



COUNTRYSIDE

农村沼气技术与建设

COUNTRYSIDE METHANE TECHNOLOGY AND CONSTRUCTION

徐立明 王传秋 杨 瑞 主编

METHANE

CONSTRUCTION

中国农业科学技术出版社

农村沼气技术与建设

COUNTRYSIDE METHANE TECHNOLOGY AND CONSTRUCTION

徐立明 王传秋 杨 瑞 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

农村沼气技术与建设/徐立明, 王传秋, 杨瑞主编.
—北京: 中国农业科学技术出版社, 2008.1
ISBN 978-7-80233-340-6

I. 农… II. ①徐…②王…③杨… III. 农村-甲烷-综合利用 IV. S216.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 104171 号

责任编辑 李 芸 贺可香
责任校对 贾晓红

出 版 者 中国农业科学技术出版社
北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081
电 话 (010) 68919709 (编辑室) (010) 68919704 (发行部)
(010) 68919703 (读者服务部)
传 真 (010) 68919709
网 址 <http://www.castp.cn>
经 销 者 新华书店北京发行所
印 刷 者 泰安农大印刷有限公司
开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16
印 张 11
字 数 262 千字
版 次 2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷
定 价 19.50 元

《农村沼气技术与建设》编委会

顾 问:赵玉海 樊庆光 赵玉堂 张 勤

主 编:徐立明 王传秋 杨 瑞

副主编:卢俊英 马建国 潘春云

编 者:徐延熙 张 东 王 勇 田 伟 刘 倩

宋 双

主 审:刘德金 段振峰 宋月贞

前 言

为了应对能源短缺对经济社会发展和现代化进程形成的瓶颈制约,党中央提出能源资源新战略,鼓励发展新能源和可再生能源,提倡废弃物的减量化、资源化、无害化和生态化,进而满足人们世代对能源的需求。开发沼气,变畜禽粪便、秸秆、杂草等有机废弃物为清洁能源,符合这一要求。将农村沼气建设与农户住宅、厨房、厕所、畜禽舍、庭院环境卫生等结合起来,与种植业和养殖业结合起来,促进农户生产与生活、农田与庭院的紧密联系和良性循环,实现农村“臭气变沼气、污水变净水、垃圾变肥料、蚊声变鸟鸣、旧貌换新颜”,最终达到家居温暖清洁化、庭院经济高效化和农业生产无害化的目标是实施“生态家园富民计划”的重要内容。当今,农村沼气建设已经成为农业可持续发展的重要组成部分,也成为社会主义新农村建设的切入点和突破口。发展农村沼气,有利于发展循环经济,保护和改善生态环境;有利于促进农业结构调整,增加农民收入;有利于整治农村卫生环境,推动村镇文明进步,具有显著的经济效益、社会效益和生态效益。

加强农村沼气技术推广、推进农村沼气建设,离不开各级管理干部和基层沼气技术人员以及广大农民群众的努力工作和积极参与。不断提高相关人员的科学技术知识及业务水平,是促进农村沼气事业健康发展的重要保证。为了适应实际工作的需要,加强对基层的指导和服务,我们组织编写了《农村沼气技术与建设》一书,旨在为各级管理干部、基层沼气技术人员以及农村沼气用户发展、利用沼气提供一些有益的参考和帮助,为推动农村沼气建设尽一份绵薄之力。全书共包括绪论、沼气发酵原理、沼气发酵的生物化学、沼气发酵工艺学、沼气池的设计施工与检查维修及参考资料等五章六部分,系统地阐述了农村沼气建设的理论知识、操作技术和实用工艺,并对各地沼气建设的典型经验和相关国家标准等进行了介绍,希望能为广大读者提供一个学习交流和提高的机会。

本书在编写的过程中,引用和借鉴了部分专家学者的相关文献,吸纳和采用了一些科研单位的试验资料,在此一并表示感谢。同时,我们结合具体的工作实践,在一些内容上进行了深入浅出的阐述和分析。由于编者水平所限,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请广大读者提出批评指正,不吝赐教。

编 者

2007年6月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 农村沼气建设的作用	(3)
一、节约矿质能源消耗,改变农村能源结构	(4)
二、改善农业循环系统,促进农业生产发展	(4)
三、改善农村卫生,保护和净化环境	(5)
四、促进生态农业建设,增加农民收入	(5)
第三节 我国农村沼气建设的主要经验	(16)
一、从我国农村实际出发,因地制宜,讲究实效	(17)
二、制定和实行正确的经济政策,把国家、集体和个人三者利益统一起来	(18)
三、沼气建设必须与国民经济发展要求相适应	(18)
四、沼气建设必须有一支忠于事业、热心服务、技术过硬的专业队伍	(18)
五、必须处理好巩固与发展的关系	(19)
第二章 沼气发酵原理	(20)
第一节 沼气发酵微生物简述	(20)
第二节 不产甲烷微生物的类群及作用	(22)
一、不产甲烷微生物的种类和数量	(23)
二、不产甲烷微生物及其作用	(25)
第三节 产甲烷微生物的类群及作用	(28)
一、生命的第三种形式	(28)
二、产甲烷菌的形态和分类	(28)
第四节 沼气微生物之间的相互作用	(31)
一、不产甲烷菌与产甲烷菌之间的相互关系	(31)
二、不产甲烷菌与产甲烷菌种间的氢转移	(32)
三、不产甲烷菌与产甲烷菌间的抑制	(34)
第五节 沼气发酵微生物的分离培养法	(35)
一、产甲烷菌的分离培养方法	(35)
二、其他厌氧菌的分离培养方法	(39)
第三章 沼气发酵的生物化学	(43)
第一节 沼气发酵的生物化学过程	(43)
一、有机物沼气发酵的三个阶段	(43)
二、液化阶段与沼气发酵速度	(44)

三、沼气发酵三个阶段的关系及环境变化的影响	(44)
第二节 沼气发酵的特点	(45)
一、沼气微生物自身耗能少	(45)
二、沼气发酵可处理高浓度的有机物	(46)
三、沼气微生物对营养要求低,可处理的废弃物种类多	(46)
四、沼气发酵受温度影响大	(46)
五、发酵终极气体产物易与发酵液分离	(47)
第三节 复杂有机物的分解代谢	(47)
一、复杂有机物的分解代谢途径	(47)
二、有机物分解代谢产生甲烷的数量计算和估算	(49)
三、复杂有机物的分解代谢	(50)
第四节 甲烷的形成及相关研究理论	(55)
一、甲烷形成的研究理论	(55)
二、产甲烷菌利用的基质	(57)
三、与甲烷形成相关的几种物质	(57)
第四章 沼气发酵工艺	(59)
第一节 沼气发酵的工艺条件与控制	(59)
一、适宜的发醇温度	(59)
二、充足的发醇原料(营养物质)	(60)
三、合适的沼气池负荷	(61)
四、适当的酸碱度(pH 值)	(62)
五、质优量多的沼气发醇接种物(菌种)	(62)
六、严格的厌氧环境	(63)
七、有效的搅拌	(63)
八、适宜的发醇液碱度	(64)
九、添加剂和抑制剂	(65)
十、适宜的池内气体压力	(66)
第二节 沼气发醇工艺类型	(67)
一、按温度划分的沼气发醇类型	(67)
二、按发醇方式划分的沼气发醇工艺类型	(69)
三、按发醇级差划分的沼气发醇工艺类型	(70)
四、其他沼气发醇工艺类型	(71)
第三节 农村沼气发醇的技术与操作	(72)
一、常用发醇原料的产气特性	(72)
二、发醇原料的选择和计算	(73)
三、发醇原料的预处理	(75)
四、发醇原料的配制	(76)
五、添加接种物	(80)
六、气体收集使用	(80)
七、发醇原料的补充	(80)

八、发酵料液的出料(或排放)	(80)
第四节 沼气的安全生产	(81)
一、拌料接种	(81)
二、入池堆沤	(81)
三、加入封池	(81)
四、放气试火	(82)
五、日常管理	(82)
六、安全发酵	(83)
七、安全管理与安全用气	(83)
八、沼气池的安全维修	(84)
九、沼气窒息中毒后的抢救	(84)
十、沼气烧伤的急救处理	(85)
第五章 沼气池的设计施工与检查维修	(87)
第一节 沼气池的设计	(87)
一、沼气池的分类	(87)
二、沼气池的设计原则	(90)
三、沼气池发酵工艺参数	(90)
四、沼气池设计的其他参数	(91)
第二节 沼气池的施工	(91)
一、土方工程	(92)
二、地下水处理	(93)
三、沼气池施工	(93)
四、沼气池的施工操作安全要求	(97)
第三节 沼气池的检查与维修	(97)
一、沼气池的验收和渗漏检查	(97)
二、沼气池的维修	(98)
第四节 沼气池管路、灯、炉具的安装及科学使用	(99)
一、配件的选择与安装	(99)
二、沼气灯、灶具的科学使用	(100)
第五节 沼气运行过程中的管理	(102)
一、沼气池的日常管理	(102)
二、沼气运行过程中的故障排除	(103)
参考资料	(106)
第一部分 农村沼气建设典型与经验	(106)
第二部分 沼液(渣)的综合利用	(134)
第三部分 相关国家标准	(139)
第四部分 相关国家法规	(162)

第一章 绪 论

第一节 概 述

在人类生存和进步的漫漫长河中,能源一直是工农业生产和提高人民生活水平的重要物质基础,是经济和社会赖以发展的重要条件。纵观经济社会前行的轨迹,工农业生产的发展速度往往取决于能源的合理开发和利用程度。几百年前,人类利用的能源主要是生物质能等传统的可再生能源。工业革命后,煤炭、石油、天然气等化石能源快速发展,并逐渐成为生产生活的主要能源,对推动世界经济和人类社会进步发挥了巨大作用。目前,全球每年生产和消费的能源总量已达 $100 \times 10^8 \text{ t}$ 标准油,其中 90% 左右是化石能源。但化石能源不可再生,其大规模的开发利用,一方面迅速消耗着地球亿万年积存下的宝贵资源,同时也带来了气候变化、生态破坏等严重的环境问题。当今世界,人口膨胀、环境污染、资源短缺三大问题,已严重威胁到人类的可持续发展。面对煤炭、石油、天然气等化石能源的日益减少与不可再生以及开发利用所带来的生态问题,发展中的人类再次把能源的开发利用聚焦到可再生能源上来。应对日益严重的能源危机和环境问题,加强可再生能源开发利用,是能源发展的基本取向,是坚持人与自然和谐共存、走可持续发展的必由之路,也是历史的必然选择。

伴随着科学技术的进步,迄今为止,人类社会已经历了由薪柴到煤炭、由煤炭到石油和天然气的两次能源变革,并开始了由有限化石燃料向无限可再生能源以及开发利用核能的第三次能源转变。在走可持续发展之路的人类文明新阶段中,可再生能源的合理开发与利用越来越为人们所重视和倡导,相关产业开发规模持续扩大,技术水平逐步提高,成为世界能源领域的一大亮点,呈现出良好的发展前景。

可再生能源是包括太阳能、生物能、风能、水能等在内的一种可永续利用的能源。在可再生能源中,生物能是自然界各种植物通过光合作用,将太阳辐射能转换成化学能而固定下来的一种自然能源。无论是作物秸秆、树木茎叶、人畜粪便,还是工农业生产以及人类生活的有机废弃物,皆是直接或间接来源于植物的光合作用。在此意义上,生物能也是太阳能利用的范畴。

地球上生物量的潜力决定着开发利用生物能源的可靠程度。人类生活的地球,是一个庞大的生态系统,在这个系统中,生物能的资源相当丰富。有关测算表明:目前,全世界

陆地和海洋所有生态子系统中,每年有机物的干物质净产量为 $1\,800 \times 10^8 \text{ t}$,其中陆地上的产量为 $1\,200 \times 10^8 \text{ t}$,占总产量的 70%;地球上每年通过植物所固定的太阳能产生的有机物,相当于生产 $3 \times 10^{21} \text{ J}$ 的能量;理想状态下,地球上的生物质潜力可达到现实能源消费的 18~20 倍。我国是一个幅员辽阔的国家,生物质的年生产量约为 $50 \times 10^8 \text{ t}$ 干物质(其中农业生产量近 $8 \times 10^8 \text{ t}$),即相当于全国目前年总能耗量的 1.4 倍。

面对大自然的回馈和生物质资源的如此丰富以及巨大的能源潜力,人类如何有效地、合理地利用它,却是一个值得高度关注的问题。

现今,全世界约有 15 亿人口用薪柴和作物秸秆作燃料,还有为数众多的人直接烧畜粪。这种传统的能源利用方式,不仅烧掉了大量可作饲料和肥料的自然资源,而且还浪费了大量砍柴劳动力,毁坏了大片林木和植被,同时也造成了水土流失、生态平衡破坏,直接影响了农、林、牧、副业的发展,加剧了环境污染,恶化了人类的生存环境。

我国自古以来就是一个多灾的国家。灾害的频繁发生,原因是多方面的,但其中生态环境的严重失衡是一个不可忽视的因素。历史上,为了解决人口增长与耕地不足之间的矛盾,人们纷纷向地广人稀的地区拓荒或开发。由于缺乏环境保护意识,在增加了大量可耕地的同时,人们也可悲地对大自然进行了破坏性的掠夺。许多地方竭泽而渔似的滥垦滥伐,使森林植被遭到了大面积的毁坏,给农业生态环境造成了恶劣的影响。“涝则汪洋一片,旱则赤地千里”,现实中,农业受制于“老天爷”的状况尚未根本改变。全国耕地中有一半是旱地,丰欠全由“老天”当家;另一半有灌溉设施的耕地,抗旱标准也不高。20 世纪 90 年代以来,全国已发生多次较大的洪涝灾害,尤其是发生在 1998 年的特大洪水,造成的经济损失巨大,令人震惊。有资料显示,目前我国的水土流失呈扩大趋势,沙漠化和荒漠化面积仍以较快的速度发展。西部地区 40% 以上土地已出现水土流失,黄土高原流失面积比例达到 70%,西南地区水土流失面积约占 1/3;全国已有 1/4 的国土出现荒漠化,致使我国沙尘暴的发生越来越频繁。

造成这种状况的原因是多方面的,其中有一个重要的因素,那就是老百姓每天开门的第一件“柴”事。从新中国成立至 20 世纪 70 年代,随着人口增加和经济发展,由于无法提供足够的常规能源,我国农村出现了严重的能源短缺。20 世纪 70 年代初,农村人均商品能源消费只有 122kg 标准煤,仅为全国平均水平的 19%。在农村总能耗 $3.2 \times 10^8 \text{ t}$ 标准煤中,70% 的能耗利用属低品位的生物质能,且 83% 用于生活。当时全国缺柴户占 70%,其中 47% 的农户缺烧 3 个月以上。由于 2/3 秸秆被用作炊事燃料,很少还田,土壤有机物质含量下降,农村生态环境恶化,牧畜饲料也随之紧张。全国薪柴年消费量达 $1.8 \times 10^8 \text{ t}$,其中一半以上是过量樵采所至。1949 年以后的 30 年所营造的 $1 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 林木仅存 $0.3 \times 10^8 \text{ hm}^2$,其中滥樵林木作燃料是重要原因。长江、黄河流域上中游地区薪柴消费约占毁林的 30%! 掠夺性的取柴,必将导致大灾,掠柴与灾荒,二者既是因,又是果,形成了一种恶性循环。令人堪忧的是,时至今日,在我国农村生物质能的利用中,8 亿多农村居民生活用能的 70% 仍是直接燃烧薪柴和秸秆等。这种能源利用方式的延续,一方面是热能转换效率低(用柴灶的转换效率仅有 10% 左右,煤灶只有 16%~18%),利用方式落后,难以满足农民对现代生活水平的需求;更重要的则是经济效益差,浪费大,对人体健康不利,对生态环境破坏严重。对此,我们必须予以重视,需要下大气力进行改善。

值得可喜的是,自1958年4月,毛泽东主席在武汉观看沼气利用情况,并提出要“好好地推广”之后,40多年以来,党中央、国务院和邓小平、江泽民、胡锦涛、温家宝等许多党和国家领导人都对全国的沼气建设给予了高度关注和支持。在全国上下的共同努力下,作为农村能源开发与建设的重要组成部分,我国农村的沼气建设取得了显著成效。特别是近20年来,随着农民对提高生活质量和各地对发展生态农业的不断需求,全国的沼气建设开始走上健康、稳定的发展道路,其发展速度逐年加快,并屡有创新。到1997年底,全国已建有农村户用沼气池638万个,大中型沼气工程600多处,年产沼气 $13 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。2005年,全国沼气建设又上新台阶,农村户用沼气池拥有量达到2000万个(表1-1),沼气年利用量达到 $50 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。2006年,全国沼气户发展到2500万户,生产沼气 70 m^3 ,相当于 $1050 \times 10^4 \text{ t}$ 标准煤。更令人欣慰的是,在推进沼气建设的进程中,宣传示范和综合利用的实践,极大地提高了人们对沼气的认识,合理开发和利用这一可再生能源的观念不断更新和深化。越来越多的人逐渐意识到:从生物能合理利用来讲,直接燃烧生物质,只能部分地利用它的热量,未充分利用它的肥料成分;把作物秸秆沤肥或直接还田,虽然利用它的肥料成分,却损失了可以利用的能量,两者都不是有效、合理的利用生物能源。如果先将生物质作为人类食物和牲畜饲料,而后将人、畜排泄物和作物秸秆等一起投入沼气池发酵,不仅可以得到清洁优质燃料和有机肥料,还可进一步由此制取化工产品,这样就使生物资源得到多次利用和综合利用,因此,发展沼气是生物能源的一种最有效的转换方式,是合理利用生物能源有效之举,发展沼气大有可为,农村沼气能源建设前景广阔。农村沼气正以其自身的优越和综合利用价值吸引着越来越多的农民群众参与到其开发利用和建设之中。

表1-1 全国农村户用沼气池量

年份	1990	1995	1997	2000	2001	2002	2003	2005
沼气池数量 (万个)	476.6	569.6	638	848.1	957	1110	1289	2000

第二节 农村沼气建设的作用

我国是一个发展中国家,也是一个高能耗国家,同时又是一个化石能源短缺国家。随着经济的高速发展和现代化的进程,能源的瓶颈制约将越来越凸现。特别是我们这样一个有8亿多人在农村的农业大国,一定时期内要求国家大量增加农村能源供应既不现实也不可能,而农业现代化的过程又是一个能源消耗不断增长的过程。在此背景下,充分发挥农村自有能源中生物能源丰富的优势无疑是具有重大战略意义和作用的举措。几十年沼气建设的实践证明,农村大办沼气,是缓解我国农村发展能源不足、促进农村经济发展和农业现代化、改善农业生态环境、增加农民收入的有效途径。据有关研究资料,如将全国农村现有人、畜粪便和作物秸秆的一半用来制取沼气,每年即可生产 $683 \times 10^8 \text{ m}^3$ 沼气,除满足8亿农民的生活用燃气外,尚剩余 $60 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的沼气可用于搞沼气动力或每年发

电 $90 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$, 并可每年生产相当于 200 多万吨碳酸氢铵和 100 多万吨过磷酸钙优质肥料。由此可见, 作为农村新能源的沼气, 如仅从它的成长初期和局部看, 似乎能量有限, 但从它的发展和积少成多看, 其作用是巨大的, 加快沼气的开发利用势在必行。综合沼气建设的作用, 主要表现在以下几个方面。

一、节约矿质能源消耗, 改变农村能源结构

目前, 我国农村民用燃料构成主要有作物秸秆、薪柴、煤炭、牲畜粪便和其他类(杂草、树叶等), 燃料结构大致见表 1-2。

表 1-2 农村民用燃料

秸秆	薪柴	煤炭	牲畜粪便	其他
34.8%	9.1%	8.7%	1.9%	45.5%

据有关部门估算, 全国农村每年烧掉的生物质约为 $5.4 \times 10^8 \text{ t}$, 按热量计算, 相当于 1978 年全国矿物能源消耗量的 50.8%, 是全国能源总消耗量(包括烧掉的生物质)的 33.7%, 在我国能源结构中占第二位。如果将作物秸秆通过沼气发酵, 在用量上可比直接作燃料节省 1/2 或者 1/3。当前, 我国农村不少地方燃料紧张, 工业原料、饲料和燃料互争秸秆, 如全国严重缺柴的 7 000 万农户都办起沼气, 全年只需 $1 \times 10^8 \text{ t}$ 稻草, 这样便可使秸秆由不足变为有余, 并可节约相当可观的煤炭。如果全国有一半的农村搞 5 ~ 7kW 沼气发电, 一年可发电 200 多亿度。这些电如果由火力发电厂供应, 需消耗 1 000 多万吨煤炭; 如用柴油发电, 也需消耗柴油 $600 \times 10^4 \text{ t}$ 。

因此, 在农村大力发展沼气, 不但可以加速农村燃料现代化的过程, 缓解能源紧张矛盾, 而且还可以改变农村能源结构, 节约大量矿物能源的消耗。

二、改善农业循环系统, 促进农业生产发展

生态系统循环是一个包括诸多环节的循环, 循环中的诸环节有许多相生或相斥, 每个环节的产物或废物, 往往成为另一个环节的原料。就农业循环看, 将作物所产的秸秆直接烧掉, 或直接用于还田, 或用作饲料后将畜禽粪便作肥料的习惯做法, 都未能充分利用农业生物产物的能量和物质, 因此, 这样的农业循环是不完全的(图 1-1)。如在农业循环中加入沼气应用环节, 农业循环就成为比较完善的趋于封闭的循环体系(图 1-2), 这将提高循环效率, 加速农业内部各部门的综合发展, 比较充分地利用农业生物的物质和能量, 同时可比较合理地保持自然生态系统平衡。据测算, 一个 10 m^3 的沼气池, 一年可出产沼气 $2\,000 \text{ m}^3$ 左右, 相当于生产 $2.76 \times 10^7 \sim 5 \times 10^7 \text{ J}$ 的能量, 这些能量被人们再次利用; 同时还可出产沼气水肥(发酵液) 15 ~ 20t(相当于 58 ~ 116kg 碳铵和 25 ~ 50kg 过磷酸钙), 产沼气渣(发酵残余物) 1t 左右(相当于 58kg 碳铵和 25kg 过磷酸钙)。由于沼液、沼渣均属优质有机肥, 因此, 发展沼气对增积有机肥、改善土壤、提高土地产出率可起到积极的作用。

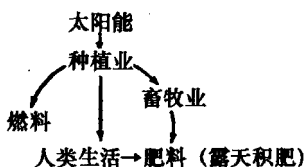


图 1-1 未加沼气环节的农业循环

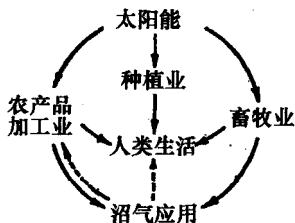


图 1-2 加沼气环节的农业循环

综上所述,从农业生态循环看,办沼气可以建立封闭的农业循环体系,改善优化循环系统,增加循环链节,提高能量循环效率,有利于保持生态平衡,促进农业生产发展。

三、改善农村卫生,保护和净化环境

沼气是一种以甲烷、二氧化碳为主要成分的无色气体,本身是一种较少污染的卫生能源。沼气如能完全燃烧,终极产物是二氧化碳和水,既无烟灰,也不会造成公害,还能有效地减少传统炊事烟熏火燎所带来的红眼、哮喘等疾病。沼气制取过程中,由于将人、畜粪便、有机污水、污物等疾病传播源、污染源投入池中密闭发酵,微生物分解物质和能量代谢呼吸释放出的惰性物质可在池内循环利用,不存在堆沤方法产生的环境污染,同时能有效地将细菌性病源、病毒性病源和寄生虫卵大部分沉降杀灭,大大减轻了疾病的传播,其卫生效果目前在农村没有哪种处理方法(化学和高温处理除外)可比。此外,农民为了多产多用沼气,会积极主动地清理阴沟积污,争拾道路、村边野粪,既净化了环境,也改善了农村卫生面貌。实践证明,一个沼气化的村庄,往往能成为一个卫生村,村容村貌整洁,空气清新。因此,农村办沼气不仅有利于改善农村卫生,也有利于保护和净化环境,促进村容村貌的改善和优化。这正是社会主义新农村建设的重要内容之一。

四、促进生态农业建设,增加农民收入

众所周知,生态农业建设已成为我国农业可持续发展的有效途径和必然选择,而生态农业工程模式是生态农业建设的核心内容和具体体现。随着生态农业建设在全国范围内的不断深入,多种多样因地制宜的生态农业工程模式相继涌现。在众多的生态农业工程模式中,以沼气工程为纽带,结合农牧生产综合利用和能源建设的工程模式,即沼气生态农业模式,它是其中应用广泛、生态经济效益显著的重要模式之一。沼气生态模式即以沼气为纽带,按照生态学“整体、协调、循环、再生”的原理,把养殖业、种植业和农副产品加工等有机地连接起来,以达到农业经济效益、生态效益和社会效益协调稳步增长的一种农业模式。此模式中,关键环节在于沼气的综合利用。沼气综合利用是指人、畜粪便等经沼气发酵后,所产生的沼气、沼液、沼渣按食物链关系作为下级做生产活动的原料、肥料、饲料、添加剂和能源等进行再利用。

(一) 沼气综合利用在保护农业生态环境及发展农业生态中的作用

首先,沼气是生态农业的组成环节。在以禽、畜为主体的生态农业建设中,利用沼气技术可以消除生产过程中产生的有机废弃物,以实现生物质能的多层次循环利用,实现无污染、无废弃物生产,从而达到发展生产、净化环境的目的。

其次,沼气综合利用能积极参与生态农业中的物质和能量的转化,为废弃物、污染物的无害化、资源化处置以及系统能量的合理流动提供条件,保证了生态农业系统内能量的逐步积累,增强了生态系统的稳定性。

再次,沼气综合利用可增加生态系统环节,延长系统的食物链,从而拓宽了有机能量的循环利用途径,优化了生态系统的内部结构,进一步增强了生态农业系统内物质循环和能量流动的基础。

最后,沼气综合利用可减少森林资源的消耗,保护生态环境。据测算,不用沼气的农户一年生火做饭所用薪柴相当于覆盖 $\frac{1}{3}\text{hm}^2$ 地的植被,也就是说,改用沼气后,一年可保护 $\frac{1}{3}\text{hm}^2$ 地的生态环境。根据海南省提供的资料,全省现有16.15万农户使用沼气,每年可以保护5.3多万公顷森林生态免遭破坏。

总之,沼气的综合利用,不仅是解决当前农村能源不足的极为重要的措施,而且能保护与增殖自然资源,加速物质能量循环,发展无废料、无公害农业,为人类生产清洁的食品提供基质,为农业发展提供优良的生态环境。

(二) 沼气及其发酵物在生态农业建设中的应用

沼气及其发酵物的综合利用,是人类利用和发展沼气的目的。沼气及其发酵物的应用,首先是作为能源用于农村居民的生产和生活,其次是作为净化环境的方法处理生活污水、垃圾以及人、畜粪便,再次是作为有机肥料将发酵物用于农、林、牧、渔生产。此外,随着科技的发展,还可从沼气及其发酵物中制取很多化工产品。

1. 沼气的综合利用

(1) 生产、生活两用能源:沼气是一种优质的燃料,热值较高,热效率比较稳定,抗爆性能较好,使用方便,是一种很好的清洁燃料,其技术经济性仅次于液化石油气。因此,评价沼气燃料效益可参照石油气的有关参数。液化石油气热值为 $43\,126\text{kJ/kg}$,热利用率可与沼气相同。沼气热值因发酵原料种类不同而异,一般为 $18\,841\sim 25\,122\text{kJ/m}^3$ 。广西南宁市2001年农村人均炊事用能为 $3\,692\text{kJ/d}$ (不含照明用电及饲养、烤火用能),山东济南地区2001年农村人均炊事用能为 $4\,000\text{kJ/d}$,如果每户每年实产沼气 600m^3 ,就可解决全家当年90%左右的生活用能,减少薪柴消耗2t左右。一个农户每年实际用沼气 $500\sim 550\text{m}^3$,与液化气等价比较,一年可节省燃料费用 $790\sim 875$ 元。有人认为,投入沼气池发酵的原料实际上也是一种能源,但在农村(少数牧区除外)不可能用人、畜粪便作燃料,且直接燃烧人、畜粪便或其他有机物,只能够利用其部分能量和灰分,其他营养成分全部被氧化散失,从生态学和生态农业建设的角度看是不合算的。

沼气除作生活燃料外,还可供生产用能。沼气燃烧发电是一种有效利用沼气的重要方式。目前,用于沼气发电的设备主要有内燃机和汽轮机。国外用于沼气发电的内燃机

主要使用 Otto 发动机 Diesel 发动机,其单位重量的功率约为 27kW/t 。汽轮机中燃气发动机和蒸气发动机均有使用。燃气发动机的优点是单位重量的功率大,一般为 $70 \sim 140\text{kW/t}$;蒸汽发动机一般为 10kW/t 。国外沼气发电机组主要用在垃圾填埋场的沼气处理工艺中。目前,美国在沼气发电领域有许多成熟的技术和工程处于世界领先水平,现有 61 个垃圾填埋场使用内燃机发电,加上使用汽轮机发电的装机,总容量已达 340MW ;欧洲用于沼气发电的内燃机,较大的单机容量在 $0.4 \sim 2\text{MW}$,垃圾填埋沼气的发电效率约为 $1.68 \sim 2(\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^3$ 。我国于 20 世纪 80 年代初开始沼气发电领域的研究,1998 年全国沼气发电量为 $1\,055\,160\text{kW} \cdot \text{h}$ 。相关资料显示,我国现有沼气动力站 186 个,总功率 $3\,458.8\text{kW}$;沼气发电站 115 个,装机容量 $2\,342\text{kW}$,年发电量达到 $301 \times 10^4\text{kW} \cdot \text{h}$,主要用于乡镇企业和农副产品加工。在沼气发电研发期间,我国先后有一些科研机构进行过沼气发电机的改装和提高热效率方面的研究工作。我国的沼气发动机主要分为两类,即双燃料式和全烧式。目前,对“沼气—柴油”双燃料发动机的研发工作较多,如:中国农机研究院与四川绵阳新华内燃机厂共同研制开发的 S195—1 型双燃料发动机;上海新中动力机厂研制的 20/27G 双燃料发动机等。成都科技大学等单位还对双燃料发动机调速、供气系统以及提高热效率等方面进行过研究。山东潍坊柴油机厂研制出功率为 120kW 的 6160A—3 型全烧式沼气发动机,贵州柴油机厂和四川农业机械研究所共同开发出 60kW 6135AD(Q) 型全烧沼气发动机发电机组;此外,重庆、南通等一些科研生产机构和单位也进行了这方面的研究及研制工作。但总的来看,目前我国在沼气发电方面的研究工作主要集中在内燃机系列上。

用发展的眼光看,沼气发电具有广阔的前景。沼气发电工程本身是提供清洁能源、解决环境问题的工程,它的运作不仅解决沼气工程中的一些主要环境问题,而且由于其产生大量电能和热能,又为沼气的综合利用找到了广泛的应用前景。从环保的角度看,有助于减少温室气体的排放。通过沼气发电工程可减少 CH_4 的排放,而每减少 1t CH_4 的排放,相当于减少 25t CO_2 的排放,对缓和“温室效应”有利。此外,沼气发电以前,由于综合利用手段单一,很多沼气工程产生的沼气大量排放到空气中,不仅严重污染周围的环境,也对工作人员的安全和健康产生了极大的威胁,沼气发电则为沼气找到了一条合理利用的途径。从循环经济的角度看,沼气发电有利于变废为宝,提高沼气工程的综合效益。以沼气发电在酒厂中的综合效益为例:四川省荣县进行了 120kW 沼气发电的生产和示范,用酒糟废水经厌氧发酵消化产生沼气,发电效率为 $1.69(\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^3$,当年成本为 0.0465 元/ $(\text{kW} \cdot \text{h})$,沼电能够基本满足全厂的生产用能。山东昌乐酒厂安装 2 台 120kW 的沼气发电机组, 170m^3 酒糟日产沼气 $4\,800\text{m}^3$,发电 $8\,640\text{kW} \cdot \text{h}$,全年能节约开支 29 万元,工程运行一年即可收回全部成本。再如,浙江天子岭垃圾填埋场发电工程在运行中,在平均电价为 0.438 元/ $(\text{kW} \cdot \text{h})$ 的条件下,投资回报率可达 14.8% 。从增加农村能源的角度看,小沼电为农村地区能源和利用开辟了新途径。我国农村偏远地区还有很多地方严重缺电,如牧区、海岛、偏僻山区等高压输电较为困难,而这些地区却有着丰富的生物质原料,因地制宜地发展小沼电,犹如建造微型“坑口电站”,可以取长补短就地供电。

(2) 农业生产中的多用途

① 温室大棚提温、施肥两效应。将沼气通入种植蔬菜的大棚或温室内燃烧,不仅可以

提升棚(室)温,同时还可以利用沼气燃烧产生的 CO_2 进行气体施肥,具有明显的增产效果,且无污染。据辽宁省农村能源研究所试验,在大棚内燃烧沼气,棚温可提高 $2 \sim 5^\circ\text{C}$ 以上;当 CO_2 浓度达到 $1\,000 \sim 1\,300\text{mg/L}$ 时,蔬菜叶片光合强度可提高 $7\% \sim 20\%$;黄瓜、辣椒、番茄和芹菜分别比对照增产 49.8% 、 36% 、 21.5% 、 25% ,增产作用显著。

②孵化苗禽效果好。利用沼气作能源孵化苗禽,能克服传统的炭孵、炕孵工艺所造成的温度不稳定和 CO 中毒现象。四川省农村能源办公室研制的孵化容量为 $10\,000$ 只种蛋的大型沼气孵化器,孵化成本仅为电孵化的 $1/3$,孵化器成本也只有电孵化器的 35.7% ;节电率达 73.1% ,且沼气孵化技术可靠,操作方便,孵化率高,不污染环境。

③贮藏防虫显效益。沼气中含有 60% 左右的甲烷, 35% 左右的二氧化碳和氮气、氢气等微量气体。当这些气体数量增多,浓度升高时,便会形成一种缺氧窒息环境。在向贮粮装置内输入适量的沼气并密闭停留一定时间时,即可排除空气,使害虫因缺氧而窒息死亡。此法贮存粮食,既可保持粮食品质,对粮食无污染,又对人体健康和种子发芽无影响。此项技术可节约贮存成本 60% 以上,减少粮食损失 10% 左右。例如,1994 年全国用沼气贮粮 $21.95 \times 10^4\text{t}$,减少粮食损失 $2.5 \times 10^4\text{t}$,节约成本 22 万元。

④贮藏水果可保鲜。利用沼气中甲烷和二氧化碳含量高、含氧量极低以及甲烷无毒的特性,来调节贮藏环境中的气体成分,造成一定的缺氧状态,用以抑制水果的呼吸强度,可以减少养分消耗,从而达到无虫保鲜、产品增值的目的。用沼气保鲜苹果、柑橘等水果,贮藏期长,好果率高,而且成本低,无药害,外观、硬度、甜度等基本保持原果原味。根据试验,用沼气贮藏苹果 90d ,好果率为 88.7% ;贮藏山楂 150d ,好果率 84.5% 。其贮藏效果可与大型冷库贮藏保鲜相媲美,远好于土窖贮藏鲜水果。

2. 沼气发酵残余物在农业中的应用

(1)生产有机肥,增加有机肥源:我国是一个有着悠久农业文明史的农业大国。农业的发展和土壤的利用已有数十年历史。由于坚持用地和养地相结合,长期施用有机肥料,千百年来,土壤肥力不但没有衰退,而且还保持了较高的肥力。沼气发酵残余物是一种优质的有机肥料,且具有原料来源广、成本低、养分全、肥效长、富含有机质、能改良土壤等优点,因此发展沼气可以大大增加有机肥源,提高肥料质量,是农村一项重要的肥源建设。据四川省绵阳县、渠县等地调查,基本实现沼气化的乡村,有机肥总量比沼气化前增加了 $33\% \sim 57.4\%$ 。

①单施无机肥对农业的影响。长期、大量、单一的施用无机肥料会给农业生产带来诸多不利影响:

一是土壤理化性状变劣。土壤中的有机质由于被土壤微生物降解消耗,一般每年每亩耕地需要补充约 400kg 有机质(干物计)才能保持土壤有机质含量。化学肥料大多是无机盐类,其阳离子容易与带负电荷的土壤矿物黏粒吸附而形成分散胶粒,致使土壤板结,影响土壤的透水性和透气性,也影响土壤的供肥能力。化学肥料经植物吸收其阴离子或阳离子后,残留部分可使土壤呈酸性或碱性,因此长期大量施用化肥,土壤会逐渐酸化或碱化,土壤中许多有益微生物的活动受到抑制,而某些有害的寄生性微生物又往往不易受到抑制,致使植物病害易发生。

二是农业成本和消耗增加。大量使用化肥,一则农业生产成本升高,单位量肥料的增

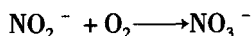
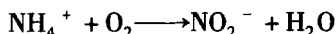
产效应下降。二则生产化肥需要消耗大量的能源,增施化肥实际上就是增加农业能源耗量。如美国每获得 4.18J 食物能,约消耗 25.1 ~ 29.3J 燃料。日本农地在厩肥施用量减少后,农业能耗的回收率也随之降低(表 1-3)。

表 1-3 日本厩肥用量与农业能耗回收

厩肥施用量(kg/667m ²)		农业耗能回收率(%)	
1955 年	438	1950 年	127
1974 年	167	1974 年	38
1975 年	174		

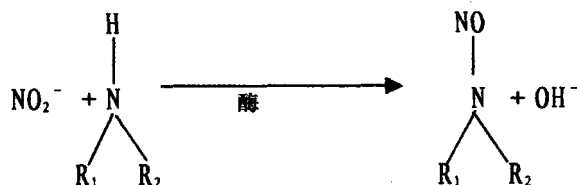
三是造成污染和公害。化肥(主要是氮肥)过量施用,会对食物、水源、空气、土壤造成污染。蔬菜、饲料等因氮肥过多,硝酸态氮在植株中滞留,在烧煮过程中经过酶的作用可转化为亚硝酸态氮。亚硝酸能与血红蛋白结合生成不能输送氧气的高铁血红蛋白,因而使人或动物发生急性中毒。20 世纪 80 年代初发生在济南西郊某养貂场的貂死亡案例,就是因煮喂含亚硝酸过高的卷心菜,导致 400 多只貂全部死亡,貂农损失惨重。

铵离子(NH_4^+)在土壤氧化层(上层)受好气微生物的作用,经氧化后可形成亚硝酸根离子或硝酸根离子,其反应式为:



由于亚酸根离子、硝酸根离子和土壤胶粒一样带有负电荷,彼此间不能吸附,因此亚硝酸根、硝酸根离子很容易随水流失,造成水源污染,同时随着亚硝酸根或硝酸根离子的流失,也带走土壤中的相当量的阳离子,如 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Mn^{2+} 等,使土壤变酸或出现缺素等现象;当硝酸根离子移动到土壤还原层(下层)时,又会被土壤厌氧性微生物转化,成为一氧化碳或氮气,一氧化碳气体有毒,会污染空气。

亚硝酸根离子被作物吸收而被人食用后,在胃中与仲胺类化合物在酶的作用下可形成亚硝胺类化合物,化学反应示意式如下:



许多试验证明亚硝胺是一种致癌物质。有资料显示,我国居民消化道癌症患病率高,与食用含较高亚硝酸的食物有关,长期过量不合理的施用氮肥是其根源之一。

由于大量、单一施用无机肥料产生以上诸多问题,因此近几十年来,特别是近年来,许多国家都开始重视有机肥与无机肥配合施用,特别是有机肥施用越来越被人们重视。

② 沼气发酵残留物养分全、肥质高。沼气发酵残留物中含有 18 种氨基酸、生长激素、抗生素及多种矿物质营养元素,基本上是一种全价肥料。根据研究测定,沼气发酵残留物的发酵液(习惯上称沼气水肥)中含有多种水溶性的养分,是一种速效肥料;发酵残留物的沉渣(习惯上称沼气渣肥)中含有较全面的养分和丰富的有机质,其中还有一部分已被转