

# 绪 论

## 一、微生物与微生物学

微生物不是生物分类学中的名词，是一类体形微小、构造简单的单细胞、多细胞，甚至没有细胞结构的低等生物的统称。它包括许多微小生物类群，如原核生物的细菌、放线菌、螺旋体、立克次氏体、衣原体和支原体，还包括不具细胞结构的病毒和属于真核生物的真菌、少数藻类及原生动物。它们不仅形体微小，而且都是构造简单的、低等的生物，其生物学特性比较相近，对它们的研究方法和应用方面都有很多相似之处，所以将它们统归为微生物的范畴，但也有人将藻类和原生动物分别归属于植物和动物。

微生物虽然个体微小，结构简单，但它们与高等生物具有相同的基本生物学特性。如生长、繁殖、遗传、变异和新陈代谢等等。除此之外，它们还具有区别动物和植物的本身独特的如下特点：

1. 个体微小 测量微生物所采用的长度单位一般是微米或毫微米 ( $\mu\text{m}$  或  $\text{nm}$ )，必须应用光学显微镜和电子显微镜才能观察到细菌和病毒等。

2. 结构简单 多数微生物如细菌、放线菌等只是单细胞构造，而有的微生物如病毒和立克次氏体等还不具有细胞膜的构造，处于生物和非生物之间。真菌、藻类和原生动物是较复杂生物。

3. 分布广 微生物在自然界分布极广，可以说是无处不有，无时不有。我们日常接触到的环境中都有微生物存在，只是我们看不见、摸不到罢了。在空气、土壤和江河水中都有多量微生物存在，甚至人和动植物体上都有数量不等的微生物存在。这些微生物绝大多数对人类和动、植物是有益的，如酿酒、生产味精、制作面包以及生产酸乳制品等都离不开有益微生物的活动。然而在自然界中，除了一大群对人类有益微生物外，还有一部分能引起人、动物

和植物发生各种疫病的病原微生物、引起食品变质及引起食物中毒的有害微生物等。

4. 种类多、数量大 微生物除上述所说的各大类外，每类又可分为很多种属，并可下设各种生物型、血清型和基因型，如细菌有很多种属，大家熟悉大肠杆菌可分为数百个血清型。微生物的数量极大，大肠杆菌接种在肉汤中培养 18h 可达每毫升几十亿个菌，国家规定一等生牛奶标准是含菌数在 50 万 /ml 以下，二等生牛奶含菌数为 50 万 /ml 至 400 万 /ml 之间。

5. 繁殖快 绝大多数微生物的繁殖速度是很快的，如大肠杆菌在适宜的条件下 20min 可繁殖一代，如果一个大肠杆菌如能保持以这样速度繁殖下去，24h 后可达  $2^{72}$  个，约为 1 亿亿个细菌。

6. 易变异 微生物的变异率很高，它的适应性很强。人们常利用这一特点来培育和驯化出所需要菌种，为工农业生产服务。

微生物与人类和动植物有着密切关系，既有有益的一面，如人们可以利用其发酵造酒、制醋，生产食品和工业产品，也可以帮助人和动物消化、吸收营养等。又有有害的一面，如引起动植物病害。微生物在自然界物质循环转化中起到了不可缺少的作用。

微生物学是生物学的分支学科，是研究微生物的形态、生理、生态、分类、遗传变异及其与生物界、非生物界的相互作用，与人类生产和生活的利害关系等方面的科学。根据研究对象和目的不同，微生物学又可分许多分支学科，如根据研究对象和目的不同，可分为普通微生物学、微生物分类学、微生物生理学、微生物生态学和微生物遗传学，根据研究微生物种类的不同，有细菌学、真菌学和病毒学；在应用微生物学方面，形成更多的分支学科，如食品微生物学、农业微生物学、工业微生物学、医学微生物学、兽医微生物学、畜牧微生物学和土壤微生物学等。各分支学科的相互配合、相互促进，有力地推动了微生物学全面而深入地发展。

## 二、微生物学发展简史

人们在认识微生物以前，就已经利用了很长时间的微生物学知识，人们在长期的生产、生活实践中，已经对微生物的作用积累了不少知识，并且广泛地利用着微生物的作用。公元前 2400 年，埃及第五王朝的墓壁上就有描绘当时劳动人民如何烘制面包和酿酒的大浮雕。我国对微生物的利用和认识也有悠久的历史。据考古证实，我国曲蘖酿酒起源于七八千年前石器时代的早期，谷物酒已成为当时比较普遍的饮料。郭沫若在《中国史稿》中写道“距今 6000—7000 年前的仰韶文化时期，已有大量采食蘑菇”，人们已知有些微生物可直接作为食品。公元 5 世纪贾思勰著的《齐民要术》中已有做曲、做醋、做沮（利用乳酸发酵以保存蔬菜）的记载，在造酒栏目中有“黄衣”、“黄蒸”等曲种名。

在医学方面，我国古代劳动人民对防病治病有着极丰富的经验，周朝已知有人畜传染病，公元前 5 世纪襄公时已知驱逐疯狗以预防狂犬病。公元 4 世纪，葛洪的《肘后方》中，除详细记载天花症状外，并采用种痘方法以预防天花。以后传至欧洲和美洲，这是世界医学史上一个伟大的创举，也是我国劳动人民对世界医学宝库的重大贡献。远在公元前

6 世纪,我国名医扁鹊就主张防重于治,然而,由于古代科学技术不发达,始终未能证实和发现微生物的存在,也未能把它们分离出来。因此,从整体来说,对微生物的认识仍然进展缓慢,然而微生物作为一门科学,乃是 17 世纪末叶逐渐形成的,可以概括为三个阶段。

### (一) 形态学发展阶段

人类对微生物利用虽然历史很久,但发现微生物却是在 17 世纪下半叶。由于航海业的兴起,促进了光学仪器的研究和发展,荷兰科学家安东·吕文虎克 (Antony van Leeuwenhoek) 利用自制的可放大 200 倍显微镜首先观察了污水、牙垢等多种物质,并描述了微生物的形态、大小和排列,这为微生物学作为一门科学奠定了基础。从此之后,开始了微生物形态学描述阶段。这个时期持续了近 200 年,仅限于微生物的形态学方面,进展不大,直至 19 世纪中叶。

### (二) 生理学发展阶段

到了 19 世纪,由于工业革命所引起的生产力的迅速发展,迫切要求应用科学解决生产中出现的問題。如 19 世纪 60 年代,在欧洲一些国家中,酒类常发生变质、养蚕业发生蚕病危害。一位伟大的微生物学家,法国人路易·巴斯德 (Louis Pasteur) 经过长期对微生物的研究,不仅在理论上为微生物学做出了卓越的贡献,又为微生物的研究提供了实验方法,解决了生产中的许多微生物学问题,促进了微生物学的发展。1861 年,巴斯德以实验证明自然发生论是荒谬的,他应用了一个颈细长而且弯曲的玻璃瓶,内盛肉汤,经灭菌后久存不坏,内无微生物生长,因为空气虽能进入玻瓶,但其中所含有的微生物却不能随管上升进入瓶内,而是附着在颈的低弯处。若将液体与低弯处接触后就有微生物生长了,从而证明了微生物来自微生物的“种子”。他通过实验,证明了酒是由酵母菌发酵而制成,而酒的变质是由其他杂菌引起的,并研究了蚕病防治。在研究了乳酸发酵、醋酸发酵和丁酸发酵等过程后指出,不同的发酵,是由不同的微生物引起的,得出了没有微生物的存在便没有发酵的发生的结论。他还发明了巴氏灭菌法,用来解决当时的酒的变质,直到现在这种灭菌法还广泛地应用于酒、醋、酱油、牛奶和果汁等食品的灭菌。巴斯德的研究成就推动着微生物学不断发展,使微生物学进入了生理学发展阶段。除此之外,他还发现了传染病的病原体,研究了炭疽病、禽霍乱病、狂犬病等人和动物传染病的病原,研制出有名的炭疽菌苗和狂犬病疫苗,创立了免疫学基本原理及预防接种方法。

此后,许多国家的微生物学家也都对微生物学发展做出了杰出的贡献。如德国的医生柯赫 (Koch),建立了微生物的分离和纯化技术、培养基的制作及染色技术等。俄国微生物学家维诺格拉德斯基 (Виноградский) 于 1887 年发现了硝化细菌,揭示了微生物中新的营养类型,即自养微生物。为土壤微生物的研究积累了丰富的经验,做出了重大贡献。

在微生物学的生理学阶段,主要研究了微生物的分离培养、生长繁殖等生理活动及其与人类生活、生产之间的关系。这一阶段由 1870 年至 1920 年大约经过了近半个世纪。

### (三) 近代微生物学阶段

进入 20 世纪 20 年代以后,由于自然科学的迅速发展,促使微生物学在理论和技术上

有了很大进展，特别是物理化学、生物化学、生物物理学、分子生物学的理论和技术的发展，包括 40 年代电子显微镜的问世、示踪原子的应用，使微生物学在形态、生理、免疫和遗传等方面的研究取得了很大成就。如电子显微镜的应用，使人们观察到了病毒的形态结构，并对微生物细胞进行了细微结构的观察研究。生物化学和分析化学的进步，使对微生物的蛋白质、碳水化合物、脂类等的代谢及其生长繁殖规律有了进一步认识。由于对微生物抗原及其免疫机理的研究，使免疫学从微生物学中分离出来，成为一门独立学科。近几十年来，由于分子生物学、分子遗传学的建立，不仅对遗传物质基础 DNA 和 RNA 的结构和基因的实质有了明确的认识，而且能够分离出遗传基因，并进行基因的切割、重组、表达——即所谓的基因工程。现在科学家已能通过基因工程技术，利用微生物发酵生产胰岛素、生长激素、病毒干扰素等。通过基因工程技术，可以按照人们的意志改变现有生物的性状或创造新物种，培养有益于人类生产、生活的微生物新品种，改变有害微生物性状，使微生物学进入了一个崭新的阶段。

微生物学的发展过程，也是人们对微生物的认识日益加深的过程。随着微生物学发展的逐步深入，微生物学应用的范围也越来越广泛，它渗透到人类生活许多领域和工、农业生产等各个方面，微生物学在理论和应用方面都形成了许多分支，其中食品微生物学发展，为人类提供高质量、易贮藏和营养丰富的食品，以及开辟新的食品资源展示了广阔前景。

### 三、食品微生物学及其任务

食品微生物学是微生物学的一个分支学科，它是在普通微生物学与相关微生物学的基础理论与基本技术的基础上，研究与食品有关的微生物的特性、微生物与食品的相互作用关系及生态条件的科学。主要包括食品中微生物的生态分布、生物学特性，食品加工、贮藏过程中有益微生物的作用以及食品中有害微生物的污染与控制，为人类提供营养丰富、品种多样、安全卫生食品的相关微生物学问题。由于食品微生物学是研究和解决食品中有关的微生物问题，所以它就具有研究范围广、涉及学科多、应用性强及某些方面受一定法规约束（受中华人民共和国食品卫生法约束）等特点。

食品微生物学作为与人类生活关系极为密切的学科，它的任务是多方面的。其中主要包括研究食品中存在的微生物种类、分布及其特性，监测食品的微生物污染，提高食品的卫生质量，研究微生物与食品保藏间关系，预防微生物性食物中毒的发生，保证人们健康，研究微生物的有益作用，充分利用食品微生物资源，为提高和改善人类生活服务。

随着科学技术的发展，人们物质文化水平不断提高，食品微生物学作为与人们生活密切相关的应用科学，它的任务将更加繁重。它将在这个广阔的天地里，为人类的健康、幸福做出更大的贡献。

### 四、食品微生物学与其他学科的关系

食品微生物学是微生物学的一个分支学科。它的基础学科是生物学、有机化学、分析化学和生物化学。而它又是农畜（渔）产品加工与贮藏专业和食品科学、食品工程专

业的各门专业课程的基础。因此，食品微生物学是这些专业的主干学科和重要的专业基础课。

## 五、食品微生物学的发展与前景

建国初期，我国微生物学的基础较薄弱，从事食品微生物学教学和研究人员寥寥无几，随着我国高等教育和科研事业迅速发展，食品微生物学也随着发展起来。食品微生物学的发展与进步都与其他相关学科的发展密切相关。我国劳动人民虽然在数千年前就已利用微生物来为人类服务，但由于受社会发展的影响，科学技术发展较慢。近几十年来，由于科学技术的发展和人民生活水平的提高，使古老的酿造业得到了发展，而且开辟了一些新的领域，并取得可喜的成绩。如味精的生产，以前是采用化学方法，以粮食中的蛋白质为原料，从 20 世纪 60 年代起，我国就逐渐采用微生物发酵法生产味精，既提高了生产效率、降低了成本，又节约了粮食；柠檬酸是食品添加剂中常用的酸味剂，过去依赖进口，目前我国已成功地用薯干和废糖蜜为原料，用微生物发酵法生产柠檬酸，不仅结束了依赖进口的被动局面，而且已有柠檬酸出口；白酒的生产在我国有悠久的历史，产量不断增加，质量也不断提高，新的白酒品种也不断出现。在开辟新的原料，试制新产品，选育优良菌种，推广新工艺、新设备，实现机械化、连续化、自动化生产和大搞综合利用等方面都取得了较大的成绩，应用微生物酶制剂的生产是一个新兴的领域，如  $\alpha$ -淀粉酶、糖化酶、蛋白酶等已经投产；单细胞蛋白质的生产是应用微生物的又一个侧面，我们已成功地制造了饲料酵母、石油蛋白，并已应用到畜、禽、水产动物的饲料日粮配合之中，成为重要的蛋白质饲料来源。由于人民生活水平的提高，对食品的种类、数量和质量都提出了更高的要求。与微生物有关的食物也纷纷上市，食用菌品种繁多，在栽培和选育高产品种方面都有迅速的发展；酸乳制品逐渐形成系列产品，各种饮料也相继出现，既活跃了食品市场，丰富了人民物质生活，也改善了人民食品构成。

我国从 20 世纪 50 年代开始，即对沙门氏菌、葡萄球菌、链球菌、变形杆菌等食物中毒菌进行调查研究，并建立了各种食物中毒的细菌学分离鉴定方法。近年来，在霉菌毒素方面，如对黄曲霉毒素等的污染和预防构成了比较系统深入地研究。在广泛的调查研究基础上，根据我国食品生产的具体情况，国家制定了一系列食品卫生标准，出版了《食品卫生检验方法微生物学部分》，颁布了《食品卫生法》，统一了全国食品卫生微生物学检验方法，这对促进我国食品卫生检验工作的发展起到了重要作用。现在科技人员正在制订国际上通行的食品卫生标准，加强进出口食品的检验，尽快与国际接轨。

随着社会的发展，人们对食品的要求也愈来愈高，渴望有更多更好的优质安全的畜禽肉类、水产品、蛋类、乳类、粮食、水果、蔬菜及其加工制品，在饮食构成上，也发生了较大变化，尤其是动物性食品比例在不断增加。因此，必然推动食品工业，尤其是动物性食品工业不断发展。近年来，各种类型的食品加工厂不断建立，还建立了各种食品研究机构和卫生检测机构，开展食品卫生和微生物学的检验工作，保障人们的安全和健康。食品微生物学肩负着提高食品数量与质量，保证食品卫生品质，使人类获得更佳的营养丰富、色香味美的保健食品的光荣任务，它将在食品工业发展中发挥重要作用，具有广阔的发展前景。



## 复习思考题

1. 什么是微生物，它包括哪些种类？
2. 微生物有什么特点？
3. 什么是微生物学和食品微生物学？
4. 简述微生物学发展史。
5. 为什么要学习微生物学？

# 第一篇

## 微生物学基本知识



# 第 1 章 微生物的形态结构

现代生物学观点认为，生物界分为细胞生物和非细胞生物两大类群。非细胞生物包括病毒和噬菌体，细胞生物是指一切具有细胞形态的生物，分为原核生物和真核生物。有的生物的细胞结构比较原始，没有核膜和核仁，称为原核细胞。具有原核细胞的生物称为原核生物。原核生物包括细菌、放线菌、蓝细菌、立克次氏体、螺旋体、支原体和衣原体。这里重点介绍与食品生产、污染、食物中毒关系密切的细菌。而有的生物的细胞结构比较完善，具有核膜和核仁，称为真核细胞。具有真核细胞的生物称为真核生物。真核生物包括各种动植物，低等动植物又可分为藻类、真菌类和原生动植物等，这里主要介绍与食品生产和食物中毒有关的真菌类。

## 第一节 细菌

### 一、细菌的形态结构

细菌是单细胞原核生物，每一个细胞就是一个生活的个体。许多细菌的个体往往聚集成为群体，但群体中的每一个个体仍然独立地进行生命活动。

细菌的形态是多种多样的，尤其当生活的环境条件改变时，常引起细菌形态的改变，但在一定的条件下，其形态基本上是固定的。细菌的形态结构包括个体形态、菌体结构及群体（菌落）形态三部分。

#### （一）细菌的个体形态

1. 细菌个体的形态 细菌个体形态是指菌体的形状和大小。细菌个体的基本外形呈球状、杆状和螺旋状。分别称为球菌、杆菌和螺旋菌。

(1) 球菌。菌体呈圆球形或椭圆形的细菌称球菌。按其分裂方式和分裂后排列形式的不同，又可分为：

单球菌：菌体分裂后立即散开，互不相连，如尿微球菌（*Micrococcus ureae*）。

双球菌：菌体分裂后两个两个成双排列，如肺炎链球菌（*Diplococcus pneumoniae*）。

四联球菌：菌体第一次分裂后成双球菌，第二次分裂与第一次分裂的方向相垂直，分裂后四个细胞排列在一起呈田字形，如四联球菌（*Micrococcus tetragenus*）。

八叠球菌：菌体的三次分裂面都互相垂直，八个菌体叠在一起呈立方形，如尿素八叠球菌（*Sarcina ureae*）。

链球菌：菌体分裂面方向一致，分裂后许多菌体连接成链状，如乳酸链球菌（*Streptococcus lactis*）。

⑥葡萄球菌：菌体分裂面不规则，分裂后几个或几十个连在一起，没有一定的形状或次序，形似一串葡萄，如金黄色葡萄球菌（*Staphylococcus aureus*）（图 1-1）。

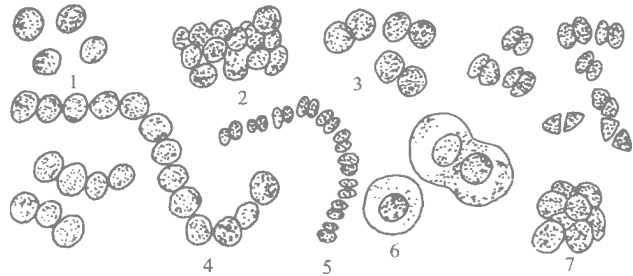


图 1-1 球菌的形态及排列方式

1. 微球菌 2. 葡萄球菌 3. 双球菌 4. 链球菌  
5. 含有双球菌的链球菌 6. 具有荚膜的球菌 7. 八叠球菌

(2) 杆菌。菌体呈杆状的细菌称杆菌。一般杆菌的长度区别显著。有的杆菌菌体很长叫长杆菌；有的杆菌菌体较短叫短杆菌；

还有的杆菌长宽差不多，很容易与球菌混淆叫球杆菌。杆菌菌体的两端依菌种不同呈现各种形状，有的钝圆、有的平截、有的半圆形、有的略尖。有些杆菌一端膨大，另一端细小，形如棒状称棒状杆菌，形如梭状称梭状杆菌。杆菌永远沿横轴方向分裂，绝大多数杆菌是分散独立存在的，但也有成对相连称



图 1-2 各种杆菌的形态

双杆菌，呈链状排列的称链杆菌（图 1-2）。工农业生产中用到的细菌大多数是杆菌，如用来生产淀粉酶和蛋白酶的枯草杆菌（*Bacillus subtilis*），生产谷氨酸的北京棒杆菌（*Corynebacterium pekinense*）等。杆菌的排列方式、粗细以及菌体两端的形状等都受细菌遗传性的制约。这些都是认识和鉴别各种杆菌的重要特

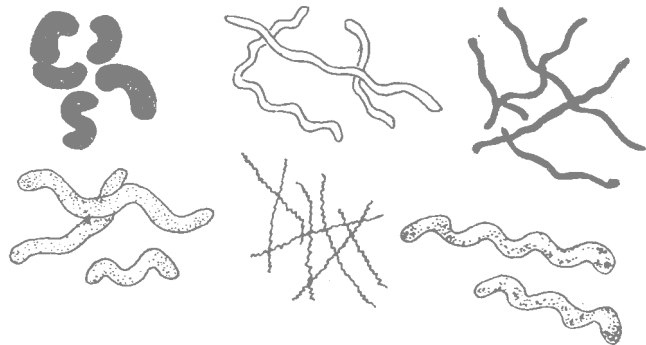


图 1-3 螺旋菌和弧菌的形态

征。

(3) 螺旋菌。菌体弯曲的细菌称为螺旋菌。依菌体弯曲程度的不同可分为：

① 弧菌：菌体略弯，形如逗号或香蕉状，如霍乱弧菌 (*Vibrio cholerae*)。

螺旋菌：菌体回转如螺旋，如鼠疫热螺旋菌 (*Spirillum minus*) (图 1-3)。

细菌的形态与环境条件有关，例如培养时的温度、培养基的成分与浓度、培养时间等条件有关。各种细菌在幼龄阶段和适宜的环境条件下表现出正常形态。当培养条件改变或菌体老化时，常引起形态的变化，尤其是杆菌。如巴氏醋酸杆菌 (*Acetobacter pasteurianus*) 在正常情况下为短杆菌，当培养温度改变时就会成为纺锤形、丝状或链锁状 (图 1-4)。

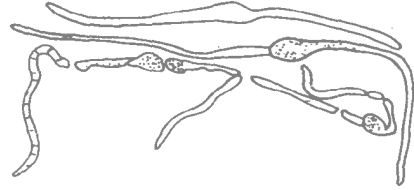


图 1-4 巴氏醋酸杆菌的异常形态

乳酪芽孢杆菌 (*Bacillus casei*) 正常情况下呈长杆菌，老熟时则变成无繁殖力的分枝形态 (图 1-5)。这些都称为异常形态，若将它们再转移到新鲜培养基上，并在适宜的条件下培养，它们能重新恢复其原来的形状。



图 1-5 乳酪杆菌的异常形态

2. 细菌个体的大小 细菌个体很小，必须借助光学显微镜才能观察到，通常用显微测微尺测量菌体的大小。细菌的长度单位常以微米 ( $\mu\text{m}$ ) 表示。用电子显微镜测量更小的微生物时，则用纳米 ( $\text{nm}$ ) 表示，它们之间的关系是： $1\text{mm} = 10^3\mu\text{m} = 10^6\text{nm} = 10^7\text{\AA}$ 。

球菌的大小以其直径表示。杆菌的大小以宽度  $\times$  长度来表示。螺旋菌的长度是以其自然弯曲的长度来计算，而不是以真正的长度计算的。

虽然细菌的大小差别很大，但一般都不超过几个微米，大多数球菌的直径为  $0.20 \sim 1.25\mu\text{m}$ 。杆菌一般为  $0.20 \sim 1.25\mu\text{m} \times 0.30 \sim 8.00\mu\text{m}$ 。螺旋菌为  $0.30 \sim 1.00\mu\text{m} \times 1.00 \sim 5.00\mu\text{m}$ 。一般来说，产芽孢的细菌比不产芽孢的细菌大。

## (二) 细菌的细胞结构

细菌细胞的结构可分为基本结构和特殊结构 (图 1-6)。

1. 细菌细胞的基本结构 包括细胞壁、细胞膜、细胞质和细胞核。

(1) 细胞壁。细胞壁是菌体的外壁，坚韧而略有弹性，其重量约占细胞干重的  $10\% \sim 20\%$ 。各种细菌的细胞壁厚薄不等，一般在  $10 \sim 80\text{nm}$  之间。

细胞壁的功能：细胞壁起着固定菌体外形和保护菌体的作用。细菌失去细胞壁时，各种形态的菌体都将变成球形。细菌能在一定浓度的低渗溶液中生存菌体不致破裂，而无细胞壁的原生质体只能在等渗压的环境中生活，这都与细菌细胞壁具有韧性

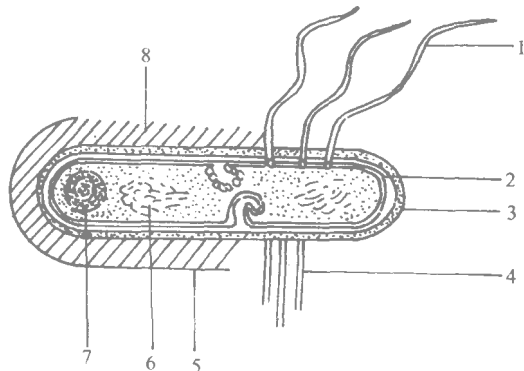


图 1-6 细菌的构造模式图

1. 鞭毛 2. 细胞膜 3. 细胞壁 4. 纤毛  
5. 荚膜 6. 核 7. 异染粒 8. 黏液层

和弹性有关。

细胞壁与革兰氏染色的关系：革兰氏染色法（gram staining）是用来区别不同细菌种类的经验染色法。即在细菌的干涂片上一般先用草酸铵——结晶紫染色，然后用碘液媒染，使细菌着色，接着用乙醇脱色，最后用番红复染，结果有些细菌保持初染色——紫色（称为革兰氏阳性细菌，用  $G^+$  表示）；有些细菌在乙醇的作用下脱去了初染色，而被染上复染色——红色（称为革兰氏阴性细菌，用  $G^-$  表示）。

从表 1-1 和图 1-7 可看出， $G^+$  细菌和  $G^-$  细菌的细胞壁不仅存在成分上的差别，在细胞结构上也有差别。 $G^+$  细菌细胞壁只有一层，约 20~80nm 厚，含磷壁酸。 $G^-$  细菌细胞壁不含磷壁酸，有两层。里面一层称为硬壁层，厚约 2~3nm；外面一层称为外壁层，厚约 8~10nm。

表 1-1  $G^+$  细菌和  $G^-$  细菌的特征

特 征	革兰氏阳性细菌	革兰氏阴性细菌	
		硬壁层	外壁层
厚度 (nm)	20~80	2~3	8~10
肽聚糖含量	占细胞壁干重的 40%~90%	5%~10%	无
磷壁酸	有(或无)	无	无
脂多糖	1%~4%	无	11%~22%
脂蛋白	无	有或无	有
对青霉素的敏感性	强	弱	

(2) 细胞膜。又称细胞质膜，简称质膜，是在细胞壁内包被细胞质的一层薄膜。细胞膜以大量折皱陷入细胞质内，陷入细胞内的质膜物质称为中间体。细胞膜具有选择性的半渗透性膜，其主要成分是磷脂、蛋白质和糖类。细胞膜的作用是控制细胞新陈代谢物质的吸收与排除；调节细胞内外渗透压的平衡；是细胞能量代谢和多种合成代谢的场所。

(3) 细胞质。细胞膜内除核质以外的一切物质统称为细胞质。细胞质的主要成分是蛋白质、核糖、核酸、脂类、糖类、无机盐和水等。细胞质内含有各种酶系统，能进行物质的合成与分解。细菌细胞质与其他生物细胞质的主要区别是其核糖核酸含量高，尤其是幼龄细菌含量更高。由于核糖核酸具有较强的嗜碱性，因此，幼龄细菌易被碱性或中性染料所着色。但在老龄菌体内由于形成许多颗粒而染色不均。此外，细胞质中还含有核糖体、质粒、异染颗粒、肝糖粒和淀粉粒等各种内含物。

(4) 细胞核。细菌是原核生物，其细胞核无核膜和核仁，只有一条染色体。原核没有固定的形态，但与细胞质区分明显。细菌的细胞核主要成分是 DNA（脱氧核糖核酸）和少量的 RNA（核糖核酸）及蛋白质，但没有真核生物所含有的组蛋白。DNA 是传递遗传信息的物质基础。

2. 细菌细胞的特殊结构 鞭毛、芽孢、荚膜和柔毛等是细菌特有的结构。

(1) 鞭毛。有些细菌的表面有从体内伸出细长而呈波浪状的丝状物称为鞭毛。鞭毛是

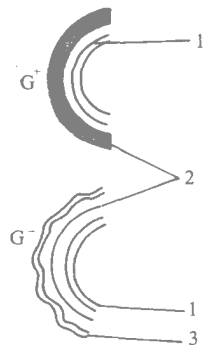


图 1-7  $G^+$  细菌和  $G^-$  细菌的细胞壁结构

1. 膜
2. 肽聚糖
3. 脂多糖和蛋白质

细菌的运动“器官”。鞭毛的长度超过菌体很多倍，但直径非常细，只有用特殊染色法使鞭毛加粗，才可在光学显微镜下观察到。

鞭毛着生的位置和数目，由细菌的遗传特性所决定，是菌种鉴定的重要依据，可分为以下几种类型（图 1-8）：

偏端单毛菌：菌体的一端着生一根鞭毛，如霍乱弧菌。

两端单毛菌：菌体的两端各着生一根鞭毛，如鼠咬热螺旋体（*Spirochetes morsumuris*）。

偏端丛毛菌：菌体的一端着生一丛鞭毛，如铜绿假单胞杆菌（*Pseudomonas aeruginosa*）。

两端丛毛菌：菌体的两端各着生一丛鞭毛，如红螺菌（*Spirillum rubrum*）。

周毛菌：菌体周生鞭毛，称为周毛菌，如大肠杆菌。

细菌可借助鞭毛在水中或其他液体中运动，其运动的方式和速度与鞭毛着生的位置和数目有关。单毛菌和丛毛菌作直线运动，速度快，有时可摆动；周毛菌作翻转运动，速度慢。在不良环境中或生长后期，菌体常易失去鞭毛而停止运动。因此，观察细菌鞭毛时，需用幼龄菌体（培养 18~24h）才可靠。鞭毛还具有抗原作用，可进行血清学鉴定。

（2）芽孢。有些细菌当生长到一定阶段，细胞质脱水在体内形成一个休眠体称为芽孢。芽孢的有无、大小、形状和位置（图 1-9），是细菌种类鉴别的重要依据。芽孢折光性强，必须用特殊染色法才能在显微镜下观察到。细菌能否形成芽孢，是由该菌的遗传特性所决定。一般来说是细菌为抵抗不良环境而产生的，但也有例外，如为提高苏云金杆菌的芽孢产量，需要用营养丰富的培养基和适宜的环境条件。

芽孢在形成过程中，菌体发生了一系列复杂的变化，如含水量迅速下降，折光率增强，并逐渐形成厚而致密的芽孢壁。因此，芽孢对高温、化学药品、干燥和光线等具有很强的抵抗能力。很多芽孢菌在自然界可存活十几年到几十年不死。

芽孢尤其耐高温，如产生肉毒毒素的肉毒梭菌（*Clostridium botulinum*）的芽孢，在 pH7.0 时，需在 100 的高温下煮 8h 才死亡。自然界抗热性最强的嗜热脂肪芽孢杆菌（*Bacillus stearot hermophilus*）产生的芽孢，需在 121 下灭菌 12min 才能杀死。经研究证明，芽孢耐高温的重要原因是，在形成过程中，可同时产生 2, 6-吡啶二羧酸（dipicolinic acid），简称 DPA，在细菌的营养细胞和其他生物细胞中均未发现有 DPA。DPA 在芽孢内以钙盐形式存在，占芽孢干重的 15%。当芽孢萌发时 DPA 释放出来，同时也就失去了抗热性。

芽孢在适宜的条件下，开始吸收水分和养分，体积变大，折光率降低，染色性增强，酶活性和呼吸力提高，并释放 DPA，对各种因素的抵抗力迅速下降，芽孢壁破裂，通过

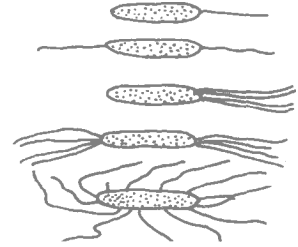


图 1-8 细菌的各种鞭毛类型

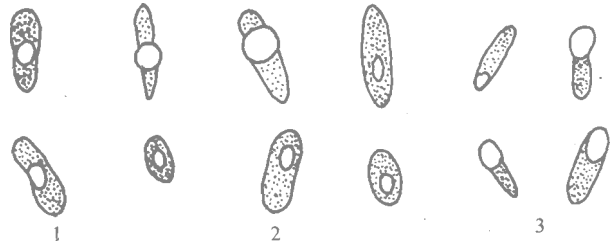


图 1-9 细菌芽孢的位置和大小示意图

1. 中央位 2. 近端位 3. 极端位

中部、顶部或斜上方以萌发的方式产生一个新的菌体，此为营养体。菌体恢复正常代谢（图 1-10）。芽孢是休眠体而不是繁殖体，一个细菌只能形成一个芽孢，而一个芽孢也只能产生一个营养体。

(3) 荚膜和黏液。有些细菌在一定的条件下，可向细胞表面分泌一层松散、透明的黏液状物质称为荚膜。通常是一菌一膜，但也有多菌共膜的（图 1-11），多菌共膜者称为菌胶团。荚膜含有 90% 以上的水分，此外还含有多糖或多肽。荚膜的主要作用为：

加强细菌的致病力。具有荚膜的细菌在动物体内，不易被白细胞吞噬。

②荚膜是细菌养料贮藏库，当营养缺乏时可被利用。

具有抵抗干燥的作用。

对于产荚膜的细菌来说，通常产荚膜时所形成的菌落是光滑透明的，称光滑型（S-型）菌落，不产生荚膜的细菌所形成的菌落表面粗糙，称粗糙型（R-型）菌落。产荚膜的细菌可加速食品的污染、腐败，并造成生产上的障碍。如肠膜状明串珠菌（*Leuconostoc mesenteroides*）就是制糖工业上的有害菌。

(4) 纤毛。又称柔毛、伞毛和菌毛，纤毛是有些杆菌在菌外还生有比鞭毛细、短、直而硬，且数目多的毛发状细丝。其直径约为 5~10nm，长约为 0.2~0.5 $\mu\text{m}$ ，少数达 4 $\mu\text{m}$ ，纤毛为空心蛋白管。它可分普通纤毛和性纤毛，前者更细、短并数量多，达 50~400 条，能使细菌相互粘着或附着在物体上。后者较粗、长，每个细菌不超过 4 条，是细菌的交配器官，传递遗传物质。

### (三) 细菌的菌落特征

细菌的个体是肉眼看不见的。但是，当一个菌体或几个菌体接种到固体培养基上时，聚集在一处不断地进行分裂繁殖，从而形成肉眼可见的群体，即为菌落。

不同细菌菌落的大小、形态、结构、质地和色泽等（图 1-12）特征各不相同，既受菌种遗传性的制约，同时也受环境条件的影响。同一种细菌常因培养基成分、培养时间和温度的不同，菌落特征也有变化。但同一种细菌在同一条件下培养，所形成的菌落特征具有一定的—致性，这是掌握菌种纯度、菌种鉴定的重要依据。

此外，细菌的群体生长状态，还可通过观察菌苔特征和液体培养状态等进行（图 1-13）菌苔就是在试管斜面上划直线接种培养物。不同的菌种其菌苔形状也不同，有的

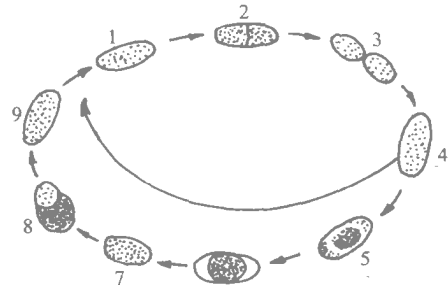


图 1-10 芽孢杆菌生活史

1~4. 营养细胞繁殖数代 5~9. 芽孢的形成和萌发

1. 成熟的营养细胞 2. 细胞分裂 3. 两个子细胞

4. 子细胞生长 5. 成熟细胞内形成芽孢 6. 成熟的芽孢

7. 芽孢从营养细胞内放出 8. 芽孢萌发

9. 幼小的营养细胞

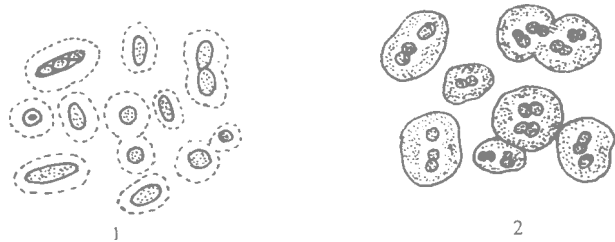


图 1-11 细菌的荚膜与菌胶团

1. 细菌的荚膜 2. 细菌的菌胶团

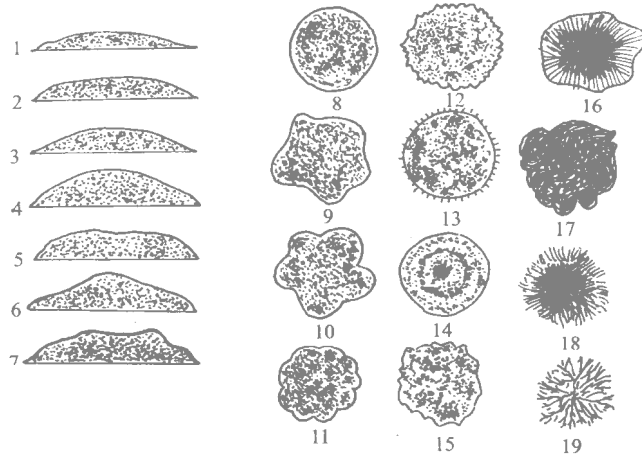


图 1-12 细菌的菌落特征

- 正面观：1. 扁平 2. 隆起 3. 低凸起 4. 高凸起 5. 脐状 6. 乳头状 7. 草帽状  
 表面结构、形状及边缘：8. 圆形，边缘完整 9. 不规则，边缘波浪  
 10. 不规则，颗粒状，边缘叶状 11. 规则放射状，边缘呈叶状 12. 规则，边缘呈扇状  
 13. 规则，边缘呈齿状 14. 规则，有同心圆环，边缘整齐 15. 不规则，似毛毡状  
 16. 规则，似菌丝状 17. 不规则，卷发状 18. 不规则，呈丝状 19. 不规则，根状

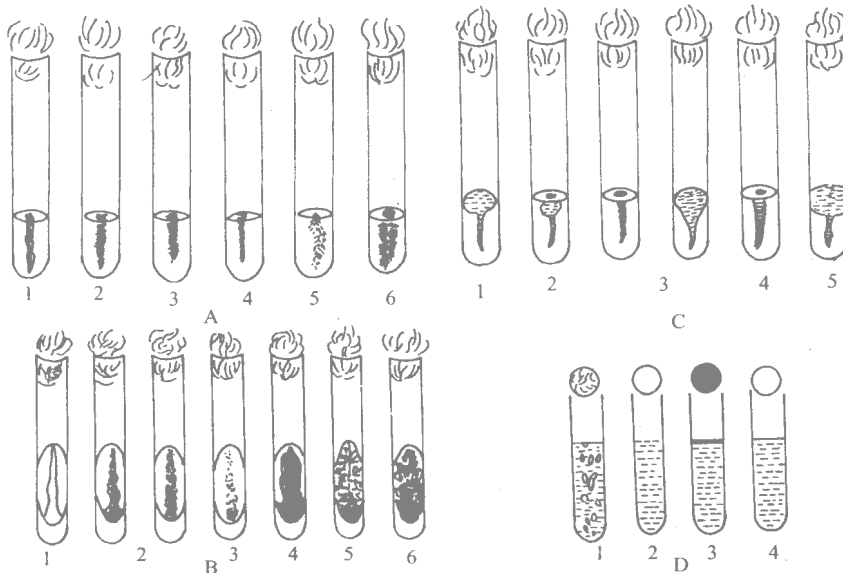


图 1-13 琼脂穿刺、琼脂斜面、明胶穿刺以及肉汤（液体培养）中的培养特征

- A. 在琼脂穿刺培养基中的生长：1. 丝状 2. 有小刺 3. 念珠状 4. 绒毛状 5. 假根状 6. 树状  
 B. 在琼脂斜面培养基中的生长：1. 丝状 2. 有小刺 3. 念珠状 4. 扩展状 5. 假根状 6. 树状  
 C. 在明胶穿刺培养基中的生长：1. 量杯状 2. 茺菁状 3. 漏斗状 4. 囊状 5. 层状  
 D. 在肉汤中生长：1. 絮状 2. 环状 3. 浮膜状 4. 膜状

扩展面宽，有的扩展面窄，有的呈树枝状或其他形状。在液体培养基中要注意观察表面生

长（膜或环等）、混浊程度、沉淀的形成、有无气泡和培养基有无颜色等。

## 二、细菌的繁殖

细菌一般以无性繁殖为主，菌体一分为二，故在细菌分类上属于裂殖菌。分裂过程首先从 DNA 的复制开始，先是双螺旋链分开，每一条单螺旋链按照对称方式复制成新的双螺旋链（图 1-14）。新形成的两条双螺旋链分开，形成两个核区，在两个核区之间，产生双层细胞膜，在两层膜之间产生细胞壁，母体便分裂为两个子细胞。两个子细胞大小相同，称为同形分裂；子细胞大小不同，称为异形分裂。异形分裂常出现在陈旧的培养基中。但也有例外。由于细菌分裂面的方向不同，分裂后的子细胞有的相互分离，有的相互连接，从而形成各种形式的排列（图 1-15）。

除无性繁殖外，经电子显微镜观察及遗传学研究证明，细菌也存在有性结合，但其有性结合频率极低。

## 三、食品中常见的细菌类群

细菌种类繁多，此处仅简单介绍几种与食品生

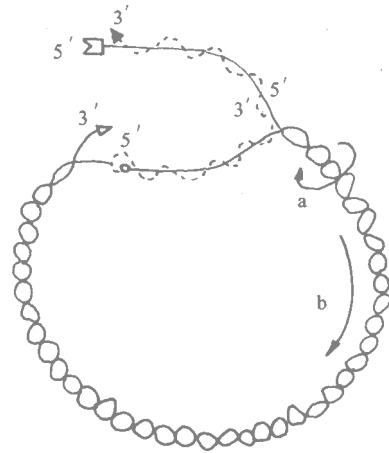


图 1-14 双螺旋 DNA 链的复制  
（双链的一条断裂，一条不断，随分叉随复制。虚线表示新复制的对应的 DNA 链）  
a. 伸开 b. 分叉方向

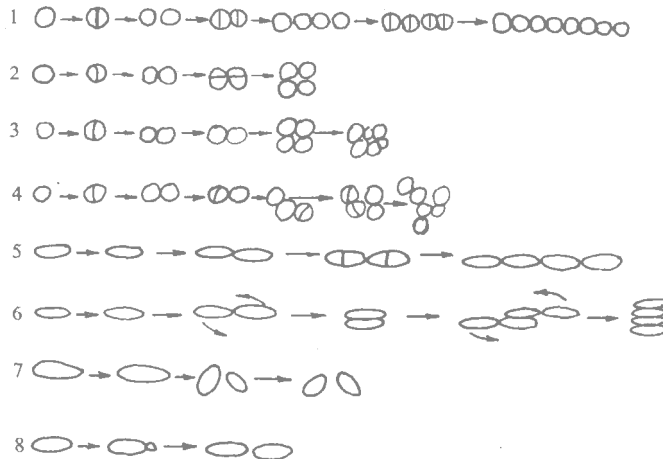


图 1-15 细菌的分裂和排列（示意图）

1. 在一个平面分裂的球菌，形成双球菌或链球菌
2. 在两个平面分裂的球菌，形成四联球菌
3. 在三个平面分裂的球菌，形成八叠球菌
4. 分裂面不规则的球菌，形成葡萄状堆团
5. 二分分裂杆菌，形成链状杆菌
6. 二分分裂杆菌，形成栅状排列
7. 折断分裂的棒状杆菌，形成“八”字排列
8. 出芽繁殖的杆菌

产、发酵和败坏有关的细菌类群。

#### (一) 假单孢杆菌属 (*Pseudomonas*)

为革兰氏阴性杆菌，无芽孢，需氧，端生鞭毛，许多菌种能产生水溶性色素。该属菌在自然界分布极为广泛，常见于土壤、水及各种动植物体中。

本属中某些菌种具有强烈的分解脂肪和蛋白质能力，所以在含蛋白质的食品中经常发现。它们污染食品后，可在食品表面迅速生长，产生色素和黏液，使之产生异味并变质。本属菌中有很多菌可在低温下很好地生长，因此，常引起冷藏食品的腐败变质。如荧光假单孢菌 (*P. fluorescens*)，能在低温下生长，使肉、牛乳及乳制品腐败；生黑色腐败假单孢菌 (*P. nigrfaciens*)，能在动物性食品上产生黑色素引起腐败变质；菠萝软腐假单孢菌 (*P. ananas*)，可使菠萝果实腐烂，被害组织变黑并枯萎。

#### (二) 无色杆菌属 (*Achromobacter*)

为革兰氏阴性杆菌，无芽孢，有鞭毛能运动，分布于水和土壤中。多数能分解葡萄糖和其他糖类，产酸不产气；能使禽、肉及海产品等发黏变质。

#### (三) 产碱杆菌属 (*Alcaligenes*)

为革兰氏阴性无芽孢杆菌，广泛分布于水、土壤、饲料和人畜肠道内。不能分解糖类产酸，能产生灰黄色、棕黄色或黄色色素。能引起多种动物性食品及乳品的发黏变质，能在培养基上产碱。

#### (四) 黄杆菌属 (*Flavobacterium*)

为革兰氏阴性无芽孢杆菌，端生鞭毛，能运动，好氧或兼性厌氧，中温或嗜冷，并能产生黄、橙、红等脂溶性色素等。该属菌大多来源于水及土壤。有很强的分解蛋白质能力，常引起乳、蛋、禽和鱼等多种食品的变色腐败。

#### (五) 埃希氏杆菌属 (*Escherichia*) 和肠杆菌属 (*Enterobacter*)

为一群革兰氏阴性无芽孢杆菌，周生鞭毛，运动或不运动，好氧或兼性厌氧，能发酵葡萄糖和乳糖，产酸产气，是食品中重要腐败菌。这两个属均归于肠杆菌科的大肠杆菌群，是食品卫生学检查的一个重要指标菌，可反映食品被粪便污染的情况。因为这些菌广泛存在于人及牲畜的肠道内，在水和土壤中存在也十分广泛。

#### (六) 沙门氏菌属 (*Salmonella*) 和志贺氏菌属 (*Shigella*)

沙门氏菌属和志贺氏菌属均属肠杆菌科，为革兰氏阴性无芽孢杆菌。是人类重要的肠道致病菌，误食被此菌污染的食品，可引起肠道传染病或食物中毒，如伤寒、副伤寒和痢疾等。

#### (七) 变形杆菌属 (*Proteus*)

为革兰氏阴性无芽孢杆菌，幼龄时常常变成缕状或弯曲状，周生鞭毛，运动性强，具有较强分解蛋白质的作用。该属菌广泛分布于水、土壤、动物和人类的粪便中，是食品腐败菌，并能引起食物中毒。

#### (八) 乳杆菌属 (*Lactobacillus*)

为革兰氏阳性无芽孢杆菌，菌体常呈链状排列，一般不运动，厌氧或兼性厌氧。能发酵糖类产生乳酸，广泛分布于牛乳和植物产品中，常用来作乳酸、干酪和酸乳等乳制品的发酵剂。如双歧乳杆菌 (*L. bifidus*)、干酪乳杆菌 (*L. casei*)、保加利亚乳杆菌 (*L. bulagricus*)、嗜酸乳杆菌 (*L. acidophilum*) 等。