

声 明

本电子书由中国农业出版社数字出版，相关权利归中国农业出版社拥有。读者、著作权人和（或）依法可以行使著作权的权利人如有疑问，请与中国农业出版社联系：

地址：北京市朝阳区麦子店街 18 号楼

邮编：100026

电话：010-64194921 010-65005894

E-mail:lishanzhao@sina.com

中国农业出版社

中国沼气技术

姚永福 徐洁泉等编著

农业出版社

中国沼气技术

姚永福 徐洁泉等编著

* * *

责任编辑 刘 存

农业出版社出版（北京朝阳区枣营路）

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092mm 32 开本 12 印张 244 千字

1989年12月第1版 1989年12月北京第1次印刷

印数 1—996 册 定价 4.95 元

ISBN 7-109-00642-5/S·485

前 言

中国开发利用沼气，从罗国瑞* 先生那个时候算起，已有近60年的历史。70年代以来，特别是党的十一届三中全会以来，由于各有关科研单位、大专院校、沼气推广部门的共同努力，沼气科研和沼气技术获得了前所未有的发展，促进了沼气生产水平的迅速提高。全国农村，已建户用小沼气池500多万口，2000多万人用上了沼气燃料，沼气和沼肥的综合利用成效显著，办沼气带来了能源、肥料、卫生和农田生态诸方面的效益。这些在世界上处于领先地位，中国被誉为“沼气之乡”。联合国在中国成都农牧渔业部成都沼气科学研究所内设立了沼气研究和培训中心，从亚洲、欧洲、拉丁美洲、非洲的许多国家不断派科技人员到这里学习中国沼气技术，交流沼气发展经验。沼气作为一门新兴技术，正在科学的轨道上不断发展。

为了把中国的沼气技术，特别是近年来发展起来的新技术科学化和系统化，让它更好地为沼气生产服务，农牧渔业部成都沼气科学研究所组织有关同志编著了《中国沼气技术》。该书以农村沼气为主，深入浅出，在讲清基本原理的前

* 罗国瑞，中国早期沼气技术的研究和推广者之一，本世纪20年代研究成功水压式沼气池。

提下，从发酵、装置、输配、沼气使用、沼肥综合利用方面系统地介绍了沼气实用技术，同时概括地介绍了城镇大中型沼气工程的基本技术情况，具有科学性和较强的实用性，适合沼气工作者、特别是技术人员使用。

该书是集体劳动的产物。具体编审工作由下列同志完成：

主编：姚永福。

本书作者：第一章：钱贻伯、顾蕴璇、张辉、徐元生、熊承永、徐洁泉、姚永福；第二章：方国渊；第三、四章：姚永福；第五章：张太明；第六章：徐洁泉。

全书审稿：农牧渔业部成都沼气科学研究所所长、中国成都亚太区域沼气研究和培训中心主任、副研究员赵一章。

在编写当中，广泛查阅并利用了全国有关大专院校、科研单位和生产部门发表了的研究成果和技术资料，同济大学吴念劬参加了有关章节的审稿工作。在此一并表示感谢。由于我们水平所限，谬误之处，敬希读者批评指正。

编著者

一九八七年一月

目 录

前言

第一章 沼气发酵	1
第一节 发酵原理	1
第二节 发酵原料	40
第三节 发酵工艺条件及控制	65
第四节 发酵工艺	83
第五节 故障排除	112
第六节 安全发酵	117
第二章 发酵装置	120
第一节 水压式沼气池	120
第二节 其它沼气池	229
第三章 沼气输配	243
第一节 输配系统构件	243
第二节 输配系统设计	252
第三节 输配系统安装	261
第四节 检测验收	264
第五节 故障排除	268
第四章 沼气使用	271
第一节 沼气燃烧原理及基本参数	272
第二节 沼气燃烧方式	282
第三节 沼气炊事燃具	287
第四节 沼气灯	300

第五节	沼气作内燃机燃料	304
第六节	沼气的其它用途	312
第五章	沼气肥的综合利用	322
第一节	沼气肥的性质	322
第二节	沼气肥的施用	330
第三节	沼气肥养鱼	334
第四节	沼渣种菇	339
第五节	沼渣养蚯蚓	346
第六章	城镇沼气	350
第一节	城镇沼气发酵装置	351
第二节	酒厂和酒精厂办沼气	362
第三节	畜禽场办沼气	367
第四节	城粪的厌氧处理	370

第一章 沼气发酵

沼气发酵是有机物质（如作物秸秆、杂草、人畜粪便、垃圾、污泥及城市生活废水和工业有机废水等）在厌氧条件下，通过种类繁多、数量巨大、功能不同的各类微生物的分解代谢，最终产生沼气的过程。了解沼气发酵原理、发酵原料特性、发酵环境条件，掌握发酵工艺和技术，是搞好沼气发酵的基础。在这一章，对这几个问题分别进行论述。

第一节 发酵原理

一、发酵微生物

（一）类群与特性 参与沼气发酵的微生物统称为沼气微生物，其中包括不产甲烷菌和产甲烷菌，不产甲烷菌又可分为发酵性细菌和产氢产乙酸细菌（图1—1）。在沼气发酵过程中，这些微生物按照各自的营养需要，起着不同的物质转化作用。复杂的有机物被降解成甲烷，是它们共同作用的结果。

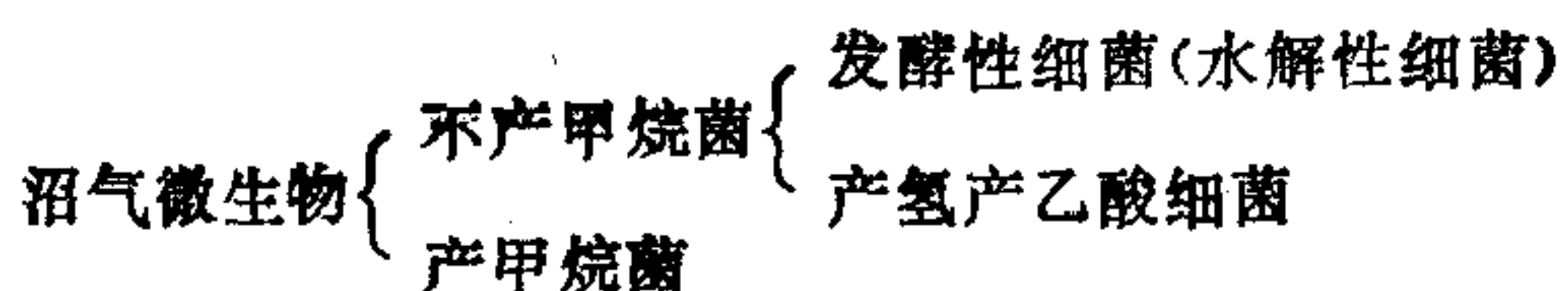


图 1—1 沼气发酵微生物的类群

沼气发酵微生物将有机物最终分解成甲烷，需经过三个阶段。这三个阶段分别由沼气发酵微生物中的某一类群完成（图1—2）。各类菌群微生物所参加的发酵阶段及其作用和特性如下：

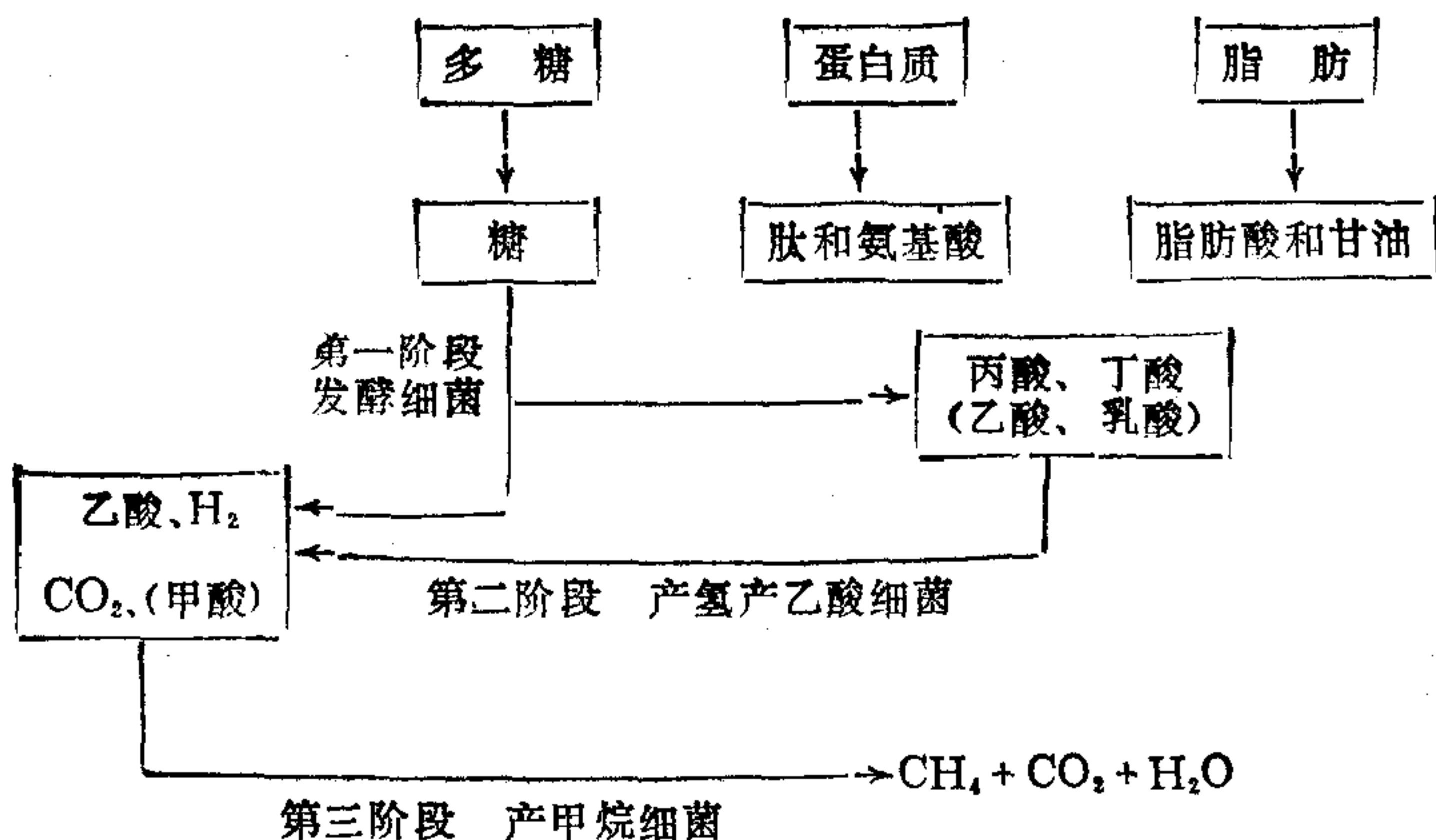


图 1—2 沼气发酵三个阶段的微生物类群

1. 发酵性细菌 这类细菌是一个十分复杂的混合细菌群。它们参加沼气发酵的第一个阶段，其作用是将各类复杂的有机物首先进行水解，然后发酵生成各种挥发酸和氢、二氧化碳。根据对作用底物要求的不同，通常可把它们分为纤维素分解菌、蛋白质分解菌和脂肪分解菌等。

2. 产氢产乙酸细菌 它们参加沼气发酵的第二个阶段，其作用是将沼气发酵第一阶段产生的丙酸、丙酸以上挥发酸以及芳香族酸和醇类等不能被产甲烷菌直接利用的物质进一步分解成乙酸、氢和二氧化碳等。

发酵性细菌和产氢产乙酸细菌的种类和数量随着发酵原

料不同而变化。从对氧气的要求来看，它们主要是厌氧菌和兼性厌氧菌，其中包括丁酸梭菌和其它梭菌、乳酸杆菌、革兰氏阳性小球菌。

3. 产甲烷细菌 它们参加沼气发酵的第三个阶段，其作用是将沼气发酵第一、二阶段产生的乙酸、氢、二氧化碳和甲酸等转化成甲烷和二氧化碳，最终完成沼气发酵的任务。

产甲烷细菌是一群非常特殊的微生物，为严格厌氧菌，对氧和氧化剂非常敏感。它们的生长速度缓慢，繁殖倍增时间较不产甲烷菌长。据研究，绝大多数产甲烷细菌都能利用氢、二氧化碳和甲酸作为生长基质，代谢产生甲烷。

(二) 在自然界的分布 在自然界中沼气微生物的分布很广。凡是有机质分解过程能产生电子受体二氧化碳的地方，如沼泽、污水、湖泊、河湾和海洋的水生沉积物、厌氧污水消化器、动物和人的消化道等，都会产生甲烷。在这些地方，也都有沼气微生物存在。在自然界中甲烷形成的生态环境可分为如下三类，在这三类环境中都存在着沼气发酵微生物。

1. 人畜粪便等复杂有机物的沼气发酵 在这个生态环境中，甲烷形成要经历沼气发酵的三个阶段，因此这个环境中存在有发酵性细菌、产氢产乙酸细菌、产甲烷细菌沼气发酵所有的微生物（图1—3A）。

2. 人畜的消化道和食草动物瘤胃中的沼气发酵 在这个生态环境中，甲烷形成只经过水解和产甲烷两个阶段，不经过产氢产乙酸阶段。这是因为在动物的肠道中食物的停留时间较短，当消化道和瘤胃发酵生成各种脂肪酸时，这些脂肪

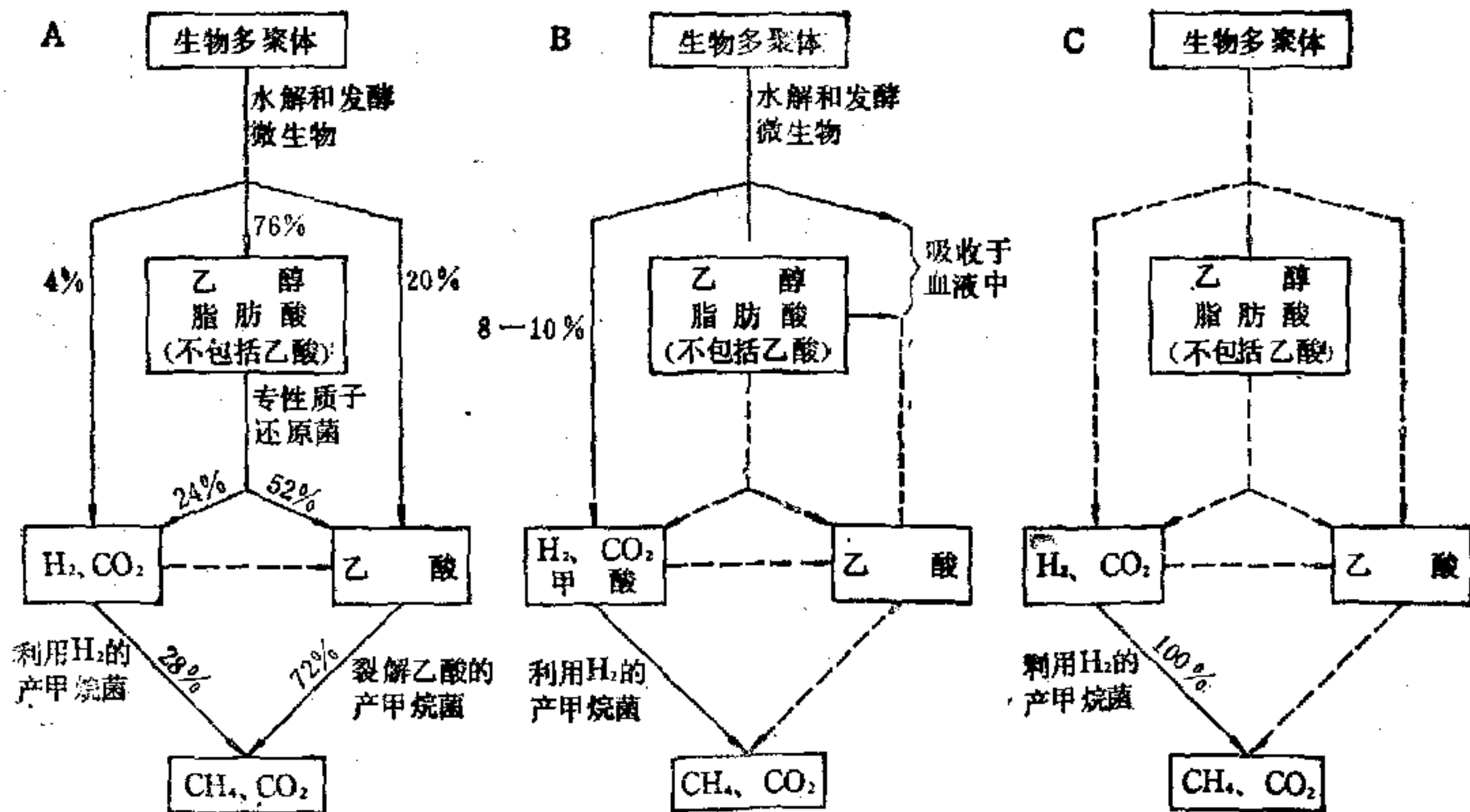


图1—3 三种不同生态环境中形成甲烷的微生物类群
 (图中的百分率代表从无机或有机物形成甲烷时的电子(能量)流量)

酸迅速为肠道内壁所吸收进入血液。因此，在这一生态环境中通常没有产氢产乙酸细菌，只有发酵性细菌和产甲烷细菌（图1—3B）。

3.地质化学过程中的甲烷形成 这种生态环境条件常见于温泉和海底火山的热水口等地方。在这些地方，通过地质化学过程中产生的氢和二氧化碳可形成甲烷。在这里，产生甲烷一般不经过沼气发酵的第一、二阶段，只经过产甲烷阶段，也不存在发酵性细菌和产氢产乙酸细菌，只有产甲烷细菌（图1—3C）。

（三）在沼气池中的分布 自然生态环境中沼气微生物的数量、种类和分布，国外已有较多的报道，但对人工模拟的厌氧生态环境——沼气池中，沼气微生物的报道还不多见。近年来，我国许多沼气科研工作者，对我国农村沼气池中的主要沼气功能菌的垂直分布、消长关系和形态特征进行了研究，并从沼气池和沼气的接种物中分离到了一些主要的产甲烷细菌，取得了可喜的进展。

河北师范大学的马文元和边文华（1983）在研究沼气发酵过程中主要细菌群消长规律时，发现在沼气发酵开始15—20天后，产甲烷细菌的数量可由 9.5×10^2 /毫升增加到 45×10^4 /毫升。浙江农业大学的钱泽澍等采用最大概率数(MPN)法，对以奶牛粪便为原料，连续进料的牧场二级沼气池发酵过程中，各阶段的细菌数量进行了统计，发现发酵性细菌为 5.37×10^{10} /毫升，产氢产乙酸细菌为 2.41×10^8 /毫升，产甲烷细菌为 1.15×10^6 /毫升。农牧渔业部成都沼气科研所赵一章等曾测定了发酵正常、进料浓度低以及加有搅拌装置的

农村沼气池中的主要沼气功能菌的垂直分布。结果如下：

1. 处于沼气稳定发酵阶段的农村沼气池中，厌氧纤维素分解菌、发酵型产氢菌和产甲烷细菌的垂直分布如图1—4和表1—1。在图1—4中，40—50厘米处代表上层，85—90厘米

表 1—1 发酵正常的农村沼气池主要微生物的垂直分布

深 度 (cm)	产 甲 烷 菌		发酵型产氢菌		纤维素分解菌	
	MPN 数量级	菌 数	MPN 数量级	菌 数	MPN 数量级	菌 数
40—50	510	3.3×10^5	520	4.9×10^5	530	7.9×10^3
85—70	530	7.9×10^6	540	1.3×10^6	5210 210	7.0×10^2
115—120	520	4.9×10^6	531 210	1.8×10^6	510	3.3×10^2
150—155	510	3.3×10^7	541 410	1.7×10^6	500	2.3×10^3
189—190	540	1.3×10^7	511	4.6×10^6	500	2.3×10^3

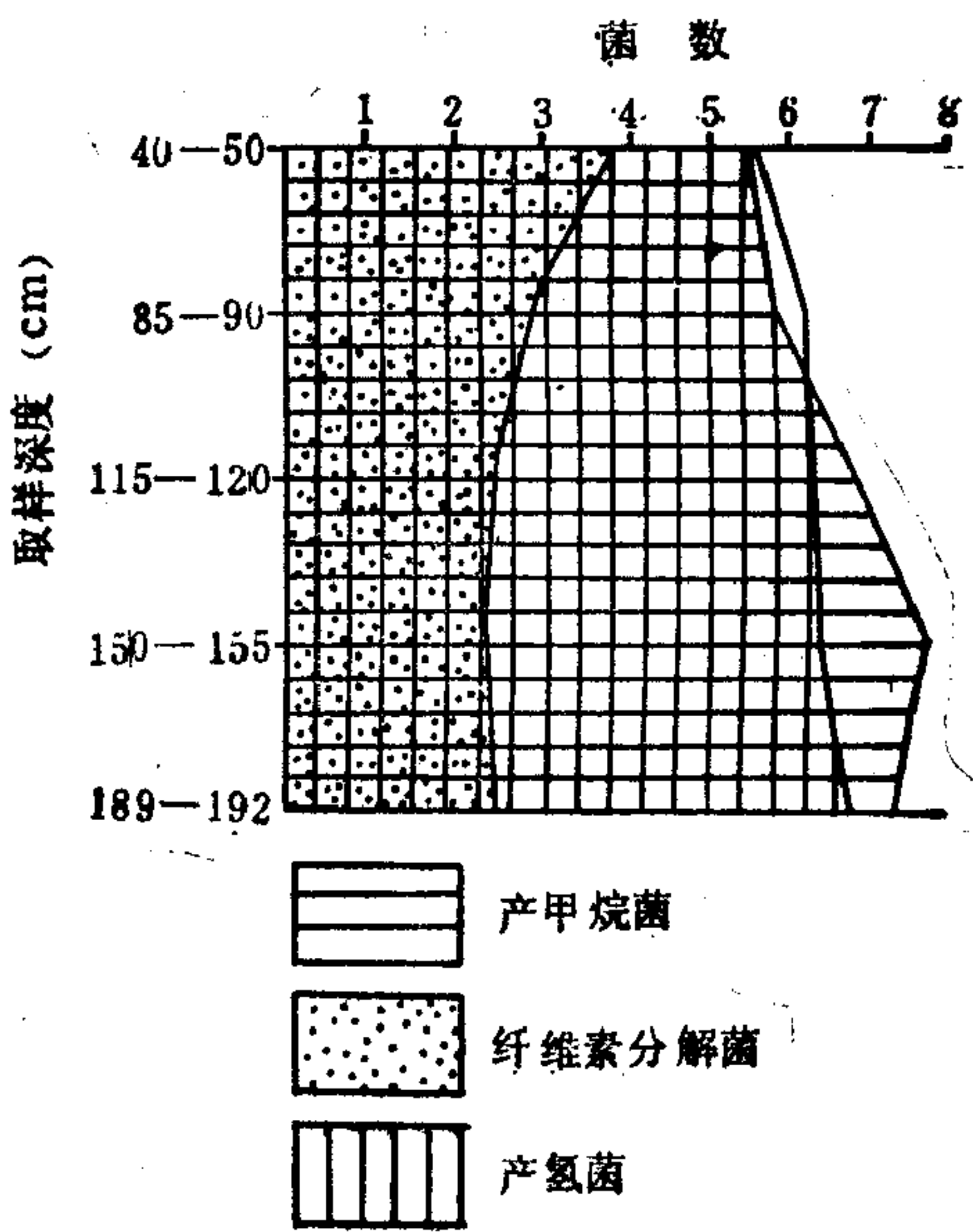


图 1—4 发酵正常的农村沼气池主要沼气微生物垂直分布剖面

处代表中层，115—192厘米处代表底层，155—192厘米处为底层厌氧活性层。图1—4表明，发酵型产氢菌和产甲烷细菌的数量一般是上中层比底层低10—100倍，产甲烷细菌的数量在115—192厘米的底层也要高得多，约为 4.9×10^6 到 3.3×10^7 ，150—155厘米处为底层厌氧活性层的上部，这里产甲烷菌和发酵型产氢菌的数量比所有层次都高。纤维素分解菌的数量分布规律表明，上层的数量较底层约高10倍，中层和底层的数量要相对少些。

2. 进料浓度较低、出料频繁的沼气池，各层的主要菌群的菌数也低。表1—2表明，尽管该类沼气池中产甲烷菌

表 1—2 进料浓度低、出料频繁的农村沼气池主要沼气微生物的垂直分布

深 度 (cm)	产 甲 烷 菌		产 氢 菌		厌氧纤维素分解菌		Eh (mv)	pH	氢酶活力 (H ₂ ,μmol/ mL)		
	MPN 数量级	菌 数	MPN 数量级	菌 数	MPN 数量级	菌 数					
0—26	510	3.3×10 ⁶	532	320	1.4×10 ⁶	530	7.9×10 ⁴	-270	7.25	130	
36—32	520	4.9×10 ⁶	521	210	7.0×10 ⁶	522	220	9.5×10 ⁴	-290	7.40	135
52—58	520	4.9×10 ⁶	542	420	2.2×10 ⁶	531	310	1.1×10 ²	-290	7.35	170
79—85	541 410	1.7×10 ⁶	510	510	3.3×10 ⁶	440		2.1×10 ⁴	-290	7.35	200
105—111	530	7.9×10 ⁶	521	210	7.0×10 ⁶	531	310	1.1×10 ²	-300	7.40	240

及发酵型产氢菌的分布规律与正常沼气池基本一致，但产甲烷菌和发酵型产氢菌均较正常沼气池要低。由于出料频繁，造成菌种流失严重，所以有必要进一步研究这类沼气池，处理好产气与用肥的矛盾。

3.带搅拌装置的农村沼气池中，产甲烷菌的垂直分布如图1—5。图1—5表明：搅拌的沼气池各层产甲烷菌含量明显提高，同不搅拌的“静态”沼气池比较，搅拌池产甲烷菌可增加10—100倍。“静态”池的表层为不同厚度的浮渣层，在这一层中产甲

烷菌和发酵型产氢菌含量均相对较少。因此，用搅拌的方法防止和破坏料液表层结壳，使加入沼气池的物料充分与发酵液混合，有利于沼气微生物的繁殖，有利于沼气生产。但是这个问题目前还解决得不好，今后应该加以解决。

（四）各阶段的相互关系 沼气发酵分为三个阶段，但三个阶段又不是可以截然分割开的。三个阶段紧密地联系在一起，前阶段为后阶段提供基质、能源、创造合适的环境条件，最后一个阶段是产甲烷阶段，则对整个发酵过程起到调节和促进作用，使系统处于稳定的动态平衡状态。沼气发酵

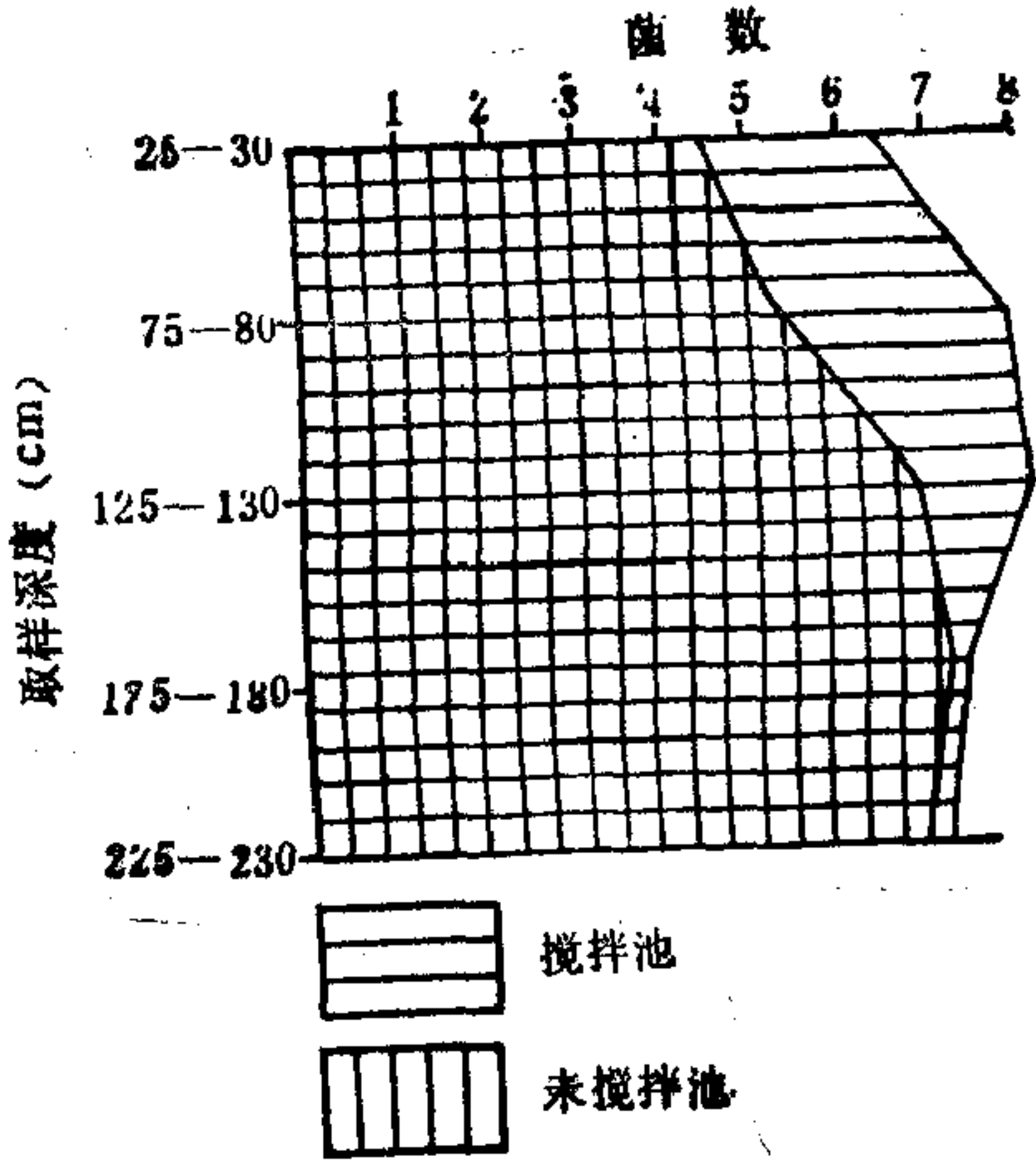


图 1—5 搅拌对农村沼气池产甲烷菌垂直分布的影响

是一个复杂的微生物学过程，因此沼气发酵各阶段的相互关系，以参予各阶段的微生物菌群的代谢偶联关系表现出来，具体反映在以下几个方面：

1. 不产甲烷菌与产甲烷菌之间的相互关系 在一个沼气发酵系统中，不产甲烷菌与产甲烷菌相互依赖，一方面它们互为对方创造维持生命活动所需的物质基础和适宜的环境条件；另一方面，它们之间又相互制约。它们之间的相互关系主要表现在下列方面。

(1) 不产甲烷菌为产甲烷菌提供生长和代谢所需的基质，产甲烷菌为不产甲烷菌的生化反应解除反馈抑制，以形成产酸和利用酸的动态平衡。在沼气发酵过程中，不产甲烷菌中的发酵性细菌对各种复杂的有机物质（碳水化合物、蛋白质和脂肪）进行厌氧降解，生成甲酸、乙酸、丙酸、丁酸、甲醇、乙醇、氢、二氧化碳和氨等产物，其中丙酸、丁酸、乙醇等又可被不产甲烷菌中的产氢产乙酸细菌再转化为乙酸、氢和二氧化碳。这样，不产甲烷菌通过其生命活动就为产甲烷菌源源不断地提供合成细胞物质和产甲烷所需的前体物质和能源物质。而另一方面，如果不产甲烷菌的代谢产物过多，又可以抑制本身的生命活动。比如，酸的积累可以抑制产酸细菌的继续产酸，氢的积累也同样能够抑制产氢细菌的继续产氢。但是，由于在正常的沼气发酵中，产甲烷菌连续不断地利用不产甲烷菌所产生的酸、氢和二氧化碳等，使其在厌氧消化中不致有酸和氢的积累，不产甲烷菌也就得以继续正常的生长代谢。不产甲烷菌和产甲烷菌的协同作用，就能使沼气发酵过程达到产酸和利用酸的动态平衡，保证沼

气发酵的正常进行。

(2) 不产甲烷菌为产甲烷菌创造厌氧环境。在沼气发酵初期, 沼气池内充满空气, 在发酵过程中, 给沼气池添加原料时, 也给沼气池带入空气。沼气池内空气的存在, 会抑制产甲烷菌的生长代谢 (因空气中含有氧气)。但是由于在不产甲烷菌中存在着少量好氧菌和大量的兼性厌氧菌, 通过它们的活动, 沼气池内的氧气会逐步被消耗掉, 发酵液的氧化还原电位会不断下降, 逐步为产甲烷菌创造厌氧的环境。

(3) 不产甲烷菌与产甲烷菌共同维持环境中适宜的 pH。在沼气发酵初期, 不产甲烷菌首先将有机物进行水解发酵, 产生大量的挥发酸, 同时, 产生的二氧化碳也部分溶于水, 使发酵液的 pH 下降。但是, 由于产甲烷菌很快利用乙酸、氢和二氧化碳形成甲烷, 使发酵液中的挥发酸和二氧化碳的浓度逐渐下降; 同时, 不产甲烷菌类群中的氨化细菌迅速进行氨化作用, 产生的氨也可中和部分的酸。通过这两类菌群的共同作用, 使发酵液中的 pH 可稳定在一个适宜的范围。因此, 在一个正常的沼气发酵系统中, 不用人为地进行 pH 的调节。

(4) 不产甲烷菌为产甲烷菌消除有毒物质。在以工业废水或废弃物为发酵原料时, 其中往往含有酚类、苯甲酸、氰化物、长链脂肪酸和重金属等物质, 这些物质对产甲烷菌是有毒害作用的。而在不产甲烷菌中存在着能够利用和分解上述物质的微生物, 这样就可解除那些有毒物质对产甲烷菌的毒害。此外, 不产甲烷菌的代谢产物硫化氢能够与重金属离子作用, 生成不溶性的金属硫化物而沉淀下来, 从而可解除