



全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教材指导委员会审定

生物质能工程

● 万仁新 主编

● 农村能源开发利用专业用

中国农业出版社

(京)新登字060号

Q81
3.4

全国高等农业院校教材

生 物 质 能 工 程

万仁新 主编

* * *

责任编辑 段丽君

中国农业出版社出版 (北京市朝阳区农展馆北路2号)
新华书店北京发行所发行 中国农业出版社印刷厂印刷

787×1092mm16开本 15.25 印张 348千字

1995年5月第1版 1995年5月北京第1次印刷

印数 1—2,000册 定价 8.80 元

ISBN 7-109-03101-2/Q·183

前 言

生物质能是人类利用历史最悠久、覆盖面最广泛的太阳能转换物质，它的广泛利用已多次在世界性石油危机中被重新认识，得到新的发展。世界各国，无论是发达国家还是发展中国家都在致力于能源利用、环境保护和农业废弃物的综合利用。基于可再生能源的观点，应用先进的科学技术，对生物质能进行开发利用。在国际科技活动中也正在形成一门新的跨学科性的专门学科。在中国和世界一些国家中已建立了与商品能源开发规模相似的生物质能工程，并已经取得社会、环境和经济效益。随着中国农村能源、环境保护建设事业的发展，沈阳农业大学农村能源开发利用专业在教学、科研和国际交流活动中取得较好成绩，也积累了丰富的国内外科技资料和宝贵的教学经验，在此基础上形成了《生物质能工程》试用教材，经过本校几届学生和河南农业大学等兄弟院校学生使用，得到进一步完善。试用教材经全国高等农业院校教材指导委员会审定，纳入“八五”教材建设规划。编者按教材指导委员会文件和几年教学实践写出“生物质能工程编写纲要”征求意见稿，送往全国有关单位征求编写意见，得到农业部环能司邓可蕴、农业工程学科组鲁楠、主审张包钊、浙江农业大学蒋成球及美国夏威夷大学Dr. Ling和Dr. Yang教授和兄弟院校同行的宝贵意见和鼓励。编者参考国际生物质能工程发展，结合中国国情及教学要求对试用教材进行讨论修改，形成了《生物质能工程》教材书稿，请主审审阅。审阅稿修改后，送农业工程学科组长北京农业大学周一鸣教授审定。

本书是高等农业院校农村能源开发利用专业用教材，全书共分三篇十一章。内容有生物质微生物发酵、生物质热化学转换技术和生物质能生态环境工程。书中薪炭林部分由浙江农业大学蒋成球编写，其余各篇章由万仁新编写。

本书在编写过程中承蒙农业部环能司、中国农业工程研究设计院农村能源与环保研究所、上海工业微生物研究所彭武厚、广州能源研究所徐冰熾、成都沼气科研所、西北农业大学、浙江农业大学、辽宁能源研究所、杭州农村能源办蔡昌达和辽宁省农村能源办等单位大力协助，提供宝贵资料和意见，特此致谢。

本书主审中国水稻研究所农业工程系张包钊教授认真负责审阅、热情参加编排讨论修改并提供资料，为本书尽心尽力，在此深表感谢。

编写《生物质能工程》教材是一次大胆的尝试，编者满腔热忱试图填补这一新学科教材的空白。限于水平，在本书内容的取舍、编排、某些论点及问题的教学处理上可能存在缺点和错误，万望同行、专家和读者不吝赐教，以使本书不断提高，在此预致谢意。

本书在沈阳农业大学钟文田和刘长江副校长、农业部各大区农村能源技术培训中心负责人、各省（区）市农村能源办公室负责人的大力支持下得以出版，在此表示衷心感谢！

万仁新

1992年10月

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 生物质微生物发酵

第一章 沼气发酵工艺	4
第一节 沼气发酵原料和原料产气特性	4
一、沼气发酵原料	4
二、秸秆、粪便沼气发酵原料的配比	6
三、常用发酵原料的产气特性	9
第二节 沼气发酵工艺条件及其控制	11
一、严格的厌氧环境	11
二、发酵温度	11
三、接种物	11
四、适合的酸碱度	12
五、压力	12
六、搅拌	13
七、添加剂和抑制剂	13
第三节 沼气发酵工艺	14
一、沼气发酵工艺类型	14
二、农村水压式沼气池发酵工艺	15
三、大中型沼气工程沼气发酵工艺	17
四、原料两相发酵工艺	24
第二章 沼气发酵消化器	26
第一节 消化器的设计要求和类型	26
一、消化器的设计要求	26
二、消化器容积计算	26
三、厌氧消化器的基本类型	27
第二节 几种在生产中常用的消化器	34
一、厌氧接触工艺处理酒精糟液	34
二、厌氧过滤消化器 (AFD)	34
三、上流式厌氧污泥床消化器 (UASB)	38
四、UASB+AF结合型消化器	40
第三节 水压式沼气池	42
一、水压式沼气池的工作原理	43
二、标准式水压式沼气池	43
三、水压式沼气池设计时的基本要求	43

四、甘肃临农Ⅱ型沼气池	43
五、改进型水压式沼气池	45
六、小型高效沼气池	46
七、水压式沼气池的施工计划	46
第四节 城镇沼气的化粪池	48
一、城镇生活污水的特性	48
二、老式化粪池	48
三、水压式沼气的化粪池	48
四、城镇沼气的化粪池工艺	49
五、沼气的化粪池前处理消化器	49
六、沼气的化粪池容积估算	49
七、沼气的化粪池后处理	50
八、沼气的化粪池的处理效果	51
九、日本PRF制化粪池	52
第五节 红泥塑料沼气池	52
一、红泥塑料的制备和特性	53
二、红泥塑料沼气池基本结构和池型	54
三、红泥塑料沼气池的发酵工艺	55
四、红泥塑料沼气池的使用	56
五、红泥塑料越冬管理	57
六、半塑水封型红泥塑料沼气池	57
第三章 消化器进出料系统和搅拌装置	58
第一节 进出料工艺流程和进出料方式	58
一、进出料工艺流程	58
二、进出料方式	58
第二节 进出料系统的设计	58
一、进料系统参数	59
二、输料沟	59
三、预处理装置	60
第三节 进出料泵	62
一、泵的主要性能参数	63
二、泵的选择	64
三、常用液肥泵和污水泵的技术特性	64
第四节 料液热交换器	66
一、热交换器的型式	67
二、料液热交换器的一般设计	68
第五节 消化器搅拌装置	70
一、搅拌装置的基本类型	70
二、气体升液式搅拌装置	72
三、立管式气搅拌装置	75
四、机械式搅拌装置	76
第四章 沼气贮存器和输配管网	80

第一节 沼气贮存器的容量和压力	80
一、贮存器的功用	80
二、居民用气定额及年用气量	80
三、贮存器的容量	81
四、贮存器中沼气的压力	83
第二节 沼气贮存器	83
一、变容积湿式低压贮存器	83
二、发酵池浮罩式贮存器	85
三、干式贮存器	85
四、中压贮气罐	86
第三节 沼气集中供气输配管网系统	86
一、集中供气方式	86
二、输气管及其附件	87
三、管道的布线及施工安装	89
四、输配系统的试验	90
第四节 安全与防火	91
第五章 沼气的燃烧特性与利用、脱硫装置	92
第一节 沼气的成分和性质	92
一、沼气的成分和气体的物理参数	92
二、沼气组分的临界温度和压力	93
第二节 沼气的燃烧特性	94
一、沼气的着火及其浓度极限	94
二、燃气燃烧的火焰传播	95
三、燃烧产物——烟气	100
第三节 沼气的燃烧方式	101
一、燃烧的动力区和扩散区	101
二、燃烧过程	101
第四节 沼气燃具的特性参数和构造	104
一、沼气燃具的特性参数计算	104
二、大气式燃烧器的构造及工作原理	106
三、无焰式沼气燃烧器	108
第五节 沼气灯	110
一、沼气灯的构造和工作	110
二、沼气灯技术性能指标	111
第六节 沼气脱硫装置	111
一、沼气中各种成分的生理特性	111
二、沼气中硫化氢含量的测定方法	112
三、氧化铁法脱硫	114
四、脱硫剂	115
五、氧化铁法脱硫装置	116
第七节 柴油机燃用沼气进行发电生产	117
一、内燃机对沼气燃料的要求	117

二、柴油机的改装	119
三、双燃料机的操作要点	120
第六章 生物质酒精发酵	121
第一节 酒精的性质、用途和生产方法	121
一、酒精的性质	121
二、酒精的等级	121
三、酒精及副产物的用途	122
四、酒精的主要生产方法	122
第二节 生物质原料和原料化学组成	123
一、酒精生产原料和化学组成	123
二、野生植物原料和化学组成	124
三、辅助原料和原料化学组成	125
第三节 淀粉质原料酒精生产工艺	126
一、淀粉质原料酒精生产原理	126
二、酒精生产工艺流程	126
三、酒精生产主要工艺过程	127
四、淀粉出酒率和淀粉利用率	128
第四节 淀粉质原料酒精生产工艺设备	129
一、原料粉碎方式与设备	129
二、蒸煮设备	130
三、糖化装置	137
四、酒精发酵罐	138
五、酒精蒸馏塔	139
第五节 甜高粱茎秆制取酒精	140
一、甜高粱粮能兼备、综合利用	140
二、甜高粱品种经济性状	141
三、甜高粱的生物特性和酒精产量	142
四、甜高粱茎秆酿制白酒工艺	143
五、甜高粱茎秆汁液制酒精工艺	144

第二篇 生物质热化学转换技术

第七章 生物质热分解技术	146
第一节 生物质热解过程及产物	146
一、原料的种类	146
二、木材干馏生产过程	146
三、木材热解的产物	147
四、木材的纤维素、半纤维素和木质素的热解温度	149
第二节 内热立式干馏	149
一、内热立式连续干馏的特点	149
二、原料的含水率对热解过程的影响	150
第三节 影响生物质热解过程的因素	152
一、热解最终温度的影响	152

二、炭化的速度	154
三、压力	154
四、原料的尺寸	155
五、生物质原料的腐朽	155
第四节 意大利ALTEN 公司生物质热解技术	156
第八章 生物质气化	158
第一节 生物质气化特性	159
一、几种生物质的元素组成和热值	159
二、生物质原料与煤原料气化特性比较	161
第二节 固定床气化炉煤气发生过程	161
一、煤气发生炉的类型	162
二、上吸式气化炉煤气发生过程	163
第三节 沿燃料层高度煤气组成的变化	166
一、氧化层反应	166
二、还原层反应	167
第四节 层式下吸式气化炉	167
一、气化炉结构特点及主要优点	167
二、层式炉工作特性	167
三、几种气化炉指标比较	168
第五节 气化过程的指标及其影响因素	169
一、煤气的组成和热值	169
二、煤气产率	172
三、气化强度	172
四、原料的损失	174
五、比消耗量	174
第六节 煤气发生过程各项指标的计算	175
一、原料的组成及其热值的计算	175
二、每公斤工作燃料产生干煤气量计算	176
三、发生炉煤气中的含水量	176
四、气化1kg燃料所需的空气量	177
五、气化物质平衡	177
六、煤气发生炉的气化效率	178
第七节 煤气发生炉主要参数	180
一、煤气发生炉产量	180
二、煤气发生炉炉膛截面积	181
三、燃料层的高度	181
四、生产中使用的气化炉	182
第八节 水煤气	183
一、制造水煤气的主要反应	183
二、理想水煤气与实际水煤气	184
第九节 流化床气化炉	185
一、流体通过颗粒状固体层的三阶段	185

二、实际流化过程	188
三、流化床气化的应用前景	189
第十节 生物质气化生产甲醇工艺	190
一、甲醇的性质	190
二、甲醇生产方法	190
三、联醇生产技术	191
四、甲醇的燃料特性	192
第九章 植物质压缩成型和烧炭技术	192
第一节 植物质压缩成型和炭化工艺	193
一、植物质原料特性	193
二、植物质压缩成型和炭化工艺	193
三、植物质压缩成型机	196
四、稻壳压缩成型和炭化工艺	201
五、国外稻壳压缩炭块的燃料特性	203
六、植物质压缩成型燃料的燃烧	203
第二节 烧炭窑炉	204
一、窑址的选择	204
二、东北林区的蜂房型和长型炭窑	205
三、浙江炭窑	206
第三节 移动式炭化炉	207
一、移动式炭化炉的构造	207
二、对处理原料的要求	207
三、操作要点	208
第四节 节柴烧炭炉	208
一、节柴烧炭炉的构造	208
二、炉的使用要求	209

第三篇 生物质能生态环境工程

第十章 生物质能良性循环	210
第一节 生态工程的目标和作用	210
一、生态工程的目标	210
二、生态工程的作用	210
三、农村三料是改善农业生态系统结构和提高系统功能的中心环节	210
第二节 农村生活用能结构变化	211
第三节 秸秆开发利用	212
一、秸秆不宜直接作燃料燃烧	212
二、农业能量转化与物质循环协调	213
三、秸秆畜禽沼气发酵对土壤系统的反馈作用	214
第四节 生物质能生态工程	214
一、以沼气为纽带的生物质能生态工艺	214
二、综合养殖场的生物质能生态工艺	215
三、生物质能多级利用、促进农业生态良性循环	216
四、微生态农业系统——能源、种植和养殖相结合、庭院经济良性循环	217

第十一章 薪炭林和植物油	218
第一节 薪炭林	218
一、薪炭林概况	218
二、我国薪炭林的资源及潜力	218
三、薪炭林的开发与利用	219
第二节 植物油	221
一、植物油的组成及化学结构	222
二、植物油的燃料特性	223
三、柴油机燃用植物油	225
第三节 植物油酯化工艺	226
第四节 石油植物	227
主要参考资料	228

绪 论

一、生物质能在农村能源中的位置

能源是世界发展的重要问题之一，它不仅直接关系经济发展的速度，也关系到人类生存环境和生活水平提高的大问题。中国是一个发展中国家，也是一个农业大国，有80%的人口居住在农村，人口众多，能源消费水平低，能源供求矛盾一直十分突出。据调查，在70年代末期，中国农村煤、油、电商品能源使用量只占农村总能耗的31.2%，其余依赖当地各种生物质资源，商品能源的人均年能耗仅有0.12t标准煤，远远低于全国平均（0.6t标准煤）水平。

中国的国情不允许农村社会发展沿用西方国家高投入、高能耗、高产出的路子。只有走节能型的社会发展模式，这是当今世界共识的发展趋势。在农村生产用能需要供应商品能源，相当大的一部分生活用能要依靠当地的自然能源来解决。大多数农村可供利用的自然能源主要是生物质能、太阳能、水能和风能。其中以生物质能表现形式的资源量较大，覆盖面较广，而又适合农村分散用能的要求，就地转换方便，利用方式简单。传统的利用方式具有投资少、见效快等优点，特别在发展中国家的广阔农业区它在可再生能源中占有极重要的位置。

长期以来，发展中国家农村都是靠生物质能来解决吃饭烧柴问题。据联合国调查资料，东南亚国家的能源消耗有42%来自生物质；非洲国家也占58%。中国1987年统计农村燃烧秸秆、薪柴总计能耗为2.64亿吨标煤，占农村能源中生活用能量的79.3%（2.64/3.33）。

二、生物质能资源

生物质能来源于生物质。生物质是有机物中除矿物燃料外的所有来源于动植物而能够再生的物质。动物食用植物，而绿色植物通过光合作用将太阳能转变为生物质的化学能，因此，生物质能都是来源于太阳能，是太阳能的有机贮存。

地球上的生物质资源十分丰富，据美国康奈尔大学估算，全世界陆地和海洋所有生态系统中，每年干有机质的净产量约为1400—1800亿吨，其中陆地产约1100亿吨，占70%。全球陆地面积约1.495亿平方公里，海洋面积约为3.61亿平方公里。在陆地上，沙漠约占1/3，森林、草原和耕地实际上约为1.02亿平方公里。据测算，在这1.02亿平方公里土地上，由植物经光合作用而产生的有机碳数量，平均每平方公里是158t，即全球陆地每年能生产有机碳可达161亿吨之多。按1t有机碳燃烧可放出4017万千焦的热量计算，则地球上的植物，每年生产的能量约为目前世界年耗能量的3—8倍。海洋中的生物质量还有未计算在内啊！现在，地球上绿色植物的光合作用效率仅0.15%，按正常应可以到达0.5%，还有差距，这表明利用植物生产生物质能的潜力是很大的。

生物质资源种类繁多，主要有农作物和农业有机剩余物、林木和森林工业剩余物、农

副产品加工的有机废物和废水、动物排泄物和城市污水及垃圾等。还有水生植物、藻类和能进行光合作用的微生物等都是可以开发利用的生物质能资源。

三、生物质能开发与利用

能源资源开发利用给科技、经济、环境和人类文明的发展均带来了巨大的潜力。除了已列为主要商品能——煤、石油、天然气和电等以外，可以认为生物质是人类利用历史最长、覆盖面最广的太阳能转换物质。化石能源资源开发利用对环境的影响和能源资源匮乏对社会经济发展带来潜在危机，是当今世界面临的严峻问题之一。针对化石能源资源越用越少的前景，农村可再生能源资源开发利用却有着挖掘不尽的巨大潜力。生物质能的广泛利用在多次世界性石油危机中被重新认识和发展。

生物质能开发与利用的主要方面有：

（一）生物质微生物发酵

1. 生物质沼气发酵 通过沼气发酵将人畜便、秸秆等农业废物、工业废水和一些水生植物转化为沼气是一种利用生物质能的有效方法，它既可获得能源，又能使有机废物得到处理，有利于环境保护。沼气是一种高品位的气体燃料，既可以作生活用能，也可以作动力燃料。沼渣能做肥料，提高土壤肥力；沼液又能浸泡种子，促进胚细胞分裂、刺激生长，也是水生饲料，并可制成蛋白饲料。据估计，我国农村地区每年约有6亿吨干生物质，其中约有2.1亿吨可作为沼气原料，能产沼气530亿米³。

2. 生物质酒精发酵 通过酒精发酵生产燃料酒精，是一项具有战略意义的生物质能利用技术。巴西用甘蔗和木薯发酵生产的燃料酒精，成功地广泛作为汽车代用汽油，其售价与当地汽油价相当。沈阳农业大学采用甜高粱茎秆汁液发酵制成燃料酒精并使用在汽车上代替汽油。可以用作酒精发酵的原料十分丰富，据估计我国每年可利用的资源约有2175万吨，可以生产184万吨酒精（折合无水酒精163万吨），目前酒精成本比汽油价高，尚不能推广。

（二）生物质热化学转换技术

1. 生物质热解技术 通过热解技术将农业废物、森林采伐剩余物和林产加工废物转化成液体燃料的好办法，一般燃油得率为32—42%。国外从60年代末就开展了有机废物热解技术研究，在美国、意大利、瑞士、西班牙等国已达到商品化阶段。

2. 生物质气化技术 气化技术正在积极推广，气化炉已形成商品，气化效率一般可达60—80%，在山东省建成生物质气化站对居民进行集中供气。

研究表明，稻草热解气化后可获得热值约为24.7MJ/m³的可燃气体，包括副产品在内的总能量回收率高达94%。

3. 植物质压缩成型和制炭技术 用农作物秸秆和农业废物及林产加工废物代替木材生产木炭，在我国已开始形成规模生产，压缩成型机和制炭设备已商品化，正向系列化发展。这种方法可节省木材，使废物能合理利用，能保护林业。

（三）生物质能生态工程 我国经过长期的实践，认识到生物质能在农业生态系统中起到十分重要的作用，在促进自然界良性循环的前提下，要充分发挥资源的生产潜力，采用优化的方法来解决农村中的饲料、肥料、燃料（一般称三料）的矛盾。近几年来，在全国各地建立起不少以沼气为纽带的生物质能生态示范点，都取得了明显的社会、环境和经

济效益，要大力推广。

生物质能开发与利用，除了要有效地利用生物质能资源外，还应大力增加生物质的产量，选育和大面积种植高光效的植物。所谓高光效植物，就是指那些光合作用效率高于0.5%的植物，如甘蔗、高粱、玉米、甜菜、甘薯等。例如，我国沈农甜杂2号就比目前栽培面积最大的Rio品种，茎秆产量高21.6%，籽粒产量高116%，亩产糖量也高，是糖、粮兼收的优良品种，是好的能源作物。据报道，南美地区已培养一种“能源甘蔗”新品种，其单位面积的干物质产量比普通甘蔗高2—3倍。新西兰用无土栽培法快速繁殖杨树，一个树芽在一年内就能繁殖100万棵树苗，这种小树苗三个月内便可长成1.5m高的幼树。美国宾州大学培育出一种杂交白杨，光合作用效率高达6%，不但生长快，而且可以密植。特别是美国加州大学卡尔文教授的研究成果，他以热带大戟科植物为基础，培育出好几种“石油植物”。这就开辟了一个通过光合作用利用太阳能的新途径。

生物质能开发与利用是一项具有战略意义的工作，应予以高度重视。要大力研究生物质能转换的新技术、新设备，以提高能量转换效率，还要开展生物质能资源综合利用，促进农业生态建设。

中国农村能源建设的目标是在不破坏生态环境为代价的条件下增加农村用能供应。开发利用生物质要坚持“节约与开发并重，近期以节能为主”和“因地制宜，多能互补，综合利用，讲求效益”的指导方针。要树立因地制宜，分类指导，择优发展和质量第一的思想。要坚持能源、环保卫生、肥料或饲料兼顾的原则。要达到能源、生态环境和社会效益统

四、课程性质、内容和教学要求

(一) 课程性质 生物质能工程课是农村能源开发利用专业学生在学完生物化学、微生物学、热力工程及传热学、力学和机械工程学课程以后，运用现代工程科学技术理论和方法来研究生物质能源的工艺方法和技术装备，以提高生物质原料的转换效率和生物质能的热利用效率，是一门专业课。

(二) 教材主要内容

1. 生物质沼气发酵。
2. 生物质酒精发酵。
3. 生物质热化学转换技术。
4. 能源植物、植物油和薪炭林。
5. 生物质能生态工程。

(三) 教学基本要求 生物质能工程课程教材应使学生通过课堂讲授掌握：

1. 生物质原料的物料特性、转换工艺及提高原料转换效率的途径。
2. 生物质能的燃料特性、利用生物质能的技术装备和提高热利用效率的技术措施。
3. 工艺设备的参数选择和计算。
4. 生物质能利用和运行过程中排放物的管理控制和综合利用途径。
5. 生物质能工程设备的运行管理及安全技术。
6. 学生能利用所学知识、按地方资源条件制定合理的生物质的生产、转换工艺和热能利用实施方案，促进农业生态良性循环。

第一篇 生物质微生物发酵

第一章 沼气发酵工艺

沼气发酵是指有机物在厌氧条件下，被沼气微生物分解代谢，最后形成以甲烷和二氧化碳为主的混合气体，是一个生物化学过程。

沼气发酵工艺是指从发酵原料到生产沼气的整个过程所采用的技术和方法。主要包括原料的收集和预处理，接种物的选择和富集，消化器的启动和日常的操作管理及其它相应的技术措施。

第一节 沼气发酵原料和原料产气特性

一、沼气发酵原料

原料是供给沼气发酵微生物，进行正常生命活动所需的营养和能量，是不断生产沼气的物质基础。

农业剩余物、秸秆、杂草、树叶等，猪、牛、马、羊、鸡等家畜家禽的粪便，农、工业产品的废水废物（如豆制品的废水、酒糟和糖渣等），还有水生植物都是用来进行沼气发酵的原料。为了确切地表示固体或液体中有机物质的含量，一般采用如下一些方法来测定原料的有机质的量。

（一）总固体（TS）、挥发性固体（VS） 原料中总固体、挥发性固体、水分和灰分之间的组成关系如图1—1。

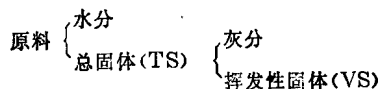


图1—1 TS、VS、水分、灰分之间的关系

总固体（TS），（Total Solid），又称干物质，是指发酵原料除去水分以后剩下的物质。测定方法为：把样品放在105℃的烘箱中烘干至恒重，此时物质的重量就是该样品的总固体重量。

计算式：

$$TS = \frac{\text{样品中 TS 重量 } W_{\text{干}}}{\text{样品重量 } W_s} \times 100\%$$

挥发性固体（VS），（Volatile Solid），是指原料总固体中除去灰分以后剩下的物质。测定方法为：将原料总固体样品在500—550℃温度下灼烧1h，其减轻的重量就是该样品的挥发性固体含量，余下的物质是样品的灰分，其重量是该样品灰分的重量。

计算式：

$$VS = \frac{TS\text{样品重量}W_{\text{干}} - \text{样品灰分重量}W_{\text{灰}}}{TS\text{样品重量}W_{\text{干}}} \times 100\%$$

在沼气发酵中，沼气微生物只能利用原料的挥发性固体，而灰分是不能利用的。因此应该用挥发性固体重量来表示原料重量更确切些。考虑到测定挥发性固体含量要比测定总固体含量测试条件要求更高，在农村不具备这个条件，而农村沼气发酵原料（粪便和秸秆）在风干状态下的总固体百分含量又比较稳定，测定一次基本可以作为常数通用，一般就使用总固体重量表示农村原料重量，计算比较方便。农村常用发酵原料总固体含量见表1—1。

表 1—1 农村常用发酵原料总固体含量（近似值）%

发酵原料	总固体含量 TS	水分含量
风干稻草	83	17
风干麦草	82	18
玉米秆	80	20
青 草	24	76
人 粪	20	80
猪 粪	18	82
牛 粪	17	83
人 尿	0.4	99.6
猪 尿	0.4	99.6
牛 尿	0.6	99.4

（二）生化需氧量（BOD） 是指微生物将溶液中的有机质分解所消耗氧的量称生化需氧量（Biochemical Oxygen Demand）。测定生化需氧量要保持一定的温度和一定的时间，通常在20℃温度下，经5天培养后所消耗的溶解氧量，用BOD₅表示，单位为 kg/m³。

（三）化学需氧量（COD） 是指在一定条件下，溶液中有有机质与强氧化剂重铬酸钾作用所消耗氧的量，即称为化学需氧量（Chemical Oxygen Demand）。单位为 kg/m³ 或mg/L。1 kg COD可能生产CH₄约0.35m³。

COD和BOD被普遍用来表示原料中含有机质的量，BOD基本上反映了能被微生物分解的有机质的量。不易被微生物分解的物质，其COD可能比BOD大得多。生活污水的BOD₅与COD之比常在0.4—0.8之间。

农作物秸秆碳素含量高，其C/N>30/1。秸秆由木质素、纤维素、半纤维素、果胶和蜡质等化合物组成。进行沼气发酵秸秆难于消化，其中木质素不能被分解，纤维素分解也比较慢。所以，农业废物沼气发酵时的分解率一般只有50%左右。而可溶性原料就较容易消化，进行沼气发酵时，废水中的可溶性有机质往往可去除90%以上。

秸秆表面有一层蜡质，很不容易被沼气微生物所破坏。因此，秸秆沼气发酵时应进行预处理，要求侧细。

动物粪便是富氮性原料，其C/N<25/1。粪便类原料颗粒较细，含有较多低分子化合物，原料分解产气速度快，不必进行预处理。

二、秸秆、粪便沼气发酵原料的配比

(一) 碳氮比 (C/N) 碳氮比是指原料中碳素含量与氮素含量之比, 用C/N表示。

碳元素为沼气微生物的生命活动提供能源, 又是形成甲烷的主要物质; 氮元素是构成沼气微生物细胞的主要物质。微生物对碳素和氮素的需求量有一定的比例。如果沼气发酵原料中的 C/N 过高, 例如 30:1 以上, 发酵就不易启动, 而且产气效果不好。

根据科研部门和我国农村沼气发酵的试验和经验, 投入消化器的原料的 C/N 以 20—30:1 为宜。

农村常见发酵原料碳氮比 (近似值) 见表1—2。

表 1—2 农村常见发酵原料碳氮比 (近似值)

原 料	C %	N %	C/N
干 麦 草	46	0.53	87:1
干 稻 草	42	0.63	67:1
玉 米 秆	40	0.76	53:1
落 叶	41	1.00	41:1
大 豆 茎	41	1.30	32:1
野 草	14	0.54	26:1
花生茎叶	11	0.59	19:1
鲜 羊 粪	16	0.55	29:1
鲜 牛 粪	7.6	0.29	26:1
鲜 马 粪	10	0.42	24:1
鲜 猪 粪	7.8	0.60	13:1
鲜 人 粪	2.5	0.85	2.9:1

注意: 表中所列 C/N, 并不是沼气发酵微生物所能够完全利用的。

不同形式的碳素, 被微生物利用的难易程度很不一样。例如纤维素、半纤维素、葡萄糖、木质素都是碳水化合物, 都含有碳素, 但葡萄糖就很容易被沼气微生物利用产生沼气, 微生物对氮素的利用也是如此。

C/N过小时, 过量的氮变成可溶性氮, 导致料液“氨中毒”, 会使发酵停止。

发酵原料 C/N 的计算:

混合原料的 C/N 为各种原料碳量和与氮量和之比。

$$\text{即: } K = \frac{C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + \dots}{N_1X_1 + N_2X_2 + N_3X_3 + \dots} = \frac{\sum C_iX_i}{\sum N_iX_i}$$

式中: C——C%;

N——N%;

X——原料重量;

K——C/N。

例: 某农家有玉米秆500 kg, 人粪80 kg, 要求配成 C/N = 25/1 的混合原料, 需要多少猪粪?

设需猪粪为 X kg

查表知：玉米秆 C 40%，N 0.75%，
人粪 C 2.5%，N 0.85%，
猪粪 C 7.8%，N 0.60%。

$$\therefore \frac{25}{1} = \frac{500 \times 40\% + 80 \times 2.5\% + X \times 7.8\%}{500 \times 0.75\% + 80 \times 0.85\% + X \times 0.60\%}$$

$$X = 1267.36 \text{ kg}$$

农户需用猪粪 1267.36 kg 满足配料要求。

(二) 浓度 沼气发酵料液浓度是指沼气发酵料液中发酵物质的百分含量。采用发酵物质总固体 (TS) 表示者称总固体浓度 TS%，采用挥发性固体 VS 表示者称挥发性 VS% 浓度。例如 100 kg 发酵液中含总固体 8 kg，则总固体浓度 (TS%) = 8%；100 kg 发酵液中含挥发性固体 7 kg，则挥发性固体浓度 (VS%) = 7%。

例：使用猪粪为单一原料的消化器中，发酵料液总重量为 4000 kg，据计算所投猪粪中的总固体量为 320 kg

$$TS = \frac{320}{4000} \times 100\% = 8\%$$

混合发酵原料的料液总固体浓度算法：

$$m_0 = TS\% = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots}{Z} \times 100\%$$

式中：X——原料总固体量；

Z——发酵料液总重；

m_0 ——发酵料液总固体百分含量，即 TS%。

例：一粪便和秸秆混合投料的沼气池，据计算投入猪粪的总固体为 60 kg，人粪的总固体为 40 kg，麦草的总固体为 200 kg，沼气池料液总量为 3750 kg。

$$\therefore m_0 = \frac{60 + 40 + 200}{3750} \times 100\% = 8\% = TS\%$$

知道投料原料数量后，要按照一定的浓度来配制发酵料液，计算加多少水：

$$\text{知道 } m_0 = \frac{\text{总固体重量}}{\text{发酵液重量}} \times 100\%$$

$$\text{发酵液重量} = \text{发酵原料重量} + \text{水重量}$$

$$\text{总固体重量} = \text{原料量} \times \text{总固体}\%$$

$$\therefore m_0 = \frac{X_1 m_1 + X_2 m_2 + X_3 m_3 + \dots}{X_1 + X_2 + \dots + W} \times 100\% = \frac{\sum X_i m_i}{\sum X_i + W} \times 100\%$$

式中：X——原料重量；

m ——某种原料总固体%量；

W——加水量；

m_0 ——发酵液浓度。

例：某农户有猪粪 2000 kg，人粪 300 kg，玉米秆 1000 kg，要配制总固体浓度为 10% 的沼气发酵液，要加水多少？

查表知：猪粪 TS% = 18%

人粪 = 20%

玉米秸 = 80%