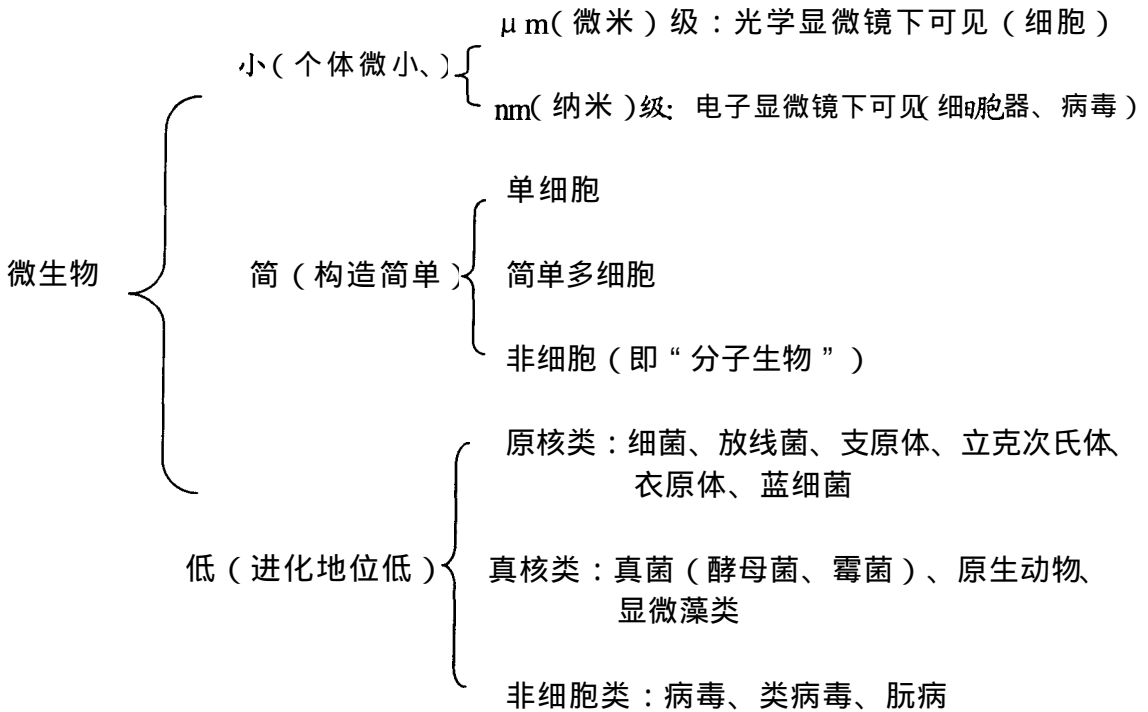


第一章 微生物学基础

第一节 微生物学概论

一、什么是微生物

微生物 (microorganism, microbe) 是一切肉眼看不见或看不清楚的微小生物的总称。它们是一些个体微小 ($<0.1\text{mm}$)、构造简单的低等生物, 包括属于原核类的细菌、放线菌、支原体、立克次氏体、衣原体和蓝细菌 (过去称蓝藻或蓝绿藻), 属于真核类的真菌 (酵母菌和霉菌)、原生动物和显微藻类, 以及属于非细胞类的病毒、类病毒和朊病毒等, 现表示如下:



二、微生物学及其学科

微生物学是在细胞、分子或群体水平上研究微生物的形态构造、生理代谢、遗传变异、生态分布和分类进化等生命活动基本规律, 并将其应用于工业发酵、医学卫生和生物工程等领域的科学, 其根本任务是发掘、利用和改善有益微生物, 控制、消灭或改造有害微生物。微生物学有许多分科, 现概括如下。

(一) 依照研究微生物的基本生命活动规律为目的来分

总学科可称为普通微生物学 (General Microbiology) 或微生物生物学 (Biology of Microorganisms), 其分支学科主要有: 微生物形态学、微生物分类学、微生物生理学、微生物生物化学、微生物遗传学、微生物生态学以及分子微生物学等。

(二) 依照微生物的应用领域来分

其总学科可称应用微生物学 (Applied Microbiology) , 其分支学科有: 工业微生物学、农业微生物学、植物病理学、医学微生物学、药用微生物学、兽医微生物学、抗生素、食品微生物学、酿造学以及乳品微生物学等。

(三 依照所研究的微生物对象来分

可分为细菌学、真菌学、病毒学、噬菌体学、原生动物学、藻类学、支原体学、自养菌生物学以及异养菌生物学等。

(四 依照微生物所在的生态环境来分

可分为土壤微生物学、海洋微生物学、环境微生物学、宇宙微生物学以及水微生物学等。

(五 依照实验技术操作来分

可分为实验微生物学等。

(六 依照微生物学与其他学科间的交叉情况来分

这是一类具有旺盛“杂交优势”的新兴边缘学科, 具有强大的生命力。例如分析微生物学、化学微生物学、微生物化学分类学 (Microbial Chemotaxonomy) , 微生物数值分类学 (Microbial Numerical Taxonomy) 以及微生物地球化学等。

三、微生物的共性

微生物由于其体型都极其微小, 因而带来了以下的五个共性, 即体积小、面积大; 吸收多、转化快; 生长旺、繁殖快; 适应强、易变异; 分布广、种类多。

第二节 微生物的形态结构

一、原核生物

原核生物包括细菌、放线菌、蓝细菌和一些其他类型如立克次体衣原体和支原体等。原核生物最主要特征是原始的核, 即没有由核膜包围的核结构, 核物质是没有结合蛋白质的裸露的环状 DNA, 高度盘绕存在于细胞内一个或几个区域内。

原核生物个体小, 结构简单, 没有细胞器的分化, 因而细胞膜是原核生物的生命活动的基本结构。绝大多数原核生物有细胞壁, 细胞壁的基本结构是肽聚糖。原核生物一般是通过二分分裂方式进行繁殖。

原核生物的营养类型多样, 有自养或异养, 有化能或光能, 有好氧、厌氧或兼性厌氧。

(一 细菌

细菌是一类细胞细而短 (细胞直径约 $0.5\sim 5\mu\text{m}$)、结构简单、细胞壁坚韧以二等分裂方式繁殖和水生性较强的原核微生物, 分布广泛。

1. 细菌细胞形态

细菌细胞形态主要有三种基本类型，即球状、杆状和弯杆状。分别称为球菌、杆菌、弧菌和螺旋菌。

2. 细菌细胞结构

由于细菌细胞壁结构和化学组成不同，根据革兰氏染色结果，将细菌分为两大类，即革兰氏阳性菌和革兰氏阴性菌。绝大多数细菌细胞都有细胞壁、细胞膜和细胞核，某些细菌还具有荚膜、芽胞、鞭毛和菌毛等特殊结构。有些细菌还有细胞内含物，如光合细菌具有气泡。它们的存在可作为鉴定细菌种的依据。图 1-1 是细菌细胞模式图。

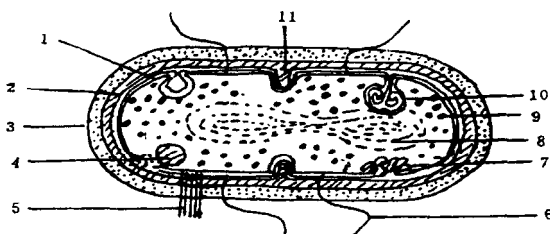


图 1-1 细菌细胞模式图

1—细胞质膜；2—细胞壁；3—荚膜；4—异染颗粒；5—菌毛；
6—鞭毛；7—色素体；8—核；9—核糖体；10—中体；11—横隔壁

3. 培养特征

细菌在适宜的培养条件下，会表现出该菌种特有的菌落特征，可作为鉴定细菌种的依据。

(二) 放线菌

放线菌是有分支丝状体原核生物。最基本特点都和细菌相同，因为最早发现的放线菌 (*Actinomyces*) 菌落是放射状的，因而得名。

1. 形态与构造

大多数放线菌是由分支菌丝组成丝状体，菌丝大多无横隔膜，菌丝较细，革兰氏染色阳性。放线菌的菌丝依据形态和功能的不同，可以分为基内菌丝、气生菌丝和孢子丝。

(1) 基内菌丝

又称营养菌丝，主要功能是伸入培养基内吸收营养物。可以产生多种色素，使基内菌丝具有不同颜色。

(2) 气生菌丝

较基内菌丝粗，有直形或弯曲状等不同形态，也可以产生多种色素。

(3) 孢子丝

放线菌生长到一定阶段，其气生菌丝分化成孢子丝。孢子丝上产生孢子。孢子丝的形状、在气生菌丝上的排列方式及分泌的色素种类随菌种而异。孢子常有颜色。

放线菌的菌丝形态、色素、孢子丝及孢子形态等特性都是放线菌菌种鉴定的依据。

2. 培养特征

放线菌在固体培养基上菌落形态，主要取决于菌丝的生长情况，随菌种的不同而有很大差异。在孢子丝形成以前，放线菌菌落和细菌的菌落很相似不易区分，当大量孢子覆盖于菌落表面时，就形成絮状、粉质或颗粒状的典型的放线菌菌落。

(三) 其他原核生物

1. 支原体 (mycoplasma)

支原体是基因组最小 (基因组仅相当于大肠杆菌的四分之一) 的原核生物，在自然界分布很广。支原体没有真正的细胞壁。它有一系列特征是与缺少细胞壁有关。支原体菌体柔软表现多形态，支原体的抗性较差，主要表现为对热、低渗环境、表面活性剂等因素的敏感性，能被常用消毒剂 (如石炭酸、甲醛等) 灭活，对干扰蛋白质合成的抗生素 (如四环素等) 敏感，但对干扰细胞壁合成的抗生素 (如青霉素等) 有抵抗力。

对营养成分的要求高于一般细菌，培养基内应含有维生素、氨基酸、固醇、血清等富含生长因子的成分。支原体主要用二分分裂进行繁殖，有的种类通过菌体断裂，极少数用出芽方式进行繁殖。但在固体平板上都形成典型的“荷包蛋”样菌落，直径 0.01~0.6mm。液体培养呈轻度混浊或有沉淀。

2. 立克次氏体 (Rickettsia)

立克次氏体是多形态原核生物，有短杆状、球状，单个或成对排列，有时呈短链状或丝状。立克次氏体具有细菌全部结构特征，属于严格的细胞内寄生物。

蚤、虱、螨、蜱等是立克次氏体的宿主，并通过它们传播给人和动物。一般来说，加热、干燥、紫外线及化学杀虫剂都能迅速杀死立克次氏体。

3. 衣原体 (Chlamydia)

衣原体呈圆形或椭圆形，个体很小，可以通过细菌过滤器，是细胞内专性寄生性原核生物。能被热灭活。衣原体感染的突出生物学特点是宿主和寄生物组成一个平衡状态，导致长期持续的感染。

4. 蓝细菌 (Cyanobacteria)

蓝细菌含有叶绿素和其他光合色素，进行放氧型光合作用，多数蓝细菌是不分枝的丝状体，有多个单细胞连成一串，少数为球状或杆状单细胞。革兰氏染色阴性。蓝细菌是原核生物中唯一的在其细胞质中具有膜结构的生物。藻胆蛋白体 (phycobilisome) 是蓝细菌类囊体的特殊结构。

二、真核微生物

主要的真核微生物分为真菌、显微菌类和原生动物。其中真菌又分为酵母菌、丝状真菌 (霉菌) 和大型真菌 (蕈菌)。

(一) 酵母菌

1. 形态构造

酵母菌细胞的形态通常有球状、卵圆状、椭圆状、柱状或香肠状等多种。

2. 菌落特征

大多数酵母菌在适宜培养基上形成的菌落与细菌的相似，但较细菌菌落大而且厚，菌落表面湿润，较光滑、有一定的透明度，易被挑起。其色多为乳白，少量呈红色。菌落质地均匀，颜色均一，菌落的颜色、光泽、质地、表面和边缘特征，均为酵母菌菌种鉴定的依据。

3. 繁殖方式

酵母菌的繁殖方式有无性繁殖和有性繁殖两种。无性繁殖又分芽殖、芽裂和裂殖，甚至可形成厚垣孢子和节孢子。有性繁殖方式是产生子囊孢子。凡具有有性繁殖的酵母称作“真酵母”。尚未发现有性繁殖的称为“假酵母”。

(二) 霉菌

1. 特点

霉菌是指那些菌丝体较发达而又不产生大型子实体的真菌，是丝状真菌的统称。常在潮湿气候下大量生长繁殖；在自然界分布极广，有较强的陆生性；在自然条件下，常引起食物、工农业产品的霉变和植物的真菌病害。

2. 形态结构

菌体均由分枝或不分枝的菌丝构成。霉菌的菌丝有两类：即无隔膜菌丝和有隔菌丝。菌丝分化为营养菌丝、气生菌丝。一部分气生菌丝发育到一定阶段分化成繁殖菌丝。霉菌菌丝细胞均由细胞壁、细胞膜、细胞质、细胞核、线粒体、核糖体以及内含物组成。

3. 菌落特征

霉菌的菌落和放线菌的菌落接近，形态较大，质地比一般放线菌疏松，外观干燥，不透明，在固体培养基上呈蛛网状、绒毛状或棉絮状；不易挑取；菌落边缘和中心正反面的颜色常不一致；颜色多样。

4. 繁殖方式

霉菌繁殖能力一般都很强，方式多样，主要靠无性和（或）有性孢子繁殖。

(三) 无细胞形态微生物——病毒（Virus）

1. 特点

病毒（均指“真病毒”）有这样几个特点：

- (1) 形体极其微小，必须在电子显微镜下才能观察，一般都可通过细菌滤器；
- (2) 没有细胞构造，故也称分子生物；
- (3) 其主要成分仅有核酸和蛋白质两种；
- (4) 每一种病毒只含有一种核酸，不是DNA，就是RNA；
- (5) 既无产能量系统也无蛋白质合成系统；
- (6) 在宿主细胞协助下，通过核酸的复制和核酸蛋白装配的形式进行增殖，不存在个体的生长和二均分裂等细胞繁殖方式；
- (7) 在宿主的活细胞内营专性寄生；
- (8) 在离体条件下，能以无生命的化学大分子状态存在，并可形成结晶；

(9) 对一般抗生素不敏感，但对干扰素敏感。

2. 形态结构

病毒的形态基本可归纳为三种：杆状、球状和这两种形态结合的复合型。没有细胞构造，病毒粒子的主要成分是核酸和蛋白质，在宿主细胞协助下，通过核酸的复制和核酸蛋白装配的形式进行增殖。病毒粒子通常形成螺旋对称、二十面体对称和复合对称。

病毒粒子是无法用光学显微镜观察的亚显微颗粒，但当他们大量聚集在一起并使宿主细胞发生病变时，就可以用光学显微镜加以观察。例如动、植物细胞中的病毒包涵体；有的还可用肉眼看到，如噬菌体的噬菌斑等。

3. 繁殖方式

病毒只有在宿主细胞里才能进行繁殖，而且是通过复制的方式进行的。概括起来可分为吸附、侵入、脱壳、生物合成、装配与释放五个步骤。

第三节 微生物的生态

微生物由于结构简单、繁殖快、食性杂、代谢强等特点，它们在地球上分布远比动植物要广泛得多。它们的分布具有一定的规律性。而认识这种规律性，对于我们更多地发现微生物新种及更好地认识、利用这些微生物资源是至关重要的。

一、土壤中的微生物

在微生物能够赖以生存的不同生态环境中，土壤是微生物生活的最适环境。在土壤中正常分布着形形色色的微生物类群。

(一) 土壤是微生物的栖息地

土壤具有微生物生命活动所必需的一切营养物质和适宜的生活条件，素有微生物的天然培养基之称。

1. 水分

土壤中的水分是一种浓度很稀的盐类溶液，其中含有各种有机和无机氮素及各种盐类、微量元素、维生素等，类似于常用的液体培养基。

2. pH

土壤大多是中性偏碱，适宜于大多数微生物生长，就是碱性或酸性土壤中也存在相应的微生物类群。

3. 气体

土壤中的气体来源于大气与大气稍有不同 主要是 CO_2 、 O_2 和 N_2 。

4. 温度

大部分地区土壤温度的变化在 $0\sim 30^\circ\text{C}$ 之间，并且在一年的大部分时间内其温度变化在 $10\sim 25^\circ\text{C}$ ，为微生物的生长繁殖提供了有利条件。

5. 固形物

土壤中含有大量固形有机物和矿物质元素，是微生物的营养库。

(二) 土壤是微生物的大本营

土壤中微生物的种类、数量，因土壤类型、土层深度和季节的不同而异。在偏酸性土壤中霉菌和酵母菌较多；在偏碱性环境中细菌和放线菌较多。在通气良好的土壤中好氧性微生物较多；在通气较差的土壤中厌氧及兼性厌氧菌较多。

(三) 土壤中微生物可以分为如下几类

1. 细菌：占土壤微生物总数的 70%~90%，多数为腐生菌，少数是自养菌。
 2. 放线菌：占土壤中微生物含量的 5%~30%。
 3. 霉菌：主要生活在靠近地面的土壤中，在通气良好的土壤中，霉菌数量很多。
 4. 酵母菌：普通作物土壤中酵母菌含量很少。
- 另外，作物土壤中还分布有许多藻类及原生生物等。

二、微生物在水中的分布

水是微生物生存的重要环境，几乎有水的自然环境都有微生物存在。水还具有微生物生命活动适宜的温度、pH、氧气等。因此，水中生长着众多的微生物类群，它们主要来源土壤、空气、动植物尸体、人和动物的排泄物、工业及生活污水。

(一) 水中微生物的分布

水中存在的微生物 90%为革兰氏阴性菌，主要有弧菌、假单胞菌、黄杆菌等。鞘细菌及有柄附生细菌也常见于水体中。另外，水还是光合型微生物生活的良好环境，淡水中霉菌多于海水中。通常，水中酵母菌较少，但在深及海底 3000m 处曾发现较多的酵母菌。

微生物在水体中表现为水平分布和垂直分布的规律。此外，相同水域的不同深度，微生物的含量及分布也不同。

(二) 饮用水的细菌学指数

水中微生物的含量与有机物的含量有直接关系。通过水体传播的病原微生物主要有沙门氏菌属、志贺氏菌属、霍乱弧菌等。因此，做好水的卫生学检查至关重要。

(三) 水中微生物与水的自净作用

水的自净作用是指污染的水借天然的理化因素及生物因素综合作用而达到净化的过程。尽管自然水体具有自净作用，但只能净化低量污染物。若进入水体的污染物超过了水体的自净能力，则会破坏水体的生态平衡，导致污染的发生。

三、微生物在空气中的分布

空气本身缺乏微生物生活所必需的营养物，日光对微生物也具有很强的杀菌作用，另外空气一般是干燥的，因此空气不是微生物生活的良好环境。

(一) 空气中微生物的来源

空气中的微生物主要来源于带有微生物菌体及孢子的灰尘，这类微生物大多数是腐生性的，还来源于人和动物，它们大多数是通过呼吸道排出的，其中也

包含有病原微生物，悬浮在大气中。

（二）空气中微生物的分布

空气中微生物的分布随环境条件及微生物的抵抗力不同而呈现不同的分布规律。空气中存在较多的、存活时间较长的是各种真菌、放线菌的孢子及细菌芽胞。空气中微生物的数目决定于尘埃的总量。

（三）空气中微生物的检测

空气中悬浮飘动的大量霉菌，放线菌的孢子及细菌的芽胞是千百万微生物发酵工业污染的主要原因，也是造成流行性传染病的主要根源。常用的检测方法有平板沉降法和膜滤器法。

四、极端环境中的微生物

地球上某些环境条件，如南北极、地热区、酸性或碱性泉、低温高压的海洋深处等皆属于极端环境。在这种环境中，仅有极少数微生物可以生存。如：嗜热微生物对热有极强的适应能力，它们生长的最高温度不超过沸水温度（91~101℃）；食物在低温条件下保存及运输过程中造成腐败的主要原因是嗜冷微生物引起的，嗜冷腐败假单胞菌，在-7℃条件下仍可生长，并引起鱼、肉、奶制品腐败。在含有高浓度盐的环境下仍能生长的微生物称为嗜盐微生物。有些微生物能在极酸环境中生长。一般把最适生长 pH 在 9 以上的微生物称嗜碱微生物。

第四节 微生物的营养与代谢

一、微生物的营养

（一）微生物的营养要求

微生物生长繁殖所需的营养物质主要有水、碳源、氮源、无机盐和生长因子等。

1. 水

水是各种生物细胞必需的。水有良好的溶剂，微生物的新陈代谢过程中的一切生化反应都离不开水的作用。

2. 碳源

碳源是合成菌体成分的原料，也是微生物获取能量的主要来源。整体上看来，微生物可以利用的碳源范围极广，从大类上说，可以分为有机碳源和无机碳源两大类，凡必须利用有机碳源的微生物就是异养微生物，凡能利用无机碳源的微生物就是自养微生物。糖类是最广泛利用的碳源。

3. 氮源

氮源主要是供给合成菌体结构的原料，很少作为能源利用。与碳源相似，微生物作为一个整体来说，能利用的氮源种类十分广泛。某些微生物（如固氮菌）能利用空气中分子态的氮或利用无机氮化物如铵盐、硝酸盐合成有机氮化物。多数致病菌则必须供给蛋白胨、氨基酸等有机氮化物才能生长。

4. 无机盐类

无机盐主要可为微生物提供除碳、氮以外的各种重要元素。微生物需要的无机盐类很多，主要有 P、S、K、Na、Ca、Mg、Fe 等，其主要功能为构成菌体成分、调节渗透压、作为某些酶的成分，并能激活酶的活性等。

5. 生长因子

有些微生物虽然供给它适合的碳源氮源和无机盐类，仍不能生长，还要供给一定量的所谓“生长因子”。其种类很多，主要是 B 族维生素的化合物等。生长因子可以从酵母浸出液、血液或血清中获得。

(二) 微生物的营养类型

根据微生物对碳源的要求不同，可将其分为自养菌和异养菌两大营养类型。凡能利用无机碳合成菌体内有机碳化物的，叫自养菌；不能利用无机碳而需要有机碳才能合成菌体内有机碳化物的，为异养菌。根据其生命活动所需能量的来源不同，可分为光能营养菌和化能营养菌。前者是从光线中获得能量，后者则从化学物质氧化中取得能量。因此，根据微生物所需的碳源和能源不同，可将微生物分为光能自养菌、光能异养菌、化能自养菌、化能异养菌等四类。如表 1-1 所示：

表 1-1 微生物的营养类型

营养类型	主要（或唯一）碳源	能源	代表菌
光能自养型	二氧化碳	光能	蓝细菌
光能异养型	有机物	光能	红螺细菌
化能自养型	二氧化碳	无机物氧化	硫杆菌
化能异养型	有机物	有机物氧化	大肠杆菌

(三) 营养物质的运输

外界环境的营养物质只有被微生物吸收到细胞内，才能被微生物分解与利用，微生物生长过程中产生的一些代谢产物也必须分泌到细胞外，在这两个过程中，细胞膜起着重要作用。目前一般认为，营养物质主要以扩散、促进扩散、主动运输和基团转位四种方式通过微生物细胞膜。

二、微生物的代谢

微生物在生长发育和繁殖过程中，需要不断地从外界环境中摄取营养物质，在体内经过一系列的生化反应，转变成能量和构成细胞的物质，并排出不需要的产物。这一系列的生化过程称为新陈代谢。

代谢作用是生物体维持生命活动过程中的一切生化反应的总称。它是生命活动的最基本特征。代谢作用包括分解代谢（异化作用）和合成代谢（同化作用）。分解代谢是指生物体将各种营养物质和细胞物质降解成简单的产物，即由大分子物质降解成小分子物质并产生能量的过程。合成代谢是指将分解代谢所提供的或从环境中所吸收的小分子物质合成大分子物质的过程。分解代谢为合成代谢提供原料和能量，而合成代谢又为分解代谢提供物质基础，两者相互对立而又统一，在生物体内偶联着进行，使生命繁衍不息。

(一) 微生物的酶

生物体内的化学反应几乎都要依靠酶的催化才能进行。酶是由生物细胞合成的，以蛋白质为主要成分的生物化学反应催化剂。从化学组成来看，可分为简单蛋白和结合蛋白两种酶。根据酶在细胞中的活动部位，也可将酶分为胞外酶和胞内酶两种。

酶作为生化反应的催化剂和其他的催化剂一样，能显著改变反应的速度，但不能改变反应的平衡点。酶有以下几个特点：催化反应的效率高、具有高度的专一性、容易失活、活性受调节控制等。

（二）微生物的能量代谢

所有生物进行生命活动都需要能量 因此 能量代谢成了新陈代谢中的核心问题。

自然界中的能量以多种形式存在，但生物只能利用光能或化学能，而光能也必须在一定的生物体（光合生物）内转化成化学能后，才能被生物利用。

一个化学反应只有在一定条件下，当有能量放出时才能自由地进行，即自由能的变化为负值时，反应才能进行，这种反应称为放能反应；如果产物的自由能大于反应物的自由能时，必须供给能量才能进行反应，称为吸能反应。

在生物体内，吸能反应所需要的能量是由放能反应来供给的，两者是偶联进行的。其中的能量载体主要是 ATP。ATP 是腺嘌呤核苷三磷酸（简称腺三磷）的缩写，ATP 的生成和利用是微生物能量代谢的核心。在生物体内，ATP 主要由 ADP 的磷酸化生成。生成 ATP 的过程需要供应能量，能量来自光能或化能。

以光能生成 ATP 的过程称为光合磷酸化作用，这种转变需要光和色素作媒介。

利用化合物氧化过程中释放的能量进行磷酸化生成 ATP 的过程称为氧化磷酸化作用，它为一切生物所共有，微生物的氧化作用可根据最终电子受体的性质不同而分为：呼吸作用、无氧呼吸作用和发酵作用。

ATP 主要用于供应合成细胞物质（包括贮藏物质）所需的能量。此外，细胞对营养物质的吸收，鞭毛菌的运动，发光细菌的发光等所消耗的能量也要由 ATP 供给。组成细胞的物质主要是蛋白质、核酸、类脂和多糖 合成这些物质都需要 ATP。

（三）微生物的物质代谢

微生物代谢的基本过程，可分为两大类，即分解代谢和合成代谢。

1. 微生物的分解代谢

微生物在生命活动中，能将复杂的大分子物质分解为小分子的可溶性物质，并有能量转变过程，这种物质转变称为分解代谢。大多数微生物都能分解糖和蛋白质，少数微生物能分解脂类。

（1）糖的分解

糖类是异养微生物的主要碳素来源和能量来源，包括各种多糖、双糖和单糖。多糖必须在细胞外由相应的胞外酶水解，才能被吸收利用；双糖和单糖被微生物吸收后，立即进入分解途径，被降解成简单的含碳化合物，同时释放能量，供应细胞合成所需的碳源和能源。

（2）蛋白质及氨基酸的分解

细菌分解蛋白质的酶有两类，一类为蛋白酶，另一类为肽酶，前者为胞外酶，能将蛋白质分解为多肽和二肽。肽类可进入微生物细胞中，肽酶为胞内酶，

将进入细胞内的肽水解为游离的氨基酸，供菌体利用。

微生物对氨基酸的分解方式很多，主要为脱氨作用和脱羧作用。不同细菌水解不同氨基酸除生成氨和有机酸外，还有其他物质产生。如大肠杆菌、枯草杆菌水解含硫氨基酸产生 H_2S ；大肠杆菌、变形杆菌水解色氨酸，可形成吲哚。有些细菌则不能，因此这些特性可用于细菌的鉴定。

(3) 脂肪的分解

脂肪是脂肪酸和甘油的结合物。某些微生物能产生脂肪酶，将脂肪水解为甘油和脂肪酸。甘油和脂肪酸可被微生物摄入细胞内，进行代谢。

2. 微生物的合成代谢

微生物的细胞物质主要是由蛋白质、核酸、碳水化合物和类脂等组成。合成这些大分子有机化合物需要大量能量和原料。能量来自营养物质的分解，至于原料，可以是微生物从外界吸收的小分子化合物，但更多的是从营养物质分解中获得。从这里可以看到分解作用与合成作用之间相互依赖的紧密关系，由于它们相互依赖、偶联进行，微生物才能具有旺盛的生命活动和正常的生长繁殖。因而在自然界中得以生存和发展。微生物种类很多，合成途径也比较复杂和多种多样。

(四) 微生物代谢的调节

微生物在正常的生命活动中，不断地从外界吸收营养物质，然后进行一系列的分解与合成反应，以获得建造自身的物质和能量。这些生化反应通常是十分复杂而又非常迅速。在正常情况下，这些反应非常协调地进行，并且具有适应外界环境变化的本领，这一切是依靠微生物的调节系统来实现的。

由于代谢过程中几乎所有的生化反应都是通过酶的催化实现的，因此代谢调节实际是控制酶的数量和活性的变化。

酶数量的控制主要是通过对酶合成途径的调控系统来实现。有诱导和阻遏两种调控方式，前者诱发酶的合成，后者阻止酶的合成。

酶活性的调节是通过改变酶结构本身的构象来实现的。调节方式有激活和抑制两种。

激活作用常见于分解代谢途径中前体对参与后面反应的酶进行激活，促使它们反应速度加快。抑制作用常见于合成代谢的末端产物对合成反应的关键酶进行反馈抑制，以减慢或中止生物合成。

目前利用代谢调节理论已经用来指导实际工作和进行微生物发酵的生产控制。主要措施有控制发酵条件和改变微生物菌种的遗传特性等。

第五节 微生物的生长和繁殖

一、微生物的生长和繁殖

微生物在适宜的环境条件下，不断地吸收营养物质，并按照自己的代谢方式

进行代谢活动，如果同化作用大于异化作用，则细胞质的量不断增加，体积得以加大，于是表现为生长。简单地说，生长就是有机体的细胞组分与结构在量方面的增加。

单细胞微生物如细菌，生长往往伴随着细胞数目的增加。当细胞增长到一定程度时，就以二分裂方式，形成两个基本相似的子细胞，子细胞又重复以上过程。在单细胞微生物中，由于细胞分裂而引起的个体数目的增加，称为繁殖。在一般情况下，当环境条件适合，生长与繁殖始终是交替进行的。从生长到繁殖是一个由量变到质变的过程，这个过程就是发育。

微生物处于一定的物理、化学条件下，生长发育正常，繁殖速率也高；如果某一或某些环境条件发生改变，并超出了生物可以适应的范围时，就会对机体产生抑制乃至杀灭作用。

二、细菌纯培养的群体生长规律

大多数细菌的繁殖速度都很快，大肠杆菌在适宜条件下，每 20 min 左右便可分裂一次，如果始终保持这样的繁殖速度，一个细菌在 48 h 内，其子代群体将达到无法想象的数量。然而，实际情况并非如此。

将少量单细胞纯培养接种到一恒定容积的新鲜液体培养基中，在适宜的条件下培养，定时取样测定其细菌含量，可以看到以下现象：开始有一短暂时间，细菌数量并不增加，随之细菌数目增加很快，继而细菌数又趋稳定，最后逐渐下降。如果以培养时间为横坐标，以细菌数目的对数或生长速度为纵坐标作图，可以得到一条如图 1-2 所示的曲线，称为繁殖曲线，通常又称为生长曲线。生长曲线代表了细菌在新的适宜的环境中生长繁殖直至衰老死亡全过程的动态变化。根据细菌生长繁殖速率的不同，可将生长曲线大致分为延迟期、对数期、稳定期和衰亡期四个阶段。

（一）延迟期

少量细菌接种到新鲜培养基后，一般不立即进行繁殖，生长速度近于零。因此在开始一段时间，细菌数几乎保持不变，甚至稍有减少。这段时间被称为延迟期，又称为迟缓期、调整期或滞留适应期。处于延迟期细菌细胞的特点是分裂迟缓、代谢活跃。延迟期的长短与菌种、种龄、接种量和培养基成分有关。

（二）对数期

对数期又称指数期。这一阶段突出特点是细菌数以几何级数增加，代时稳定，细菌数目的增加与原生质总量的增加，与菌液混浊度的增加均呈正相关性。

（三）稳定期

又称恒定期或最高生长期。处于稳定期的微生物，新增殖的细胞数与老细胞的死亡数几乎相等，整个培养物中二者处于动态平衡，此时生长速度又逐渐趋向零。

稳定期的细胞内开始积累贮藏物，如肝糖、异染颗粒、脂肪粒等，大多数芽胞细菌也在此阶段形成芽胞。如果为了获得大量菌体，就应在此阶段收获，因这时细胞总数最高；这一时期也是发酵过程积累代谢产物的重要阶段，某些放线菌抗生素的大量形成也在此时期。

（四）衰亡期

稳定期后如再继续培养，细菌死亡率逐渐增加，以致死亡数大大超过新生数，群体中活菌数目急剧下降，出现了“负生长”，此阶段叫衰亡期。

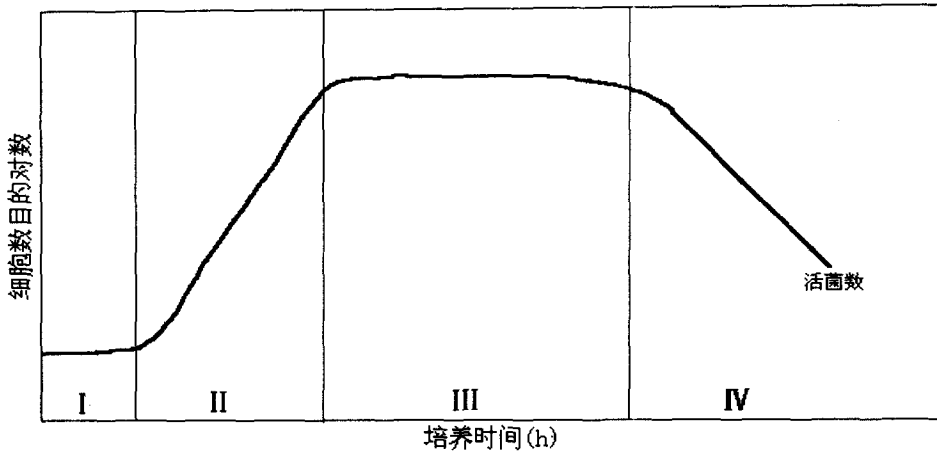


图 1-2 细菌生长的典型曲线

(I—延迟期； II—对数期； III—稳定期； IV—衰亡期)

第六节 影响微生物生长与死亡的因素

生长是微生物与外界环境因素共同作用的结果。环境条件的改变，可引起微生物形态、生理、生长、繁殖等特征的改变；或者抵抗、适应环境条件的某些改变；当环境条件的变化超过一定极限，则导致微生物的死亡。

为了抑制和消除微生物的有害作用，人们常采用多种物理、化学或生物学方法，来抑制或杀死微生物。常用以下术语来表示对微生物的杀灭程度。

灭菌：用物理或化学方法杀灭物体上所有的微生物（包括病原微生物和非病原微生物及细菌芽胞、霉菌孢子等），称为灭菌。

消毒：用物理或化学方法仅能杀灭物体上的病原微生物，而对非病原微生物及芽胞和孢子不一定完全杀死，称为消毒。用来消毒的药物称为消毒剂。

防腐：防止或抑制微生物生长和繁殖的方法称为防腐或抑菌。用于防腐的化学药品称为防腐剂。某些化学药物在低浓度时为防腐剂，在高浓度时则成为消毒剂。

无菌：指没有活的微生物存在。采取防止或杜绝一切微生物进入动物机体或物体的方法，称为无菌法。以无菌法操作时称为无菌操作。在进行外科手术或微生物学实验时，要求严格的无菌操作，防止微生物的污染。

不同的微生物对各种理化因子的敏感性不同，同一因素不同剂量对微生物的效应也不同，或者起灭菌作用，或者可能只起消毒或防腐作用。在了解和应用任何一种理化因素对微生物的抑制或致死作用时，还应考虑多种因素的综合效

应。例如在增高温度的同时加入另一种化学药剂，则可加速对微生物的破坏作用。大肠杆菌在有酚存在的情况下，温度从 30°C 增至 42°C 时明显加快死亡；微生物的生理状态也影响理化因子的作用。营养细胞一般较孢子抗逆性差，幼龄的、代谢活跃的细胞较之老龄的、休眠的细胞易被破坏；微生物生长的培养基以及它们所处的环境对微生物遭受破坏的效应也有明显的影响。如在酸或碱中，热对微生物的破坏作用加大，培养基的粘度也影响抗菌因子的穿透能力；有机质的存在也干扰抗微生物化学因子的效应，或者由于有机物与化学药剂结合而使之失效，或者有机质覆盖于细胞表面，阻碍了化学药剂的渗入。

常见的影响微生物生长与死亡的物理、化学因素介绍如下。

一、温度

温度是影响有机体生长与存活的最重要的因素之一。它对生活机体的影响表现在两方面：一方面随着温度的上升，细胞中的生物化学反应速率和生长速率加快。在一般情况下，温度每升高 10°C，生化反应速率增加一倍；另一方面，机体的重要组成如蛋白质、核酸都对温度都较敏感，随着温度的增高而可能遭受不可逆的破坏。因此，只有在一定范围内，机体的代谢活动与生长繁殖才随着温度的上升而增加，当温度上升到一定程度，开始对机体产生不利影响，如再继续升高，则细胞功能急剧下降以至死亡。

就总体而言，微生物生长的温度范围较广，已知的微生物在 -12~100°C 均可生长。而每一种微生物只能在一定的温度范围内生长。各种微生物都有其生长繁殖的最低温度、最适温度、最高温度和致死温度。

1. 最低生长温度：是指微生物进行繁殖的最低温度界限，如果低于此温度，则生长完全停止。
2. 最适生长温度：能够使微生物迅速生长繁殖的温度叫做最适生长温度，在此温度下，微生物群体生长繁殖速度最快，代时最短。不同微生物的最适生长温度是不一样的。
3. 最高生长温度：是指微生物生长繁殖的最高温度界限。
4. 致死温度：最高生长温度若进一步升高，便可杀死微生物，这种致死微生物的最低温度界限即为致死温度，致死温度与处理时间有关。

微生物按其生长温度范围可分为低温微生物、中温微生物和高温微生物三类。如表 1-2 所示：

表 1-2 微生物的生长温度类型

微生物类型	生长温度范围 (°C)			分布的主要场所
	最低	最适	最高	
低温型 专性嗜冷 兼性嗜冷	-12	5~15	15~20	两极地区 海水、冷藏食品
	-5~0	10~20	25~30	
中温型 室温 体温	10~20	20~35	40~45	腐生菌 寄生菌
		35~40		
高温型	25~45	50~60	70~95	温泉、堆肥堆、土壤表层等

二、氢离子浓度(pH)

环境中的酸碱度通常以氢离子浓度的负对数即 pH 来表示。环境中的 pH 对微生物的生命活动影响很大，主要作用为引起细胞膜电荷的变化，从而影响微生物对营养物质的吸收；影响代谢过程中酶的活性；改变生长环境中营养物质的可给性以及有害物质的毒性。

每种微生物都有其最适 pH 和一定的 pH 范围。在最适范围内酶活性最高，如果其他条件适合，微生物的生长速率也最高。大多数细菌、藻类和原生动物的最适 pH 为 6.5~7.5 在 pH 4~10 之间也可以生长；放线菌一般在微碱性即 pH 7.5~8 最适合；酵母菌、霉菌则适合于 pH 5~6 的酸性环境，但生存范围在 pH 1.5~10 之间。有些细菌甚至可在强酸性或强碱性环境中生活。

微生物在基质中生长，代谢作用改变了基质中氢离子浓度。随着环境 pH 的不断变化，微生物生长受阻，当超过最低或最高 pH 时，将引起微生物的死亡。为了维持微生物生长过程中 pH 的稳定，配制培养基时要注意调节 pH，而且往往还要加入缓冲物以保证 pH 在微生物生长繁殖过程中的相对稳定。

强酸和强碱具有杀菌力。无机酸杀菌力虽强，但腐蚀性大。某些有机酸如苯甲酸可用做防腐剂。强碱可用作杀菌剂，但由于它们的毒性大，其用途局限于对排泄物及仓库、棚舍等环境的消毒。强碱对革兰氏阴性细菌与病毒比对革兰氏阳性细菌作用强。

三、氧化还原电位

氧化还原电位 (Φ) 对微生物生长有明显影响。环境中 Φ 值与氧分压有关，也受 pH 的影响。pH 低时，氧化还原电位高；pH 高时，氧化还原电位低。

各种微生物生长所要求的 Φ 值不一样。一般好氧性微生物在 Φ 值 +0.1V 以上均可生长，以 Φ 值为 +0.3~+0.4V 时为适。厌氧性微生物只能在 Φ 值低于 +0.1V 以下生长。兼性厌氧微生物在 +0.1V 以上时进行好氧呼吸，在 +0.1V 以下时进行发酵。

四、辐射

辐射是指通过空气或外层空间以波动方式从一个地方传播或传递到另一个地方的能源。它们或是离子或是电磁波。电磁辐射包括可见光、红外线、紫外线、X 射线和 γ 射线等。

1. 紫外辐射

紫外线是非电离辐射，以波长 265~266 nm 的杀菌力最强。紫外辐射对微生物有明显的致死作用，是强杀菌剂，紫外杀菌灯管在医疗卫生和无菌操作中广泛应用。由于紫外线穿透能力差，不易透过不透明的物质，故紫外杀菌灯只适用于空气及物体表面消毒。

2. 电离辐射

X 射线与 α 射线、 β 射线和 γ 射线均为电离辐射。在足够剂量时，对各种细菌均有致死作用。常用于一次性塑料制品的消毒，也用于食品的消毒。

五、干燥

水分是微生物的正常生命活动必不可少的。干燥会导致细胞失水而造成代谢停止以至死亡。微生物的种类、环境条件、干燥的程度等均影响干燥对微生物的效果。休眠孢子抗干燥能力也很强，在干燥条件下可长期不死，这一特性已用于菌种保藏，如用砂土管来保藏有孢子的菌种。在日常生活中也常用烘干、晒干和熏干等方法来保存食物。

六、渗透压

水或其他溶剂经过半透性膜而进行扩散的现象就是渗透。在渗透时溶剂通过半透性膜时的压力即谓渗透压。其大小与溶液浓度成正比。

适宜于微生物生长的渗透压范围较广，而且它们往往对渗透压有一定的适应能力。突然改变渗透压会使微生物失去活性，逐渐改变渗透压，微生物常能适应这种改变。对一般微生物来说，它们的细胞若置于高渗溶液中，水将通过细胞膜从低浓度的细胞内进入细胞周围的溶液中，造成细胞脱水而引起质壁分离，使细胞不能生长甚至死亡。相反，若将微生物置于低渗溶液或水中，外环境中的水将从溶液进入细胞内引起细胞膨胀，甚至使细胞破裂。

由于一般微生物不能耐受高渗透压，所以日常生活中常用高浓度的盐或糖保存食物，如腌渍蔬菜、肉类及蜜饯等。

七、超声波

超声波具有强烈的生物学作用。超声波的作用是使细胞破裂，所以几乎所有的微生物都能受其破坏，其效果与频率、处理时间、微生物种类、细胞大小、形状及数量等均有关系。

八、重金属及其化合物

一些重金属离子是微生物细胞的组成成分，当培养基中这些重金属离子浓度低时，对微生物生长有促进作用，反之会产生毒害作用；也有些重金属离子的存在，不管浓度大小，对微生物的生长均会产生有害或致死作用。因此，大多数重金属及其化合物都是有效的杀菌剂或防腐剂。其作用最强的是 Hg、Ag 和 Cu。如：二氯化汞又名升汞，是杀菌力极强的消毒剂。0.1%~1% 浓度的硝酸银常用于皮肤的消毒。

九、有机化合物

对微生物具有有害效应的有机化合物种类很多，其中酚、醇、醛等能使蛋白质变性，是常用的杀菌剂。

1. 酚

酚又名石炭酸，它们对细菌的有害作用可能主要是使蛋白质变性，同时又有表面活性的作用，破坏细胞膜的透性，使细胞内含物外溢。当浓度高时是致死因子，反之则起抑菌作用。

甲酚是酚的衍生物。杀菌力比酚强几倍。甲酚在水中的溶解度较低，但在皂液与碱性溶液中易形成乳液。市售的消毒剂煤酚皂液（来苏尔）就是甲酚与肥皂的混合液，常用 3%~5% 的溶液来消毒皮肤、桌面及用具等。

2. 醇

醇是脱水剂、蛋白质变性剂，也是脂溶剂，可使蛋白质脱水、变性，损害细胞膜而具杀菌能力。乙醇是普遍使用的消毒剂，常用于实验室内的玻棒、玻片及其他用具的消毒。50%~70%的乙醇便可杀死营养细胞；70%的乙醇杀菌效果最好，超过70%以至无水乙醇效果较差。

3. 甲醛

甲醛也是一种常用的杀细菌与杀真菌剂，效果良好。纯甲醛为气体状，可溶于水，市售的福尔马林溶液就是37%~40%的甲醛水溶液。

十、卤族元素及其化合物

1. 碘

碘是强杀菌剂。3%~7%碘溶于70%~83%的乙醇中配制成碘酊，是皮肤及小伤口有效的消毒剂。碘一般都作外用药。

2. 氯气或氯化物

这是一类最广泛应用的消毒剂。氯气一般用于饮水的消毒，次氯酸盐等常用作食品加工过程中的消毒。氯气和氯化物的杀菌机制，是氯与水结合产生了次氯酸(HClO)，次氯酸易分解产生新生态氧，这是一种强氧化剂，对微生物起破坏后用。

十一、表面活性剂

具有降低表面张力效应的物质称为表面活性剂。这类物质加入培养基中，可影响微生物细胞的生长与分裂。如肥皂、漂白粉、洗衣粉等。

十二、染料

染料，特别是碱性染料，在低浓度下可抑制细菌生长。由于这些染料具有选择性抑菌的特点，故常在培养基中加入低浓度的染料配制成选择培养基。例如：碱性三苯甲烷染料，包括孔雀绿、亮绿、结晶紫等，对革兰氏阳性菌有很强的抑制作用。

十三、化学疗剂

能直接干扰病原微生物的生长繁殖并可用于治疗感染性疾病的化学药物即为化学疗剂。它能选择性地作用于病原微生物新陈代谢的某个环节，使其生长受到抑制或致死，但对人体细胞毒性较小，故常用于口服或注射。化学疗剂种类很多，按其作用与性质又分为抗代谢物和抗生素等。

第七节 微生物的传染与免疫

一、微生物的传染

(一) 传染

能引起人体或动物体发生传染病的微生物，称为病原微生物或致病微生物。传染是指病原微生物侵入机体后，在一定的部位生长、繁殖，并引起一系列病理