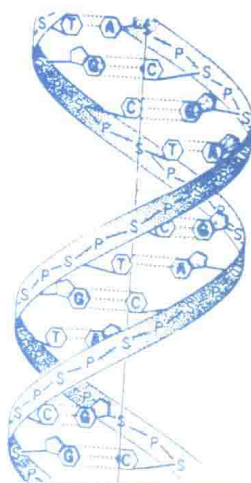
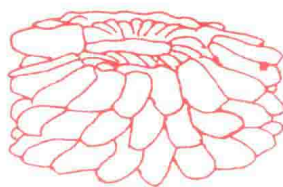
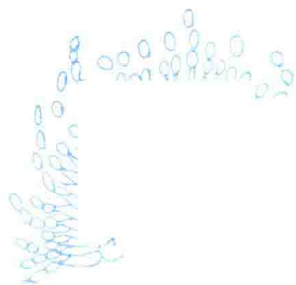
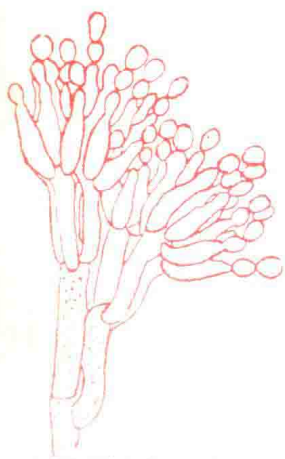


食品微生物学

殷蔚申 主编

中国财政经济出版社



食 品 微 生 物 学

殷 蔚 申 主 编

中国财政经济出版社

食品微生物学

殷蔚申 主编

*

中国财政经济出版社出版

(北京东城大佛寺东街8号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京朝阳北苑印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开 20.5印张 499 000字

1991年8月第1版 1991年8月北京第1次印刷

印数: 1—7100 定价: 7.50元

ISBN 7-5005-1315-1/TS·0040

编写说明

本书可作为粮食和商业高等院校的食品科学、食品工程、食品分析及粮油储藏和加工等专业的教材。也可作为轻工业、农业、医学等院校有关专业的师生，以及研究人员和技术人员的参考书。

本书内容除包括一般食品微生物学的内容外，在粮食微生物及真菌毒素方面作了详述，同时对微生物在发酵食品、酶制剂、食品添加剂等的应用方面也作了扼要的阐述。内容力求理论联系实际，突出重点，反映近代科学新成就。并作到简明易懂，图文并茂。

本书是由郑州粮食学院微生物教研室的教师编写的。由殷蔚申担任主编。编写分工是：第一章由殷蔚申编写；第二章由张耀东编写；第三章和第四章由蔡静平编写；第五章由吴小荣编写；第六章由殷蔚申和钟文辉编写；第七章由殷蔚申和蔡静平编写；第八章由吴小荣和张耀东编写；第九章由殷蔚申、吴小荣、钟文辉、张耀东编写。

由于我们水平有限，错误和不当之处请读者批评指正。

编者

1990年8月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 微生物的基本特征	(1)
第二节 微生物学发展简史	(2)
第三节 食品微生物学的研究内容与任务	(2)
第二章 微生物的形态和分类	(4)
第一节 微生物的分类	(4)
第二节 细菌	(7)
第三节 放线菌	(21)
第四节 病毒	(23)
第五节 真菌	(25)
第三章 微生物的生理	(62)
第一节 微生物细胞的化学组成	(62)
第二节 微生物的营养	(64)
第三节 微生物的培养	(70)
第四节 微生物的代谢	(77)
第五节 微生物的生长	(92)
第四章 微生物的遗传、变异和育种	(96)
第一节 遗传变异的物质基础	(96)
第二节 基因突变与育种	(98)
第三节 基因重组与育种	(104)
第五章 环境因素对微生物的影响	(108)
第一节 物理因素的影响	(108)
第二节 化学因素的影响	(124)
第三节 生态因素	(135)
第六章 粮食和各类食品的微生物	(138)
第一节 粮食微生物	(138)
第二节 肉、乳、蛋中的微生物	(152)
第三节 水果和蔬菜中的微生物	(164)
第四节 罐头食品中的微生物	(169)
第七章 食物中毒与真菌毒素	(175)
第一节 细菌性食物中毒	(175)
第二节 真菌毒素	(181)
第八章 食品保藏	(197)

第一节 化学保藏	(198)
第二节 低温保藏	(213)
第三节 干燥保藏	(220)
第四节 气调保藏	(225)
第五节 高温保藏	(229)
第六节 辐射保藏	(236)
第九章 微生物在食品工业中的应用	(241)
第一节 发酵食品	(241)
第二节 微生物酶制剂	(254)
第三节 单细胞蛋白	(264)
第四节 微生物油脂	(269)
第五节 食品添加剂	(273)
第六节 食用菌	(294)
附录一 《伯杰氏鉴定细菌学手册》(美国, 1974 年, 第八版) 中有关细菌门分类和检索	
的内容摘录	(300)
(一) 细菌门的分类系统	(300)
(二) 细菌门十九个部分的检索表	(308)
附录二 酵母菌分属检索表及分类系统	(309)
(一) 酵母菌分属检索表 (Lodder, 1970 年)	(309)
(二) 酵母菌分类系统 (Kreger Van Rij, 1982 年)	(311)
附录三 曲霉属分群检索表	(313)
(一) 曲霉属分群检索表 (主要根据形态)	(313)
(二) 曲霉属分群检索表 (主要根据颜色)	(315)
附录四 青霉属诸系的总检索表	(316)

第一章 绪 论

微生物是自然界中一群个体微小，结构简单的低等生物。其中包括不具细胞结构的病毒；属于原核生物的细菌、放线菌、蓝绿藻、立克次氏体、衣原体、枝原体；属于真核生物的霉菌、单细胞藻类和原生生物。这些微小的生物必需借助光学显微镜甚至电子显微镜的放大，才能看清楚它们的形态结构。

第一节 微生物的基本特征

微生物的个体微小，一般以微米为测量单位。微生物有极大的表面积与体积的比值，所以能够迅速地 and 周围环境进行物质交换。从单位重量看微生物的代谢强度比高等动植物高几千倍至几万倍。对环境的变化反应快，容易发生变异。因此微生物是研究生物细胞遗传变异的好材料。同时在生产中，利用微生物的变异性，可进行人工诱变育种，提高产品质量和生产率。

微生物的代谢能力强，生长繁殖速度快。大肠杆菌在适宜条件下，每 20 分钟到 30 分钟就能繁殖一代，24 小时能繁殖 72 代。但由于营养物质迅速消耗，代谢产物的累积，环境的不利影响等因素的作用，大肠杆菌的实际繁殖速度达不到这个水平。

由于微生物繁殖速度快，适应环境能力强，所以在自然界中分布极广泛。高至 12000 米的高空，深至 1000 米的海底，都有微生物存在。土壤中具有微生物生活所需的各种营养物质、水分和氧气，是微生物栖息的场所；营养贫乏的岩石、矿山和干旱的沙漠中都能找到微生物的踪迹；甚至在高达 90℃ 以上的温泉和终年积雪的高山上都有微生物；在人和动植物体内和内部也同样有微生物。所以微生物的存在是无孔不入，无所不至的。

目前已发现微生物有数万种。它们的代谢方式多种多样，能够分解利用各种有机物质。因此微生物在人类的生产生活中；自然界的能量转化及物质循环中，均起着极其重要的作用。多数微生物对人类是有益的，只有少数是有害的。

人们利用微生物的发酵作用，制做各种食品、饮料、医药、饲料；也可制作各种工业原料，如酒精、甘油、有机酸、氨基酸、酶制剂等。这些都是微生物对人类的有益作用。

微生物在自然界的物质循环和能量转换中起着重要的作用。在地球上生物繁荣发展中，绿色植物作为生产者。它通过光合作用将无机物转化成有机物，将日光能转化成化学能，贮存在有机物中。人类和动物是消费者，吸收利用绿色植物所创造的有机物。微生物作为分解者，将地球上所有的有机物进行分解变成无机物，再供给绿色植物。如此生产者、消费者和分解者相互依存，相互发展，推动了地球上生物圈中物质循环和能量转换。使地球上的生态系统保持平衡。所以微生物对人类的生存和发展起着巨大的作用。

有些微生物对人类是有害的。它们能侵染人和动植物发生疾病，危害人畜健康，并给农业生产带来巨大损失。有些微生物能在粮食、食品、工业产品上生长繁殖，引起腐败变质，造成经济损失。

第二节 微生物学发展简史

我国人民在利用微生物方面有着悠久的历史。远在四千多年以前，我国人民就会利用微生物酿酒。这可从殷墟发掘出来的酒器、甲骨文中有酒字的史实而得到证实。在公元6世纪，后魏贾思勰著的《齐民要术》一书中，也记载了制曲和酿酒技术，以及栽种豆科植物可以肥田，说明当时已知根瘤菌肥田的现象。在医学方面，远在公元前6世纪，我国名医扁鹊就提出防重于治的医学思想；宋真宗时，种人痘预防天花在我国已普遍进行。后传入国外，18世纪英人秦纳（E. Jenner）受到启示，发明了种牛痘预防天花。说明我国古代人民就在应用微生物方面有着丰富的经验。

人类真正认识微生物的存在，是在16世纪。当时荷兰人吕文虎克（A. V. Leeuwenhoek）利用自制的放大200~300倍的显微镜，观察雨水、牙垢、井水及各种有机物的浸出液，发现了微生物，并进行了描述。此后近两个世纪微生物知识的积累缓慢，停留在形态学时期，直到19世纪60年代，由于欧洲一些国家工业发展才促进微生物学从形态学向生理学发展。

在微生物生理学发展时期，以法国人巴斯德（L. Pasteur）和德国人柯赫（R. Koch）在微生物的理论和实践方面做出了卓越的贡献，奠定了微生物学的生理学基础。伟大的微生物学家巴斯德通过严密的实验，证明了酿酒和制醋是微生物的发酵作用制成的。而不是发酵产生了微生物，推翻了当时的自然发生说；同时巴斯德发明了巴斯德消毒法解决了酒变质的问题。直到今天这种消毒法还广泛用于食品工业中。此外在蚕病、狂犬病、鸡霍乱病和炭疽病的病原体和预防方面，巴斯德进行了大量的出色的研究工作，作出了卓越的贡献。柯赫创建了分离培养、接种和染色一套研究微生物技术，并在对疾病与病原菌之间的关系，提出了确定病原菌的严格准则。这些方法与准则一直沿用至今。

20世纪以来，由于生物化学、化学分析技术的发展，电子显微镜的出现，使微生物学从细胞水平进入分子水平。在这期间，埃米里（Avery）1944年第一次证实了引起肺炎球菌形成荚膜遗传性状转化的物质是脱氧核糖核酸，以后科学家们相继发现了脱氧核糖核酸的双螺旋结构和半保留复制；遗传密码。不仅在分子生物学上奠定了理论基础，而且推动了微生物遗传学向遗传工程学发展。为实现人类按照需要定向改造和创建新物种提供了可能性。

第三节 食品微生物学的研究内容与任务

食品微生物学是研究食品的原料、产品以及其在加工、储藏中有关微生物的种类及其作用的科学。

食品微生物学的研究内容主要包括以下几个方面：

- 一、粮食及其加工产品、水果、蔬菜、肉、蛋、奶等各类食品中，微生物污染的状况；
- 二、微生物引起食品的腐败变质；
- 三、食物中毒和食品传染的疾病；
- 四、真菌毒素；
- 五、环境因素对食品微生物活动的影响；
- 六、防止食品腐败变质的各种保藏方法。

微生物在食品工业中应用范围广泛。在某些方面已具有悠久的历史，积累了丰富的知识和经验，如白酒、酱油、醋、啤酒等方面，已有专门著作，进行详细叙述。本书为了拓宽读者对微生物在食品工业中应用的知识，仅在这方面概况地进行了简要的介绍。

由于我国人民的食品结构中，淀粉占的比例相当大，而淀粉主要来自粮食及其加工产品。因此本书在有关粮食微生物方面作了比较深入的介绍。

食品微生物学是一门应用科学。其任务主要是研究食品生产、加工、储藏、运输和销售各个环节中微生物的活动规律；引起食品腐败变质的原因。研究防止食品腐败变质、食物中毒和真菌毒素污染的有效方法。以达到食品保鲜和食用安全的目的。

第二章 微生物的形态和分类

生物可分为非细胞生物和细胞生物。微生物中病毒是非细胞生物。细胞生物又分为原核生物和真核生物。细菌、放线菌、立克次氏体、支原体、衣原体、蓝细菌属原核生物。真菌、单细胞藻类和原生动物属真核生物。用电子显微镜研究细胞的微细结构和功能，发现原核生物和真核生物的主要区别如下：

结 构	原核生物细胞	真核生物细胞
细胞核		
核膜	无	有
核仁	无	有
DNA	单个染色体，不与组蛋白结合，没有有丝分裂	有几个或多个染色体，与组蛋白结合，有有丝分裂
细胞质		
细胞膜	常缺少固醇	常有固醇
内膜	简单中体	复杂内质网、高尔基体
细胞器	无	液泡、溶酶体、微粒体、线粒体等
核糖体	70S	80S
呼吸系统	细胞膜或中体的一部分	在线粒体上
光合作用器	在内折上进行	在叶绿体上进行
繁 殖	无性、二分裂，很少有接合的	有性或无性，多种途径
运 动	简单鞭毛	纤毛与鞭毛构造复杂
大 小	直径通常小于2微米	直径从2微米到100微米

第一节 微生物的分类

在生物发展的历史中，曾将所有生物分为动物界和植物界。1866年德国生物学家赫克尔 (E. Haeckel) 提出：在动物界与植物界外建立原生生物界。将细菌、真菌、藻类、原生生物归属其中。随着生物学的发展，电子显微镜的出现，在1969年魏塔克(H. Whittaker)提出五界学说：即将生物分为植物界、动物界、真菌界、原核生物界和原生生物界。其中除

动物界与植物界外，微生物大都属于余下三界。病毒属于非细胞结构，其分类地位未定。

一、微生物的分类

微生物与其它生物一样，概括地讲是从简单到复杂，从低级到高级发展进化的。微生物分类是在研究微生物的系统发生，了解其亲缘关系的基础上，将各种各样的微生物按照亲缘关系分群归类编排成一个系统，给各个类群以一个科学的名称和加以描述。在实际应用中，可根据分类系统编制检索表，对未知菌进行鉴定。因此对微生物进行分类，便于人们认识和研究各种微生物。

(一) 微生物的分类单位

微生物分类单位与动植物分类单位相同，即依次为界 (Kingdom)、门 (Phylum)、纲 (Class)、目 (Order)、科 (Family)、属 (Genus)、种 (Species)。种是最基本的分类单位。把相似或相关的种归为一个属，又把相似的属归为一科，余此类推，从而构成一个完整的分类系统。

界 真菌界 (Fungi)

门 真菌门 (Eumycoata)

亚门 子囊菌亚门 (Ascomycotina)

纲 半子囊菌纲 (Hemiascomycetes)

目 内孢霉目 (Endomycetales)

科 酵母菌科 (Saccharomycetaceae)

属 酵母菌属 (*Saccharomyces*)

种 啤酒酵母种 (*cerevisiae*)

啤酒酵母 (*Saccharomyces cerevisiae* Hansen)

生物的“种”是客观存在的，相对稳定的。在一定条件下，物种本身或其后代会出现变异。

从自然界中分离的某一纯种，有某一特性与典型种不同，其余特征完全相同，而这一特征又是稳定的，这个种就是某个典型种的变种 (Variety 或缩写成 Var.)。如烟曲霉椭圆孢子变种 (*A. fumigatus* var. *ellipticus*)。典型的烟曲霉分生孢子球形有小刺，椭圆孢子变种的分生孢子为椭圆形光滑或近于光滑。其它方面的特征两者相似。

曲霉和青霉是食品工业和引起食品腐败变质的重要霉菌。这两个属各有一百多种。从自然基质上分离的曲霉或青霉菌株，其形态特征与描述的典型菌株相似，但在细微部分有差异，为了鉴别的方便，在分类鉴定上提出“种群”的概念。即将环绕典型菌种的菌株集合为群或系 (Group 或 Series)。

(二) 微生物的命名

微生物的命名和其他高等动植物一样，采用林奈 (Linnaeus) 所创立的“双名法”。学名由两个拉丁字或希腊字组成，第一个字是属名，字首字母要大写；第二个字是种名，字首字母小写。在种名后附命名者的姓。通常属名是拉丁字的名词，用以描述微生物的重要特征；种名是拉丁字的形容词，用以描述微生物的次要特征。例如黄曲霉 *Aspergillus flavus* Link, 属名意思是一种用具帚；种名意思是黄色；由 Link 命名。又如焦曲霉 *Aspergillus ustus* (Bain) Thom et church. 括号内的 (Bain) 是第一命名人，括号后面的人名是修改后

的命名人。

(三) 细菌和真菌的分类依据

细菌分类依据, 除形态特征外, 主要依据生理生化特征、血清学反应、对噬菌体的敏感性, 以及核酸的碱基组成。真菌的分类依据主要是繁殖器官的形态、构造、孢子形态、大小、颜色、表面特征、着生形态及数目等。在鉴定某一菌株时, 从以上这些方面进行试验观察和记录, 然后查阅有关书籍和资料, 确定归属。

二、细菌分类

在细菌分类系统中, 目前以美国微生物学会所属的“伯杰氏手册董事会”, 编写的《伯杰氏鉴定细菌学手册》(《Bergey's manual of determinative bacteriology》) 1974年出版的第八版本, 是细菌学鉴定方面比较权威的工具书。该书根据细菌形态及营养型等将细菌分为十九个部, 约有250个属, 1500种左右(不包括放线菌)。详见附录一。

三、真菌分类

真菌分类有几个系统。在我国书籍中过去采用 G. W. Martin (1950) 的分类系统。该系统承认粘菌门和真菌门是植物界的独立门, 把真菌门又分为藻菌纲、子囊菌纲、担子菌纲和半知菌纲。现在一般采用的是 Ainsworth (1971, 1973) 分类系统。该系统将真菌界分为两个门, 即裸菌门和真菌门。真菌门又分为五个亚门。现简单介绍如下:

真菌界

裸菌门

真菌门——5个亚门

- (1) 鞭毛菌亚门 (Mastigomycotina) ——4纲10目。菌体单细胞或丝状(无隔), 孢子或配子能动(具鞭毛)。
- (2) 接合菌亚门 (Zygomycotina) ——2纲7目。菌体丝状, 典型无隔; 有性孢子为接合孢子, 缺能动孢子。在食品中常见的属有: 根霉属 (*Rhizopus*)、毛霉属 (*Mucor*)、犁头霉属 (*Absidia*)、共头霉属 (*Syncephalastrum*)。
- (3) 子囊菌亚门 (Ascomycotina) ——6纲21目。菌体丝状, 有隔; 少数为单细胞; 有性孢子为子囊孢子。食品中常见的属有: 酵母属 (*Saccharomyces*)、裂殖酵母属 (*Schizosaccharomyces*)、德巴利酵母属 (*Debaryomyces*)、汉逊酵母属 (*Hansenula*)、阿舒囊霉属 (*Ashbya*)、红曲属 (*Monascus*)、毛壳菌属 (*Chaetomium*)、赤霉属 (*Gibberella*)、脉孢菌属 (*Neurospora*)。
- (4) 担子菌亚门 (Basidiomycotina) ——3纲16目。菌体丝状、有隔; 大多数有锁状联合; 有性孢子为担孢子。
- (5) 半知菌亚门 (Deuteromycotina) ——3纲8目。菌体丝状, 有隔; 或单细胞; 缺有性生殖, 但可能发生准性生殖。无性生殖为分生孢子。食品中常见的属有: 假丝酵母属 (*Candida*)、球拟酵母属 (*Torulopsis*)、红酵母属 (*Rhodotorula*)、曲霉属 (*Aspergillus*)、青霉属 (*Penicillium*)、地霉属 (*Geotrichum*)、木霉属 (*Trichoderma*)、头孢霉属 (*Cephalosporium*)、枝孢属 (*Cladosporium*)、长蠕孢属 (*Helminthosporium*)、链格孢属 (*Alternaria*)、镰孢霉属 (*Fusarium*)。

第二节 细 菌

细菌属于原核生物，是微生物中重要的一群，除种类多分布广外，而且数量很大。与食品腐败变质有着密切的关系，其作用不亚于霉菌，是食品微生物的主要研究对象之一。同时有些细菌是食品发酵工业的有用菌种。

一、细菌的形态与大小

(一) 细菌的形态

细菌的形态分球状、杆状、螺旋状三种基本形态。在一定环境条件下各种形态的细菌经常保持一定的形状。故分类上叫做球菌、杆菌、螺旋菌（图 2-1）。

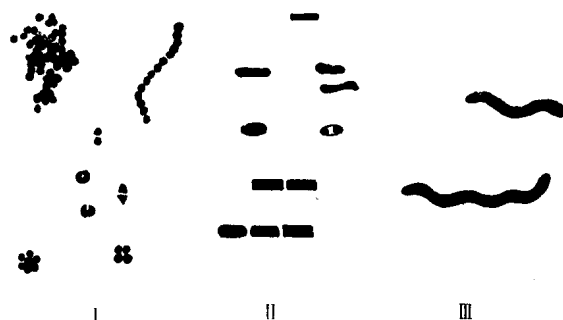


图 2-1 细菌三型

I. 球菌 II. 杆菌 III. 螺旋菌

1. 球菌。球形的细菌称为球菌。单个存在时呈圆球形或椭圆形。若是二个或二个以上联在一起，由于分裂方向不同，排列方式亦不一样。分裂后成对排列的为双球菌。分裂后排列成链的为链球菌。分裂在二个垂直方向进行，分裂后每四个细胞呈“田”字形排列为四联球菌。若在三个垂直方向上进行分裂，分裂后每八个细胞呈正方体排列为八叠球菌。如果在许多方向上进行分裂，分裂后堆积成块，形似葡萄称为葡萄球菌。

2. 杆菌。杆状细菌称为杆菌，杆菌的形状因种类不同在长短大小、长与宽的比例上呈现出很大差异。有的杆菌菌体细而长，长与宽之比大于二倍者为长杆菌；有的杆菌菌体短而粗，长与宽之比较接近者称为短杆菌。甚至有的短杆菌菌体接近球形成椭圆形，而易与球菌混淆。杆菌依种不同，两端形态亦不同，有的两端平截，有的钝圆，有的两端粗细不一。常见的排列方式有：链杆菌、八字排列的杆菌。

3. 螺旋菌。螺旋状的细菌称为螺旋菌。螺旋的数目，螺矩的大小，都依菌的种类而不同。常根据弯曲的程度不同将它们分为弧状菌和螺旋状菌。菌体呈弧状或逗点符号状的为弧菌。菌体呈“S”状和螺旋状的为螺旋菌。该菌具有坚韧的细胞壁，菌体较硬。一般为人畜病原菌，污染奶制品或其他食品，造成暴发性食物中毒。

(二) 细菌的大小

细菌是用肉眼看不到的微小的单细胞生物,只有用能分辨 0.2 微米的光学显微镜才能看到。因此,测量细菌的大小必须在显微镜下进行,通常用测微尺来测量。球菌只测量其直径,测量杆菌时必须测量其长与宽,螺旋菌只测量弯曲形的总长度,不是测量实际长度。

细菌的大小在 0.5—20 微米之间,一般在 1—数微米之间。球菌大多数直径约 0.2—2 微米,杆菌平均大小约 0.5—1.0×1.0—8.0 微米。产生芽孢的杆菌一般大于无芽孢杆菌。表 2-1 表示不同细菌的细胞大小。

表 2-1 细 菌 的 大 小

细 菌 名 称	大小 (微米)
芽状杆菌 (<i>Bacillus mycoides</i>)	5—7×1.0—1.2
枯草杆菌 (<i>Bacillus subtilis</i>)	2—3×0.7—0.8
大肠杆菌 (<i>Escherichia coli</i>)	1—3×0.4—0.7
普通变形杆菌 (<i>Proteus vulgaris</i>)	1—3×0.5—1.0
草生假单胞杆菌 (<i>Bacterium herbicola</i>)	2—3×0.7
巨大芽孢杆菌 (<i>Bacillus megatherium</i>)	3—6×1.0—1.5
破伤风芽孢杆菌 (<i>Bacillus tetani</i>)	4—8×0.4—0.6
肺炎球菌 (<i>Streptococcus pneumoniae</i>)	0.5—1.25
金黄色葡萄球菌 (<i>Staphylococcus aureus</i>)	0.8—1.0
乳酸链球菌 (<i>Streptococcus lactis</i>)	0.5—0.6
大八叠球菌 (<i>Sarcina maxima</i>)	4.0—4.5

直径 1.2 微米的球菌相当于宽 0.8 微米,长 2 微米的杆菌,它们的体积为 10^{-12} 立方厘米。湿菌体的比重为 1.1, 所以一个细菌细胞的重量为 1.1×10^{-12} 克。即大约 10^{12} 个细菌的细胞重量才只有 1 克。换言之,约一万亿个细菌的细胞才只有 1 克重。由此可见细菌的微小。

二、细菌的细胞结构

细菌虽然是个体非常微小的单细胞生物,但其细胞内部结构却很复杂。一个细胞就能够表达整个生物体的结构与功能。细菌的细胞结构主要包括:细胞壁、细胞膜、细胞质、细胞核、及各种内含物。此外某些种细菌还具有荚膜、鞭毛和纤毛、芽孢等特殊结构(图 2-2),现分述如下:

(一) 细胞壁

细菌的细胞壁是细胞表面的一层坚硬的外壁。是一层薄而透明薄膜,厚度均匀一致,具有高度的韧性和弹性。可以使细菌的细胞具有固定的形状,并有保护作用。约占细胞干重的 10—20%。

通过革兰氏染色法,可将所有的细菌分为革兰氏阳性细菌和革兰氏阴性细菌两大类。其染色要点:先用结晶紫染液染色,再加媒染剂——碘液媒染,待菌体着色后,用乙醇脱色,最后用复染液复染。显微镜下菌体呈红色者为革兰氏染色反应阴性细菌,常用 G^- 表示。菌

体呈深紫色者为革兰氏染色反应阳性细菌，用 G^+ 表示。细菌对革兰氏染色之所以会出现不同反应结果，原因是二者的细胞壁在结构与化学组成上，存在着显著的差异（图 2-3）。

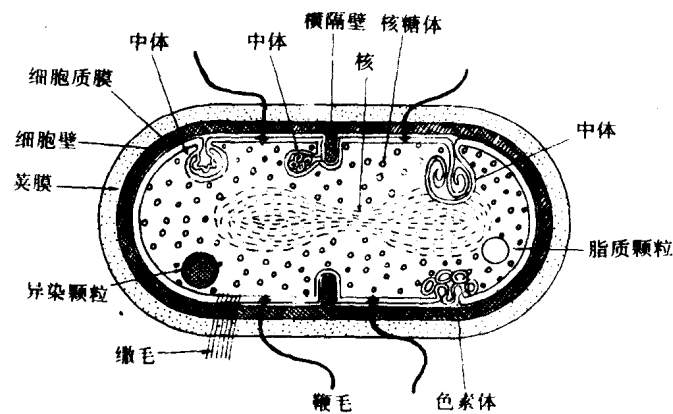


图 2-2 细菌细胞结构模式图

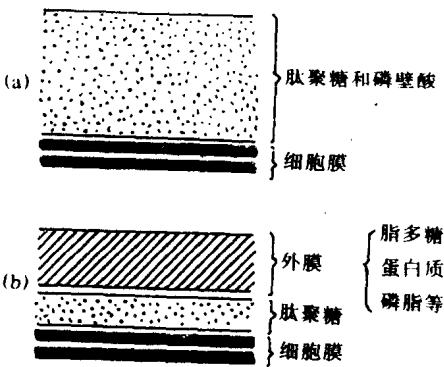


图 2-3 革兰氏阳性细菌细胞壁 (a) 和革兰氏阴性细菌细胞壁 (b) 的模式图

1. 革兰氏阳性细菌和革兰氏阴性细菌细胞壁的比较

除肽聚糖普遍存在于所有的细菌细胞壁中外，二者的细胞壁无论是厚度，结构和化学组成，都有很大差别。例如，革兰氏阳性细菌的细胞壁较厚，只有一层，主要是由肽聚糖组成。而革兰氏阴性细菌是多层。此外肽聚糖亚单位交联方式也有些差异（表 2-2）。

表 2-2 革兰氏阳性细菌和革兰氏阴性细菌的细胞壁比较

革兰氏染色反应	革兰氏阳性细菌(G^+)	革兰氏阴性细菌(G^-)
细胞壁层次	单层	多层
细胞壁厚度	10—80 纳米	10—15 纳米
肽聚糖	多层,75%亚单位交联网格紧密坚固	单层,30%亚单位交联网格疏松
与细胞膜关系	不紧密	紧密
化学组成	占细胞干重的 40—85%	占细胞干重的 5—15%
肽聚糖	+	-
磷壁酸	-	+
脂多糖	无或很少	含量达 20—30%
脂类	约 10%	约 60%
蛋白质		
细胞壁硬度	大	小
对青霉素反应	敏感	不敏感

2. 细菌细胞壁中的肽聚糖、磷壁酸和脂多糖

肽聚糖：肽聚糖是细菌细胞壁中普遍存在的一种大分子聚合物。这种聚合物是由氨基糖骨架和肽链组成。它的一级结构是 N-乙酰葡萄糖胺 (G) 和 N-乙酰胞壁酸 (M) 残基以 β -1,4-键交替连接形成聚糖链。每条聚糖链含 20—65 个双糖单位，长度为 50—100 纳米（图 2-4）。

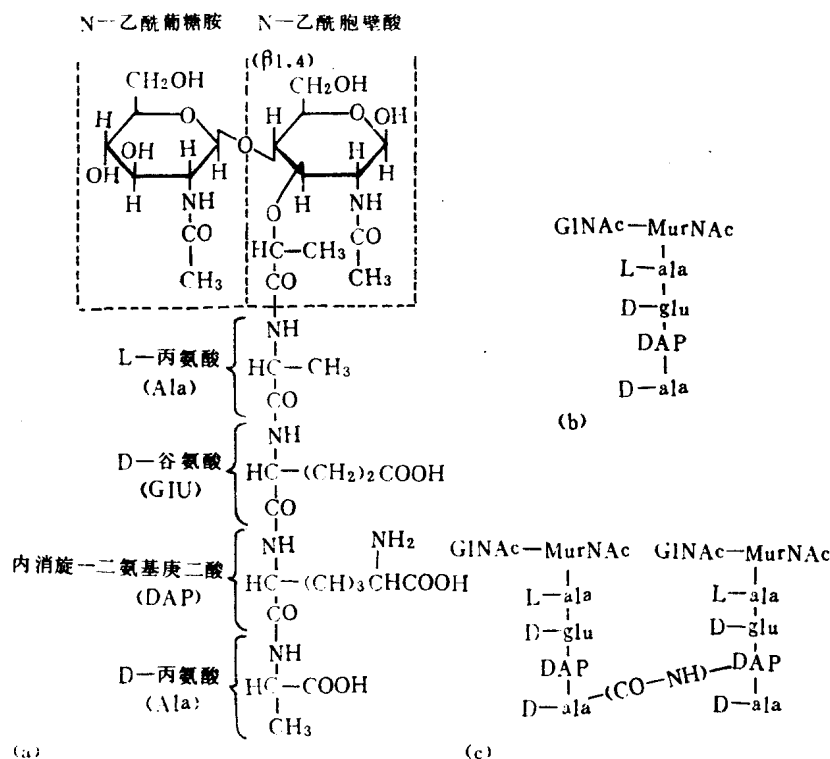


图 2-4 肽聚糖的一般结构

- (a) 肽聚糖中单个亚单位的完整结构及两个氨基糖之间的键合。
 (b) 是(a)的简单表示方式。
 (c) 表示一个亚单位上 D-丙氨酸的末端羧基与相邻的另一个亚单位上的二氨基氨基酸 (如二氨基庚二酸) 的游离氨基之间的交叉连接。

肽聚糖亚单位通过糖苷键和肽键结合成网状或纤维状结构。在革兰氏阴性细菌中肽聚糖链的层数较少，肽链之间的交联程度较低。交联的和未交联的肽链数目几乎相等 (如图 2-5b)。革兰氏阳性细菌的肽聚糖有许多层，肽聚糖亚单位的全部肽链都是通过甘氨酸五肽链组成内肽桥交联的 (如图 2-5a)。因此，细胞壁的肽聚糖层完全包围和阻拦着原生质，形成一个平衡着膨压的袋状大分子 (如图 2-5)。

磷壁酸：磷壁酸是水溶性的多聚体，是以磷酸多元醇分子的重复结构单位为主链的阴离子多聚物。目前已知道的磷壁酸有两种类型，甘油磷壁酸与核糖醇磷壁酸。前者以磷酸甘油为重复单位，通过磷酸二酯键连接起来，后者以磷酸核糖醇为重复单位，通过磷酸二酯键连接起来的大分子化合物。长度一般是 10 个重复单位。也有长达 30 个以上重复单位的 (如图 2-6)。

脂多糖：脂多糖是革兰氏阴性细菌外膜的重要组成成分，分子量在 10000 以上，它由三个主要组分所组成：即低聚糖、核心多糖、脂 A。低聚糖是由许多四糖和五糖的低聚糖重复单位所组成；核心多糖则是由多个单糖或单糖衍生物组成；脂 A 主要是由一个或数个葡萄糖胺的衍生物组成。

脂多糖功能一般认为是革兰氏阴性细菌细胞壁表面的抗原决定因子，可以作为许多噬菌

体的吸附受体，并作为某些毒素的主要成分。

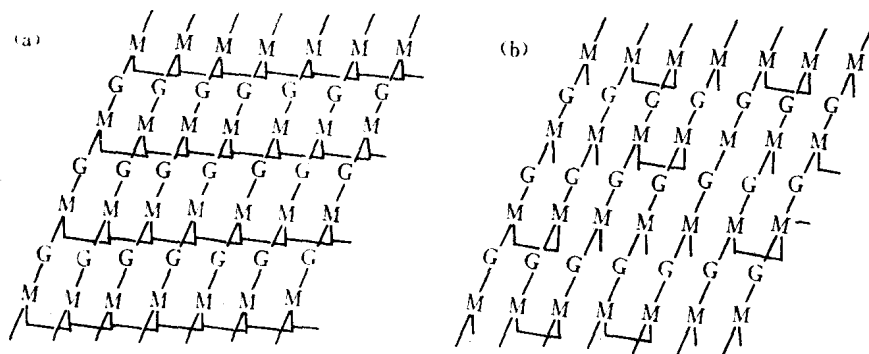


图 2-5 细菌的肽聚糖结构

(a) 革兰氏阳性细菌的肽聚糖单分子层

(b) 革兰氏阴性细菌的肽聚糖单分子层

G 和 M 分别代表 N-乙酰葡萄糖胺和 N-乙酰胞壁酸, 垂直线

代表肽链，平行线代表肽链之间进行交联的内肽桥。

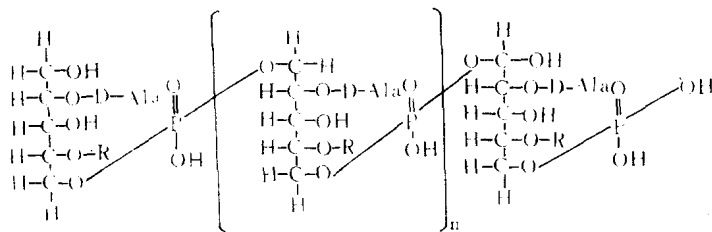


图 2-6a 核糖醇磷壁酸结构

R: 多糖 Ala: 丙氨酸

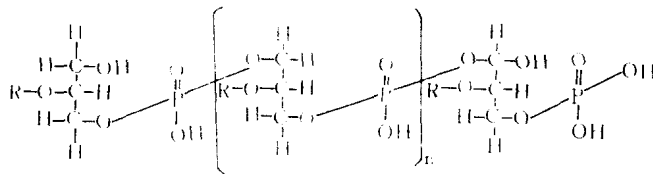


图 2-6b 甘油磷壁酸结构

R 表示丙氨酸或糖类 (葡萄糖、葡萄糖胺) 或氢

(二) 细胞膜

细胞膜又称细胞质膜，是位于细胞壁下面直接与原生质接触的细胞结构。是一个厚度大约 7.5 纳米的半透性膜，占细胞干重的 10%。主要由蛋白质和脂质组成，另外还有少量的