

生物能——沼气的利用

河北省植保土肥研究所

伟大领袖毛主席对于群众办沼气这件事，曾经发出指示：“这要好好地推广”。目前，一个广泛应用沼气的热潮，正在我省广大农村兴起。这种生物能的利用，对于解决我省农村燃料、肥料、饲料的矛盾，改变农村卫生面貌，解放妇女劳动力，具有重大意义。为了促进扩大沼气的利用，我们搜集整理了有关沼气基本知识方面的资料，供各地参考。

一、沼气的产生、来源及用途

沼气是一种混合气体，其中含有甲烷（占60—70%）、二氧化碳（占30—40%）以及少量的硫化氢和氨等，有蒜臭味。沼气的主要成份是甲烷，所以它的性质与甲烷近似。

甲烷是无色、无味的可燃气体，燃烧时是淡蓝色火焰，熔点 -182.5°C ，沸点 -161.5°C 。比空气轻，比重为 0.55。微溶于水， 20°C 时溶解度为 0.033%。燃烧时，每一个体积甲烷需二个体积的氧气。其反应式如下：



一般空气中，大约含有氧气 20.81%。因此甲烷和空气理论混合量为空气的 9.47% 始能完全燃烧，即燃烧一份甲烷需十份空气。一般每立方米的甲烷，燃烧时可放出热能 5200—5900 千卡（量热单位，即 1 立方公分的水加热使温度升高 1°C 所需要的热量称为 1 卡）。

沼气的产生，是由于沼气细菌分解动植物的有机体所形成的一种气体。在粪坑、污水坑塘和池沼里，常常见到有气泡发生，这就是沼气。这种气体含有甲烷，当燃烧时产生很大的能量，这种能量称为生物能。

沼气的能量来源，系来自太阳的光和热。

当植物在生长过程中，由于叶绿素的同化作用，从简单的二氧化碳和水，合成了复杂的有机质，在合成当中，吸收了大量的日光能量，贮藏在有机体内成为潜在能。植物死亡后，有机体被微生物分解，这些潜在的能量以不同的形式释放出来，沼气发酵就是在嫌气微生物作用的过程中，由于有机体中潜藏的能量没有消失，只是从这一种贮藏的形态转变为另一种贮藏的形态而已。例如由嫌气性微生物分解有机体最后形成的沼气，是一种较为复杂的有机化合物，内部蕴藏了大量能，当沼气燃烧时，这种能量即转变为光和热。

沼气，是一种廉价的生物能源，可从杂草、秸秆、树叶、人畜粪尿等任何生物有机体发酵制成，是自然界很丰富的资源。充分利用这种能量，将取之不尽，用之不竭。

沼气的用途很广，既可作燃料，又可作化工原料。用沼气作燃料，发热量很高，可以烧饭、点灯或做动力。每一立方米沼气点一盏相当 60 瓦左右电灯亮度的沼气灯，可供 5—6 小时照明。用来烧水可烧开 130 斤水。每一立方米沼气所能产生的热量，大约等于 1.6 斤煤炭，或 0.66 升汽油，或 1.1 度电力（见表 1）。在农村使用沼气烧饭，不但清洁卫生，同时有利于解放妇女劳动力。

表 1 沼气与其它燃料热值能量的比较

燃料种类	单位	热 值
纯 甲 烷	1 立方米	8,580 大卡
沼气(含60%甲烷)	1 立方米	5,500 大卡
煤 气	1 立方米	4,000 大卡
汽 油	1 公 升	7,300 大卡
柴 油	1 公 升	9,500 大卡

在化工方面，沼气中所含的二氧化碳是制造冷冻剂的原料；所含的甲烷可做碳黑、人造革、染料、有机玻璃、电影胶片等轻化工产品。

农作物秸秆、粪便、污水，经过沼气发酵，可以杀死蚊、蝇、寄生虫卵和病菌，有利于防病灭病，改善环境卫生。据四川省中江等地调查，沼气发酵约可消灭虫卵 90% 以上。

二、沼气发酵的原理

1. 沼气发酵的微生物

沼气细菌在嫌气条件下分解有机质产生沼气。参与发酵过程的微生物是多种多样的，它们都是厌气性细菌，需要没有日光、氧气和氧化剂的生活环境。沼气细菌生活的温度范围在 4—65℃ 之间。温度越高，二氧化碳产量增加，甲烷含量相对减低，气体的热值也随之降低。一般以 30—37℃ 对甲烷产气比较适宜。沼气细菌能忍受很大的压力，在 40 公尺海底污泥中也能生存。氨态氮是沼气细菌的良好氮素营养。每公升原料中最少有 0.1 克以上的氨态氮才能很好地发酵。如果达到 1—1.2 克则发酵更好。如氨态氮浓度过高，则对沼气细菌的发酵产生抑制作用。沼气细菌要求中性、微碱性的环境条件，以 pH 7.2—7.8 为最适宜，超出 pH 6—8 范围以外，均会阻碍发酵的进行。根据细菌在分解过程中的作用，一般可分两大类：

第一类群 包括各种嫌气性的纤维素分解细菌、果胶分解菌、丁酸细菌以及在嫌气条件下分解蛋白质、脂肪、碳水化合物的各种微生物。由于发酵的原料中，纤维素所占的比例较大，所以纤维分解菌在沼气发酵中起着重要的作用。经各种微生物共同作用的结果，将复杂的有机质逐渐分解生成以醋酸、乳酸、丁酸、甲醇、乙醇、丁醇为主的简单有机物以及二氧化碳、氢气、硫化氢、氨等无机物。

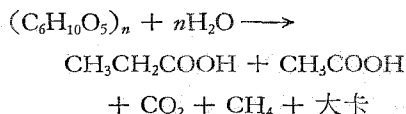
第二类群 是将有机酸及醇类转化为甲烷的微生物。这类微生物统称为沼气细菌（或甲烷细菌）。

沼气细菌，都是嫌气性的细菌。一般为中温型，少数为高温型。都是有机营养型细菌，能

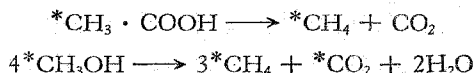
同化简单的有机酸与醇，不能分解有机质，能使二氧化碳还原生成甲烷。不能分解蛋白质，而以氨作为氮素营养。例如：奥氏甲烷杆菌、孙氏甲烷菌、甲烷八联球菌、马再氏小球菌等。

2. 沼气发酵的化学机制

(1) 纤维素分解细菌分解纤维素时产生甲烷。

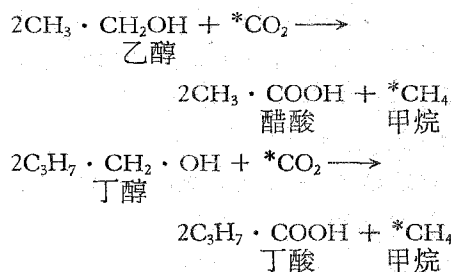


(2) 由酸和醇的甲基形成甲烷。



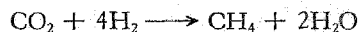
这一反应过程用 ^{14}C 示踪原子试验所证实。式中 *C 即同位素 ^{14}C 示踪原子，甲基碳原子为含有 ^{14}C 的醋酸，它所形成的甲烷有同位素 ^{14}C ，证明甲烷是由甲基直接形成的。

(3) 由醇的氧化使 CO_2 还原形成甲烷及有机酸。



这一反应过程是用含有同位素 ^{14}C 的二氧化碳 ($^{14}\text{CO}_2$) 由奥氏甲烷杆菌形成带有同位素 ^{14}C 的甲烷，证明甲烷可由二氧化碳还原而形成。

(4) 利用氢使 CO_2 还原形成甲烷。



甲烷形成有上述几种途径，但沼气发酵是各种微生物综合作用的过程，因而在同一发酵池中可能有不同的发酵过程同时进行。

三、沼气发酵的条件

1. 沼气发酵原料的配合

可供沼气细菌应用的材料很多，牲畜粪便、厩肥、人粪尿、农作物秸秆、杂草、树叶、薯秧、豆

壳、造纸厂的废料、屠宰场的废物、泥炭、有机垃圾等等,凡是含有较多的有机物,特别是含有纤维素较多的材料都可作为沼气发酵的原料。但不同的是,有些有机物产生沼气多,有些产生沼气少;有些产生沼气快,有些产生慢;有些材料可以单独利用,有些材料需混合利用。在选择和配合原料时,必须照顾到沼气细菌的要求。甲烷菌生长繁殖,需要有足够的氮素及磷作营养,才能生活旺盛,有利于纤维质的分解。因此,沼气发酵原料的配备,应根据原料中所含的成分,既有丰富的纤维素物质,即碳素营养,又有足够的氮素营养。并要有一定的比例,一般碳氮比例以 25:1 较好(见表 2)。总的看,选择发酵材料时,应从发气速度、产气量和沼气成分(见表 3)等方面综合考虑,其中以产气量和发气速度尤为重要。原料不同,产生沼气的量也不同。各地原料来源不一,不能强求一律。要因地制宜,就地取材,尽量做到合理使用。

2. 原料和水的比例

人工制取沼气,除选择一定原料配合外,尚需加入适量的水。水分过多,发酵液中干物质少,甲烷产气量降低;如水分过少,发酵液太浓,容易积累有机酸,发酵作用受到抑制,同时容易形成表面结层,延迟产气时间。据安徽阜阳地区试验结果,含水量在 85—92% 之间效果很好。沈阳农学院试验资料以 80% 含水量(半腐熟马粪:稻草为 3:1),产气最多。

表 2 常用沼气原料的碳氮比(近似值)

原 料	碳素占原料重量 (%)	氮素占原料重量 (%)	碳 氮 比
干 麦 草	46	0.53	87:1
干 稻 草	42	0.63	67:1
玉 米 秆	40	0.75	53:1
落 叶	41	1.00	41:1
大 豆 茎	41	1.30	32:1
野 草	14	0.54	27:1
花生茎叶	11	0.59	19:1
鲜 羊 粪	16	0.55	29:1
鲜 牛 粪	7.3	0.29	25:1
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

表 3 1 公斤干物质产生的沼气的量

沼气发酵原料	沼气的量(公升)	沼气中含甲烷量(%)
牛 粪	313	60
松 树 叶	308	69
马 铃 薯 茎 叶	356	60
谷 糠	226	62
亚 麻 秆	290	59
青 草	286	70
玉 米 秆	250	53
树 叶	155~216	59
造纸厂废水	500	70
甜 菜 叶	490	60
酿酒厂废水	500~600	58
废 物 污 泥	640	50
牛 奶 厂 废 水	700	50
滤纸纤维素	676~855	50
猪 粪	195	—
冬季作物秸秆	175	58

此表引自有关资料

为了适合以上要求,应预先测定发酵料本身的含水量,以便确定原料和水的配合比例。测定方法是:先将备好的物料拌匀,然后取出一部分样品,烘干或晒干,如采用晒干办法,一直晒到重量不下降为止。若取 10 斤发酵料测定,晒干后剩下 4 斤,其含水量则为 60%。按含水量 90% 进行配料时,根据发酵材料的含水 % 数,可依(表 4)所列的料、水比例进行加水,使发酵材料含水达到 90% 的要求。例如发酵材料含水为 20% 的配料,则每斤配料需另加 7 斤水。

表 4 料 水 配 合 比 例 表

沼气发酵原料本身含水量 (%)	每斤原料另外加水斤数 (市斤)
20	7
30	6
40	5
50	4
60	3
70	2
80	1

3. 温度对发酵的影响

在发酵过程中,甲烷菌要求一定的温度。温度适宜,沼气细菌生命活动最活跃,产生沼气就多就快。如果温度不适宜,沼气细菌活力弱,

产生的沼气也少。所以，温度的高低对沼气的产生量有很大关系。

沼气发酵分高温发酵和中温发酵两种类型。高温发酵,适宜温度为 50—55℃;中温发酵为 30—35℃。高温发酵的菌并不是特殊的种,而是菌逐渐适应的结果。

沼气细菌对温度的升降极为敏感,温度升降 2—3℃,就会明显地增加或减少沼气的产量。沼气池的温度,应保持在 20—40℃ 之间,在此范围内,温度越高越好(见表 5)。

表 5 温度对沼气产量的影响

发 酵 温 度 (℃)	每公斤干物质所产生的沼气量
10	450
15	530
20	610
25	710
30	760

根据我们初步试验,鲜马粪发酵温度以 33℃ 产气量最多,半腐熟马粪 40℃ 时产气最高。四川中江、锦竹等地测定,沼气池内温度在 10℃ 时,仍能产气,8℃ 以下产气很少或不能产气。

4. 适宜的酸碱度

甲烷菌在 pH 值 7—8 之间,最宜于生长繁殖。在发酵过程中,由于物料产生了有机酸,使发酵液逐渐变酸。据我们试验,入料时 pH 为 7.5,发酵后 pH 渐渐下降至 6,有的甚至在 6 以下,所以在下料时最好掌握 pH 在 8—8.5。

为了达到一定的酸碱度,在下料入池时用 pH 试纸测定,如小于 7,可加石灰或草木灰,一般用量 0.1—0.2%。过碱时 (pH 值大于 8.5 时) 可酌情加发酵过的大粪稀,或烂菜水等进行调整。

5. 接种问题

沼气池初次装料要进行接种,这样可以加速物料的发酵和加速产气。如果不进行接种,发酵时间长,产气慢。据我所试验,用马粪、麦壳 (3:1),预先堆沤三天,调整 pH 7.5,发酵温度 35℃,分别装入发酵瓶中,接种污泥液 3000 毫升,与不接种污泥的对比,结果是接种的产气日

期提前 13 天,产气量多 3600 毫升(见表 6)。

表 6 接种污泥与不接种污泥的试验

配 料	产气日期	产 气 量 (毫升)	
		10 天	20 天
马粪、麦壳(3:1)3000克 加污泥液 3000 毫升	23/8	6600	16200
马粪、麦壳(3:1)3000克 加普通泥液3000毫升	4/9	3600	12600

注:下料日期为 8 月 22 日

6. 搅拌

在物料发酵过程中,比较轻的粪料容易浮在液面上,另一方面由于甲烷菌分解出来的气体,将纤维顶到池液表面上来,形成很厚一层硬皮,使气体不能顺利地上升,减少产气量。因此,应该经常搅拌,打破液面结皮,使物料均匀,温度一致,加强甲烷菌的生长繁殖,从而增加沼气的产量。

四、沼气发酵肥料的肥效

1. 沼气池肥料的肥效

沼气池肥料是一种很好的有机肥料,含有丰富的氮、磷、钾。特别是有机质经过沼气发酵后,氮素损失少,速效性养分大为提高(见表 7)。

表 7 厩肥在不同处理的情况下氮素含量变化情况

氮 素	露天堆放的厩肥	经过沼气发酵的厩肥
蛋 白 质 氮 素	51.2	62.0
无 机 态 氮 素	19.8	33.0
全 氮 量	71.0	95.0
氮 素 损 失 量	29.0	5.0
总 共	100%	100%

据绵阳地区农科所分析,沼气池肥料氮态氮增长 15.87—21.82%;有效磷增长 20—87.7%。施用这种肥料可增产粮食 20—30%。例如绵阳县永兴公社四队玉米亩施沼气池肥料 170 担,亩产玉米 644 斤,比对照亩产 503 斤增加 141 斤,即增产 28%。集凤公社九大队小麦施沼气池肥平均增产 21%。龙台公社五大队作种薯底肥,比施用普通肥的提前七天出土,苗齐苗壮。有的用马铃薯做试验,结果是:施用

沼气池肥比施用普通粪肥增产 27%。

通过试验结果看,采用沼气池发酵,不仅增加速效氮的含量,而且可以提高有效磷,从而对农作物的作用有良好的增产效果。

2. 沼气池肥料的组成及性质

沼气发酵用的原料种类很多,牲畜粪、秸秆、杂草、树叶、稻草、麦秸、谷糠、薯秧、有机垃圾等有机物质,此外还有污泥及石灰等。所以沼气池肥料不但含有氮、磷、钾,而且还含有钙、镁、铁及一些微量元素。

这些有机物质,由于在嫌气条件下进行发酵,其中含氮有机物质分解而成氨态氮,因为空气隔绝不能进行硝化,所以不能生成硝酸态氮。有机质中的硫生成硫化氢或与钾、钙等生成硫化物沉淀。由于发酵温度较低,有机物质分解缓慢,留下来的腐植质较多,可以增加土壤有机质,改良土壤物理性。

3. 沼气池肥料的保存

由于沼气池肥料含有较多的易挥发的氨态氮,如果处理不当,肥分就要受到损失。据日本试验资料,发酵后的沉淀物经干燥处理,总氮量及氨态氮含量显著减少,特别是氨态氮减少更为明显(见表 8)。

因此,最好在出料时随时施到地里,并紧跟

表 8 发酵沉淀物经不同处理含氮量变化表

发 酵 沉 淀 物	灰分%	总氮量%	氨态氮%
未经处理的发酵沉淀物	69.98	6.80	4.96
干燥处理后的发酵沉淀物	64.01	2.31	0.70
损 失 量	5.97	4.49	4.26

覆土。如当时不用,应储存在不漏水的池子里,加盖防止蒸发。同时加入 0.1—0.2% 的过磷酸钙使氨态氮变成磷酸一铵($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$)或磷酸二铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4]$ 。磷酸一铵和磷酸二铵是比较稳定的,磷酸二铵只有在高温下才能分解失去氮而转化为磷酸一铵。所以发酵液中加入过磷酸钙可以保存氨态氮。如没有储存池,可用土吸收或倒入粪堆里,将堆拍紧保存。有泥炭资源的地方,用泥炭吸收更好。

4. 沼气池肥料的施用

发酵过的熟料,一般都是液体或半液体状态,所含固体物质不多,可以按液体肥施用,做追肥和底肥,每亩 2000—4000 斤。在水浇地里,可结合灌水,直接施用。在旱地最好沟施,紧跟耕翻,不要让太阳曝晒,以免养分损失。据有关资料介绍,分期施用比一次做基肥较好,这样不仅提高肥效,并且可以减少液肥储存和运输上的困难。

(上接第 24 页)

论的同时,用部分精力搞与理论有关的应用研究。在这些应用研究中,我们采取开门办所的方针,走出去和工人结合,坚决依靠工人的智慧和经验,大搞群众运动。在这段科研实践中我们深深体会到:毛主席关于“知识分子如果不和工农民众相结合,则将一事无成”的教导是一条颠扑不破的真理。几年来,我们和工人一起,除了科研业务方面的收获之外,更重要的是学

习工人阶级的好思想好作风,在改造世界观方面也有了新的收获。今后我们决心沿着毛主席指引的这条路继续走下去,为赶超国际先进水平贡献一份力量。

参 考 资 料

- [1] 陈念贻,郑龙如:化学通报,1975,6。
- [2] 陈念贻:中国科学,1974,6,580。