

〔日〕服部 勉 著

# 微生物生态入门

谭惠慈 吴人坚 译

38.1

复旦大学出版社

服部 勉 著  
微生物生態入門  
日本東京大学出版会, 1978 年

(责任编辑: 徐士菊)

微生物生态入门  
谭惠慈 吴人坚译  
复旦大学出版社出版  
(上海国权路579号)  
新华书店上海发行所发行 复旦大学印刷厂印刷  
开本787×1092 1/32 印张3.75 字数82,000  
1988年8月第1版 1988年8月第1次印刷  
印数1—3500  
ISBN7—309—00131—1/Q·05 定价: 0.80元

## 内 容 简 介

本书简明扼要地介绍了对自然状态下微生物的探索,微生物的增殖,微生境,微生物的作用与物质循环、能量流动的关系,以及微生物的生物环境等有关微生物生态学的一些基本内容。

书中所涉及的有关对自然状态下微生物的研究方法,微生物与其生活环境相互作用的规律等内容,对工农业生产、卫生保健和环境保护等领域的工作有着密切的关系。

本书可供生物、农、林、医、环保等有关专业的师生及科技人员阅读参考。

## 前 言

微生物是一类不能用肉眼直接观察到个体的微小生物的总称。其实,在自然界生存着各种类型的微生物,并且不断地活动着。自然界的微生物和用肉眼能看到的大生物(大体上由动物和植物组成)相比,有很多不同的性质和作用。它们的数量和使物质进行化学变化的活动方面,大大超过动植物。但是,人们对微生物在自然界如何生存和活动,它们的生活和活动遵循什么原则等问题的理解,还是处于启蒙状态。有些人认为,只要采用与研究生活在自然界中的动植物大致相同的方法进行研究即可,而我们对微生物的理解则应该更前进一步。另有一些人认为,与动植物的情况不同,去追求自然界中生存的微生物群的种类组成和个体数的变动,没有多大意义,只要能搞清微生物的活动和作用就足够了。但是,作为地球上生物的先驱者——微生物,其生活时间之长为动植物的数倍以上。应该看到揭开在如此长时期内活动着的微生物的面貌,具有十分重要的意义。人们对于肉眼不能看见的、形体微小的微生物的理解,应该与动植物有很大不同,而且有必要考虑新课题和探索新方法。

我们对于在自然界生活的动植物的理解,比起对微生物的理解确实要深入得多。对地球上现存的动植物种,当然不用说了,即使是对过去生存过的种,也有相当程度的了解,而且对这些种的地域分布状况及其变化(演替)的研究也有很大进展。另外,还较多地观察到各个种的生活特性和种间关系。今天,我们在对动植物生态的显著特征认识时,特别值得提出其多样性和

丰富度。人类在动植物包围的环境中诞生，并以肉眼观察动植物，在与动植物很深的交往中成长和发展。应该说我们对动植物认识的深度，就是在这样长期的历史过程中积累起来的。

与此相反，对于自然界中的微生物，我们今天所知的只是现存微生物中的一部分，也就是已被认识的那些种类。此外，究竟存在着哪些类型的微生物，还是处于心中无数的状况。人们常说“自然界是微生物的宝库”，这正意味着在自然界的微生物中还有很多未被发现。不仅是微生物的种类，而且即使是已知的微生物，要想知道它们在特定的自然环境下究竟存在多少个个体数，在目前的技术条件下，也不是很容易的事。

在很长的历史时期中，人类与微生物的交往和与动植物的交往相比是非常浅薄和片面的。人们不能用肉眼直接看到微生物的形体，只是注意到微生物活动中一些特别明显的结果，如发酵、腐败、疾病等。微生物在地球上的各种场所不断地进行着多种方式的的活动，可以说其中大部分是在长期未被人们注意的情况下进行的。即使进入近代，当对微生物开始进行科学研究以来，人们的注意力也主要是放在那些引起发酵、腐败和疾病的微生物上。对于除此以外的微生物的关注，进展十分缓慢。直至今日，许多微生物研究者也只对极其有限的微生物感兴趣。

对自然界微生物的研究，在微生物生态这一学科中占有传统的、重要的地位。但是，现在对这一领域的研究仍然进展缓慢，地球上有着相当一部分微生物至今还是未知的，这是有待揭示的秘密。不仅如此，学习近代各种科学的人，还有一些与这一领域的科学研究难于接近的因素：在各种最基本的观察和测定中存在着较大的困难；在理论上包含有许多未经近代科学方法充分验证的经验性规律和价值观。因此，努力探讨基本技术中存在的难点的性质，踏实地开展以确证了的事实为基础的理论研究。

对这个领域的研究来说是非常必要的。只有通过这样的努力，这个领域的研究才具有近代科学的各种特征，才会向许多学习近代科学的人打开大门。

本书是作为对微生物生态，特别是对自然界的微生物进行研究和探讨的第一步而写的一本书。作者个人的探索经历对本书内容有很大的影响，因此书中未必提出了所有的基本课题，作者自己也打算在今后的研究中补充一些重要的课题。尽管有那样的限制，我还是衷心希望，本书能对将要从事该领域研究的人，在考虑问题时有所助益。

值此本书出版之际，谨向给予我在此未知的研究领域中长期探索机会，并予以热诚关怀的东北大学农学研究所的先生们，特别是以古坂澄石教授为首的人才济济的东北大学农学研究所微生物组的诸位先生深表感谢。

最后，对于阅读本书原稿，并提出很好建议的菊本敏雄先生、佐藤七郎先生，还有对本书内容进行了详细讨论，并以许多出色的插图使本书内容更加丰富的服部黎子女士，以及在出版工作上给予很大帮助的佐藤佐惠子女士等表示衷心的感谢。

作 者

1978年晚秋于广瀨川边

# 目 录

<b>第一章 自然界微生物的探索</b> .....	1
1.1 微生物的确认 .....	1
根据微生物活动来进行确认——用显微镜直接观察来确认——用培养方法来确认	
1.2 微生物的种类 .....	5
微生物的大小和形态——微生物的活动和增殖——微生物营养的多样性——根据营养区分微生物的种类——微生物的增殖和分子态氧	
1.3 微生物细胞数的测定 .....	9
两个困难——分散的困难——增殖条件的困难(1)——增殖条件的困难(2)	
1.4 自然界中微生物的景观 .....	17
大气中的微生物——海洋、湖沼和河流中的微生物——陆地上的微生物——极端条件下的微生物	
<b>第二章 微生物的增殖</b> .....	22
2.1 纯培养和自然培养 .....	22
自然条件下的增殖——近于自然条件的纯培养	
2.2 富集培养 .....	24
2.3 富集培养的过程 .....	26
单批系统和连续系统——单批系统中的富集培养——连续系统中的富集培养——环流系统中的富集培养	

2.4	富集微生物的变迁 .....	30
	氨基酸环流土壤——随着硫的形态变化发生的富集微生物的变迁——Winogradsky 柱体	
2.5	难以富集培养的微生物 .....	33
	微生物的地位——可能富集的条件——贫营养微生物	
2.6	自然环境下的微生物及其增殖 .....	36
	增殖速度的测定——恶劣条件下的生存和休眠	

### 第三章 微生物的微生物境.....39

3.1	生活在固体表面的微生物 .....	39
	大气中的微生物——海洋中的微生物——河流中的微生物——土壤中的微生物	
3.2	微生物与界面的相互作用 .....	42
	气体-液体以及液体-液体界面的微生物——液体-固体界面的微生物(1)——液体-固体界面的微生物(2)	
3.3	界面附近微生物的活动 .....	47
	气体-液体、气体-固体界面附近的微生物——液体-液体界面附近的微生物——液体-固体界面附近的微生物——液体-固体界面上细菌的增殖	
3.4	微生物细胞在固体表面的分布 .....	51
	海底泥和土壤粒子表面的细菌分布——河流底石表面的微生物——植物根表面的微生物	
3.5	土壤的团粒结构和微生物的微生物境 .....	54
	土壤团粒内的细菌——土壤团粒内的生境分化(1)——土壤团粒内的生境分化(2)	

### 第四章 微生物的作用和物质的流动.....58

4.1	三个基本模型系统 .....	58
-----	----------------	----



单批系统——连续培养系统——透析培养系统  
——不均匀培养系统

4.2 水圈中微生物的作用和增殖 .....62

污染水系的自然净化能力——在湖水和海洋中微  
型藻类的对数增殖——酸性矿水河流中的铁氧化  
作用——水层与微生物

4.3 水田和水底堆积物中微生物的作用 .....66

与脱氮有关的盐入理论——氧向土壤层内扩散的  
公式——湖底硫酸还原菌和甲烷产生菌的作用  
——氧化-还原复合区域模型

4.4 土壤中微生物的作用 .....70

Quastel 等的细菌饱和土壤模型——氧向土壤团  
粒内的扩散——向量模型

**第五章 微生物的生物环境**.....77

5.1 生物间的相互关系 .....77

与生境有关的竞争关系——寄生关系(1)——寄  
生关系(2)——微生物和植物病害——捕食——  
共生关系(1)——共生关系(2)

5.2 由生物引起的生境变化 .....85

微生境的变化——有关宏观生境(包括生态系统)  
的关系

**第六章 地球上微生物的作用**.....89

6.1 能量流动与微生物 .....89

微生物的增殖与能量——能量流动与微生物的位  
置

6.2 元素的生物循环与微生物 .....92

组成循环的基本过程——碳和氮的循环——其他  
元素的生物循环

6.3 地球史中的微生物 .....98

早期的微生物——微生物的生物化学的进化和地球表面的化学变化——从微生物看生态系统的进化 (1)——从微生物看生态系统的进化 (2)——人类的活动与微生物

# 第一章 自然界微生物的探索

## 1.1 微生物的确认

关于自然界物质的科学研究，都是从确认(或发现)它们的存在开始的。虽然微生物和动植物一起被列为地球上生物的三大组成之一，但是确认它们的方法和动植物的情况有显著不同，存在很多困难。因此，在研究自然界的微生物时，应对有关确认它们的各种问题，予以极大的关心。而且在努力解决该问题的过程中，得先获得知识并进而理解，这是该领域研究中最基本的工作。

### 1.1.1 根据微生物活动来进行确认

从古代起，人们就通过腐败、发酵等微生物的活动现象，注意到了不能直接用肉眼看到的微生物。但是，有关这些活动的科学观点是由巴斯德(Pasteur, 1861)提出的，他认为某个试样中的一个化学变化，如果是由微生物所引起，那末当把这种试样加入与外界隔绝的容器，并加热灭菌，这种变化将永远停止。这个准则成为当时重要的争论问题，但它作为否定微生物的自然发生学说的实验根据有着重大的意义。

如今，在灭菌处理方面，除采用热处理外，还使用升汞、氯化苦、抗生素和 $\gamma$ 射线等方法，这样就可使许多微生物(如营腐败或发酵作用的微生物；将氨氧化为亚硝酸，将亚硝酸氧化为硝酸

的细菌等),根据这一准则而得到确认。

然而,当灭菌处理的方法用于在自然界活动的微生物时,存在一些困难。如在加热灭菌时,有以下问题:

(1) 在自然界中,存在着加热至 100℃ 左右还不易被杀死的耐热性微生物,或具有耐热性孢子的微生物。

(2) 在自然界中,有不少具有类似土壤团粒的多孔性结构,或类似岩石的热的不良导体,用加热措施难以达到完全灭菌。

(3) 加热还会引起灭菌对象的化学或物理变化,有问题的是也有可能虽经加热而未发生化学变化。

(4) 在自然界的研究对象中,有不少是像上述那样可以放入容器进行灭菌,但却不能达到灭菌效果。

另外,为用这个准则确认微生物的存在,必须预先注意它们的活动,并能充分测定其活动的大小。所以,对那些活动还不清楚的微生物不能作为确认的对象。而且,无论在怎样的活动场合,假如没有数万或数十万以上的微生物细胞,就不可能测出它们的活动。

### 1.1.2 用显微镜直接观察来确认

用显微镜直接确认微生物是经常采用的方法,但是用这种方法要在自然界样品中检出主要由单细胞组成的微生物并不那么容易。为此,人们在利用各种染色法对微生物细胞加以染色鉴别方面,作了许多尝试。经过这样的努力,已能在相当程度上,从周围物体中识别、确认自然界的微生物。另外,对微生物是否存活的问题,又提出了各种活体染色法以用来区别死、活细胞。

但是,以上的方法仅适用于我们现在已了解的具有一定的形态、生化成分、生理活性的微生物。如果有的微生物与我们所

了解或预期的特征相差较远，则用上述显微镜观察的方法就不容易识别。例如，Nikitin (1971) 报道了用电子显微镜观察土壤中的微生物时，发现有很多呈星形和六角形的微生物，并指出这些具有罕见形态的微生物是过去不知道的。然而，许多研究者认为，仅从这个报道，难以判断它们是具有新形态的微生物，还是微小的物体。要证实这些物体是微生物，就必须表明它们是能够增殖的。这样，就发展了微生物的单菌培养技术。

### 1.1.3 用培养方法来确认

对于大多数的动植物，仅用肉眼观察，就能确认它们是否为活的生物。而为了确认微生物那样由微小的简单个体组成的生物，必须如前所述，研讨它们是否具有增殖这一最本质的现象。

用显微镜观察样品，并用显微操作器将微生物细胞一个个地取出，移至营养培养基，这是已经开发的确认微生物的一种方法。但是，自然界中的微生物细胞很多都附着在固体表面，用这种技术往往不一定容易取出。另外，假如微生物细胞数量较多，则从这个技术所需的时间看，要确认全部有关的对象，事实上也是不可能的。

由 Koch (1881) 设计，经 Petri (1887) 等改进的称为平板法的方法，能够在相当程度上避开上述困难。就是将含 1~2% 琼脂的营养培养基加温融解，保持在 40℃ 左右，加入样品，并使培养基中的微生物细胞分散后，移至培养皿内，使其凝固；把这种培养皿保持在适当的温度下，培养基中的各种微生物细胞便增殖起来，逐渐形成肉眼也能看到的称为菌落的细胞集合体。用这样的方法，能在一个培养皿中，有数十个乃至数百个微生物细胞进行增殖。如果样品中微生物细胞太多而超过以上数量时，

可用无菌水适当稀释后,再用上述方法进行培养。

进一步就能从平板上形成的菌落,进行各种微生物的纯培养,研究它们的各种生理特性,确定它们的分类地位。利用这种

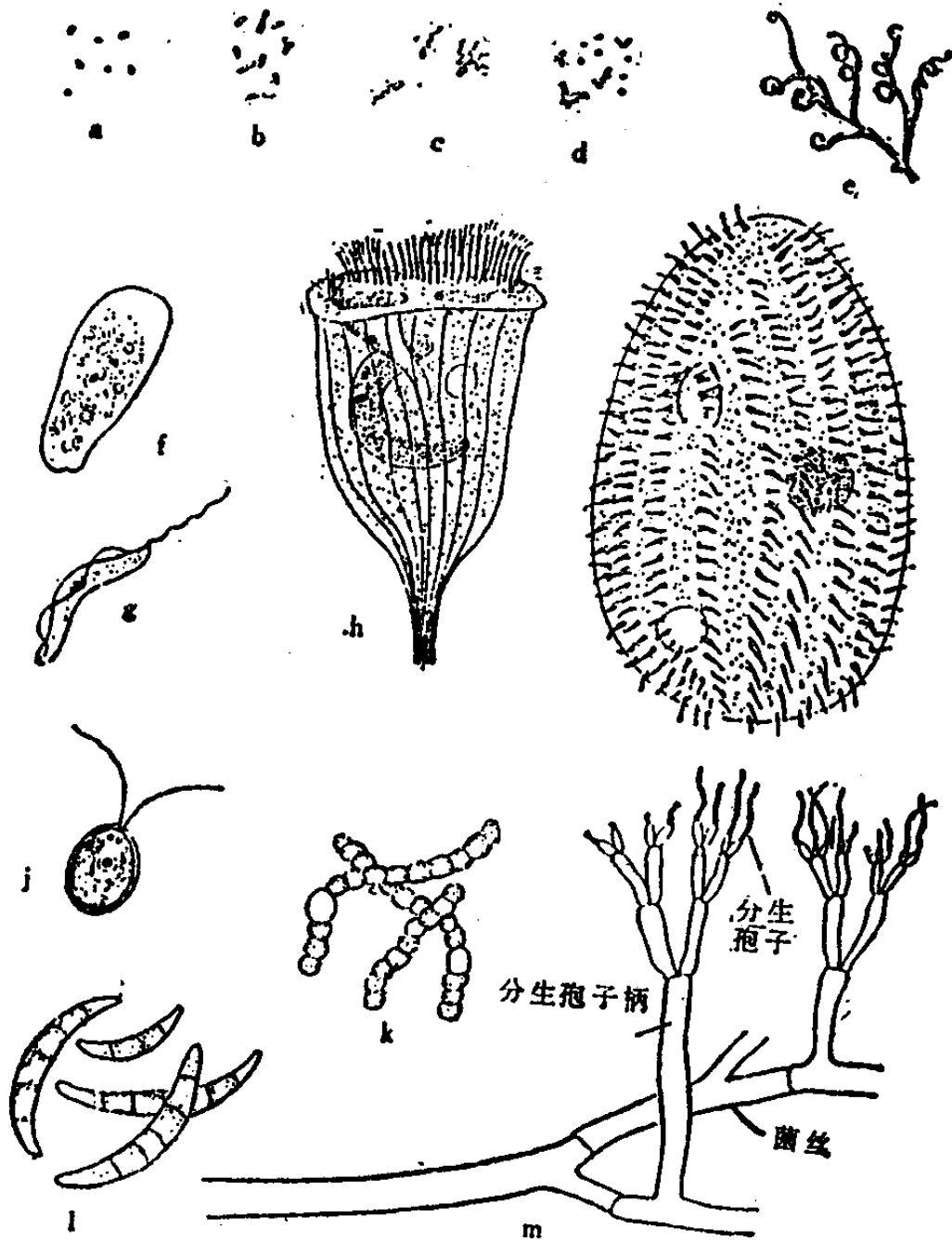


图 1 各种微生物的形态和大小的比较

a~e 细菌; f~i 原生动物; j~k 藻类; l~m 霉菌。其中 f 小型变形虫; g 锥虫, h 钟虫, i 四膜虫, j 衣藻, k 念珠藻, l 镰刀菌的分生孢子, m 青霉的菌丝和分生孢子丝。

平板法，一下子就能确认许多微生物细胞的增殖能力。同时，也为了解它们的生理特性和分类地位创造了条件，这对自然界微生物的探索有很大意义。但是，这种平板法也存在着多种重大的困难，这在本章以后各节中将依次加以叙述。可以认为对自然界微生物研究的发展，在很大程度上将取决于人们把各种困难放在什么位置，以及怎样加以克服。

## 1.2 微生物的种类

### 1.2.1 微生物的大小和形态

即使在人的口腔内，也有肉眼看不到的各种大小和形态的生物。在图 1 中，列举了属于主要微生物类群的各种微生物。如果从它们个体的大小来看，可以分成两类：1 微米左右的细菌及 10~100 微米左右的原生动物、藻类和真菌。

原生动物、藻类、真菌各有其特征性的形态，所以能主要根据它们的形态进行分类。但是，对于细菌来说，大多数不能仅仅根据形态进行分类，现在仍然把它们营养代谢和组成细胞的物质（DNA 的碱基组成，细胞壁的成分等）的特征作为进行分类的主要依据。

### 1.2.2 微生物的活动和增殖

如最初所阐述的那样，人们在较长的时间里，注意微生物的活动现象要多于微生物自身的活动规律。这种倾向根深蒂固存在着，直到今天仍有不少人极其关心自然界微生物的活动现象，而不很关心它们的活动规律。

然而，正像巴斯德所指出的那样，微生物的这些活动现象与它们的活动规律和增殖密切相关。也就是说，人们所注意到的

由微生物进行的许多化学变化是与合成新的微生物体的同化过程，以及为微生物体的维持和合成提供所需能量的异化过程两者或其中之一相关联的。可是微生物对某些烃类以及卤素类农药的分解，与同化及异化作用都没有关系，这种代谢称为共代谢。

### 1.2.3 微生物营养的多样性

对微生物的确认有重要意义的平板法，最早面临的困难是所用的营养培养基的组成。围绕硝化细菌的确认，Warington 受到挫折(1879—1888)，而 Winogradsky (1891) 获得成功。通过这一对比，戏剧性地提出了培养基的营养组成问题。Warington 用种种方法长期研究硝化细菌的存在，并大体上查明硝化细菌有两类：一类是把氨氧化成亚硝酸的氨氧化菌；另一类是把亚硝酸氧化成硝酸的亚硝酸氧化菌。最后的确认是用平板法将两类菌进行分离，使用的是当时一般以有机物为主要成分的明胶培养基，但是花了很长时间，反覆试验，都没有分离成功。Winogradsky 注意到这个结果，且深入地进行研究，认为关键问题是平板法中所用培养基的成分。他把完全不含有机物的无机盐培养液，在硅胶冻内凝固成培养基。在这种培养基上，能很好形成两种硝化细菌的菌落。这个事实说明，对某种微生物适合的营养培养基，并不一定适用于其他的微生物。

硝化细菌的成功成为很大的推动力。同样，以各种不同的无机物作为自由能源而增殖的微生物，接二连三地被证实了它们的存在。如将硫氧化而增殖的硫氧化菌，以及能氧化铁的铁氧化菌等。另外，还明确了即使同样是利用有机物的微生物，然而，不同种类所能利用的有机物却各有一定的范围，相互之间有很多不同之点。进一步又确认了能利用光能的微生物的存在。



这样,就形成了“微生物营养的多样性”的看法,给以后的微生物研究带来很大的影响。

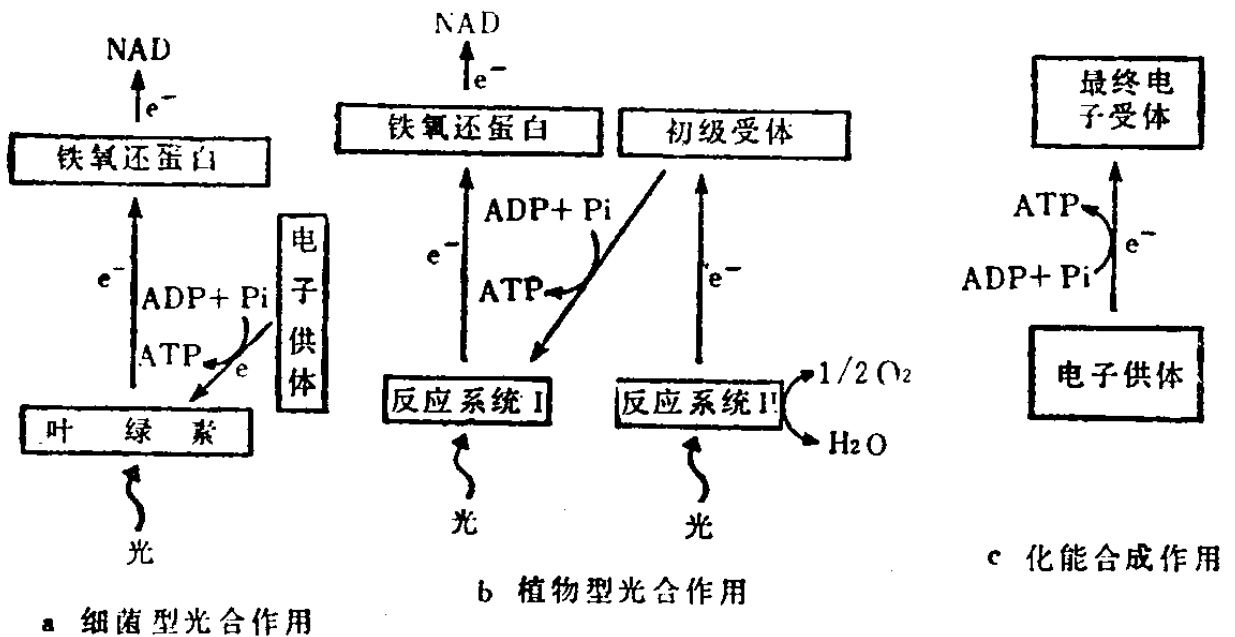


图 2 微生物的获能反应

无论哪种场合,都能在生物体内的电子传递过程中,形成自由能的媒介物——ATP。

表 1 按自由能获得系统区分的微生物类别

能源	能量获得系统	微生物
光 (电子供体)		
无机物	.....	光能无机营养菌 (Photo-lithotrophs)
例 $H_2, S^0, S^{2-}, S_2O_3^{2-}$		绿硫细菌属 ( <i>Chlorobium</i> )
有机物	.....	光能有机营养菌 (Photo-organotrophs)
例 脂肪酸, 乙醇		红螺菌属 ( <i>Rhodospirillum</i> )
无机物	.....	化能无机营养菌 (Chemolithotrophs)
例(电子供体) (电子受体) (生成物)		
$H_2S$	$O_2$ $S, H_2O$	贝日阿托氏菌属 ( <i>Beggiatoa</i> )
$H_2$	$SO_4^{2-}$ $H_2O, H_2S$	脱硫弧菌属 ( <i>Desulfovibrio</i> )
$H_2$	$O_2$ $H_2O$	氢单胞菌属 ( <i>Hydrogenomonas</i> )
$NO_2^-$	$O_2$ $NO_3^-, H_2O$	硝化杆菌属 ( <i>Nitrobacter</i> )
$NH_4^+$	$O_2$ $NO_2^-, H_2O$	亚硝化单胞菌属 ( <i>Nitrosomonas</i> )