立方米/立方米·天。适用于处理城市污泥、工业有机废水废物、大中型农牧场的牲畜粪便等。

以上两种类型,一般都需要设置供热和热交换系统、搅拌设备等,整个发酵装置造价较高。经济效益好的家庭农牧场沼气发酵装置可以采用高、中温发酵工艺。

3. 常温发酵

常温发酵的温度范围是 $8 \sim 20^{\circ}\text{C}$,适宜温度为 $10 \sim 20^{\circ}\text{C}$,平均产气率为 0.2 立方米/立方米·天。沼气池内发酵液的温度随季节气温的变化而改变。目前,农村户用沼气池都属于常温发酵类型,又可称为自然发酵或变温发酵。

采用常温发酵的沼气池,1月份气温最低,产气率为 $0.08 \sim 0.1$ 立方米/立方米·天。7月份气温最高,产气率可达 $0.2 \sim$