



Chapter 3

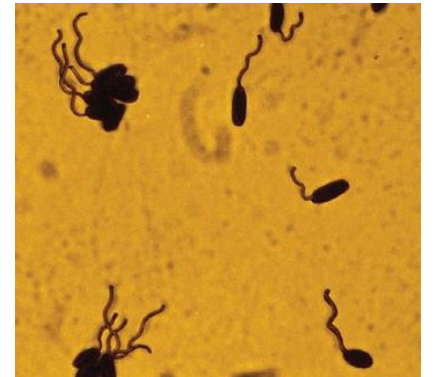
microbial cell structure and function

Prokaryotic microorganism

The era in which workers tended to look at bacteria as very small bags of enzymes has long passed.

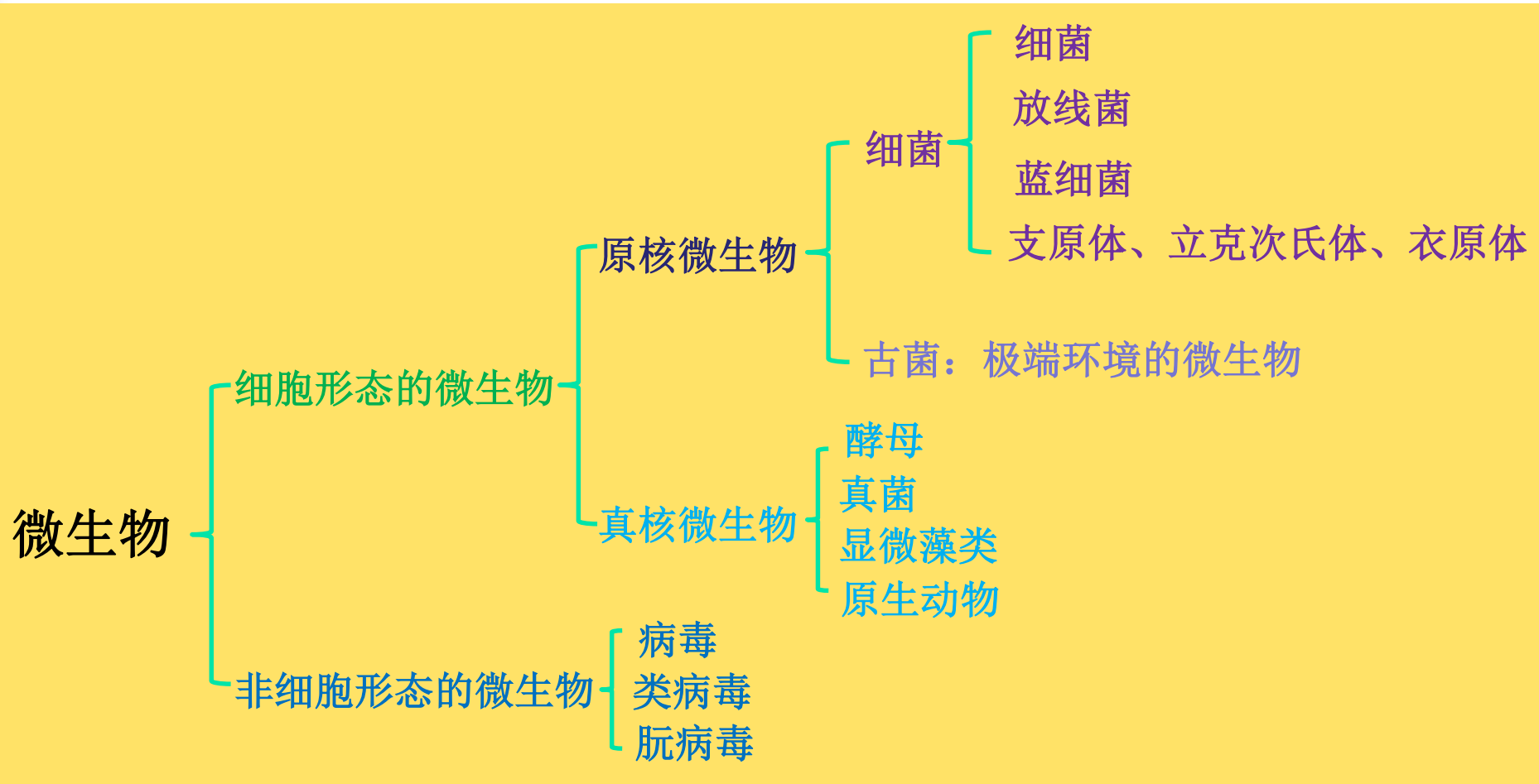
—Howard J.

Rogers





微生物世界





内容安排:

◆ 内容：由外到内依次介绍微生物细胞的各种结构及其功能

◆ 逻辑次序：先原核后真核，先结构后功能。

病毒部分暂且按下不表，后面安排专门一章介绍。

原核微生物（prokaryotic cell）：

- ◆ 细菌（bacteria）
- ◆ 古生菌（archaea）
- ◆ 寄生性细菌（parasite bacteria）

真核微生物（eucaryotic cell）

- ◆ 酵母（yeast）
- ◆ 真菌（fungi）
- ◆ 藻类（alga）
- ◆ 原生动物（protisit）



1. 原核微生物的结构和功能

原核微生物（**prokaryotic cell**）：

指起源最早、结构简单、细胞分化程度低的微生物。

其突出的结构特征是无细胞核，缺乏膜结构的细胞器，含有70s核糖体。

- ◆ 多数以单细胞的形式存在，也有多细胞的形式，如放线菌；
- ◆ 原核微生物也有分化发育现象，但细胞之间的分化程度较低：单细胞微生物如枯草芽孢杆菌的芽孢的形成；多细胞微生物如放线菌的营养菌丝和气生菌丝、孢子丝；
- ◆ 包括细菌和古生菌。

细菌（bacteria）：

也叫真细菌，一般指存在于普通生境的微生物。如常见的致病菌和肠道微生物、工业发酵细菌及淡水、土壤环境的微生物。

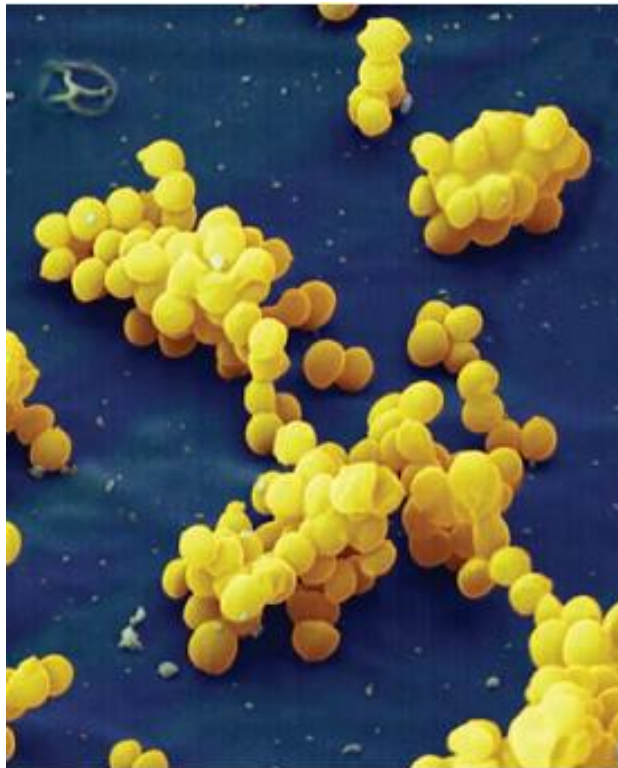
古生菌（archaea）：

指形态结构和细菌类似的原核微生物，但在细胞的功能上类似真核微生物。一般分布在极端环境，如酸、碱环境，高盐、高热等环境。

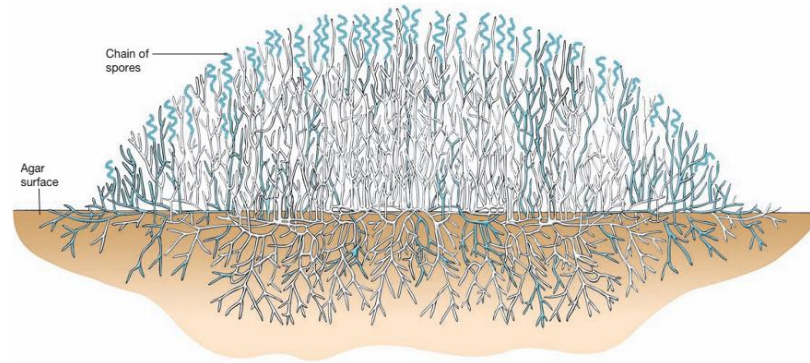


1.1 细菌的形态、排列和大小

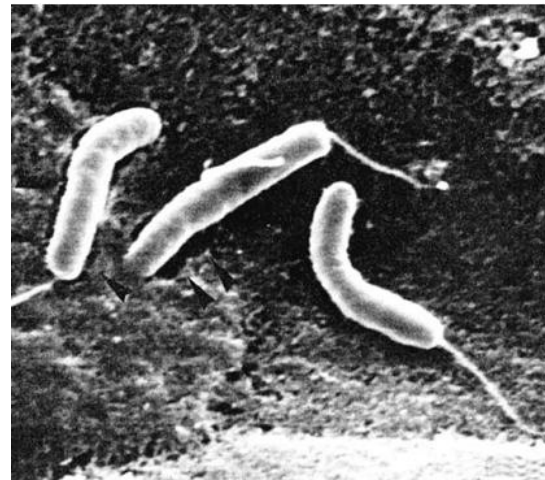
1.1 形态、排列



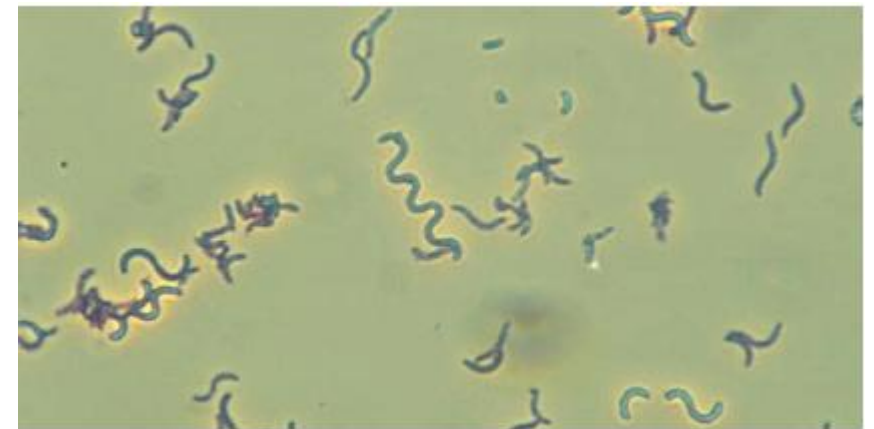
(a) *S. aureus*



(c) *B. megaterium*



(e) *V. cholerae*



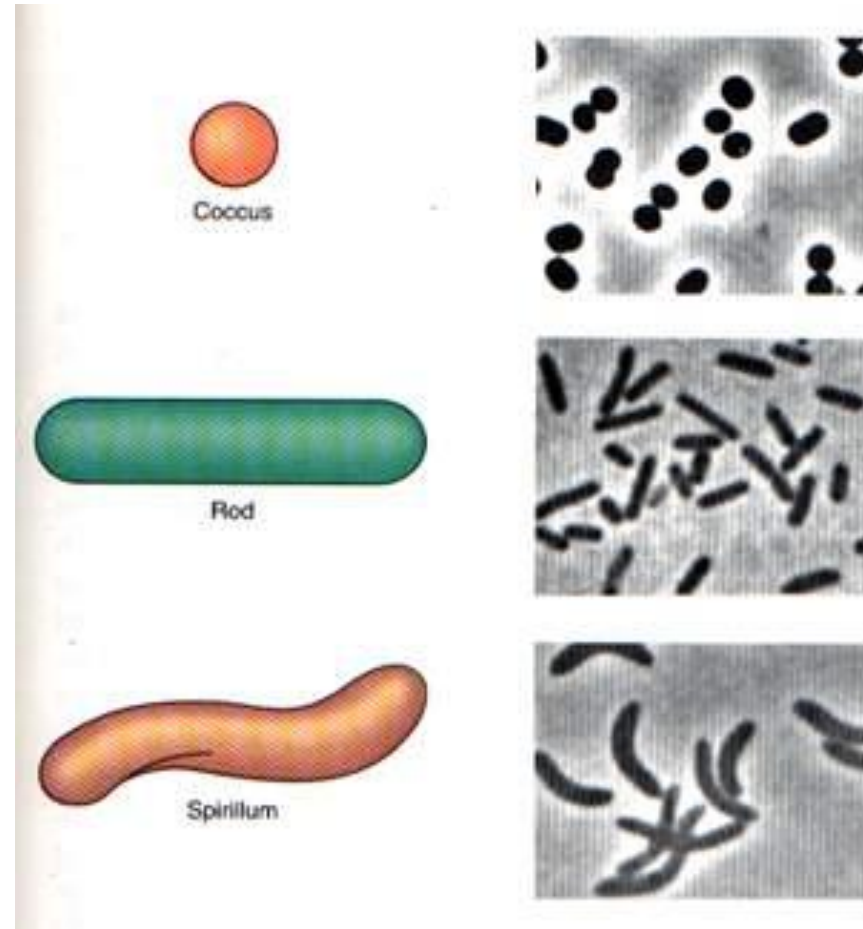
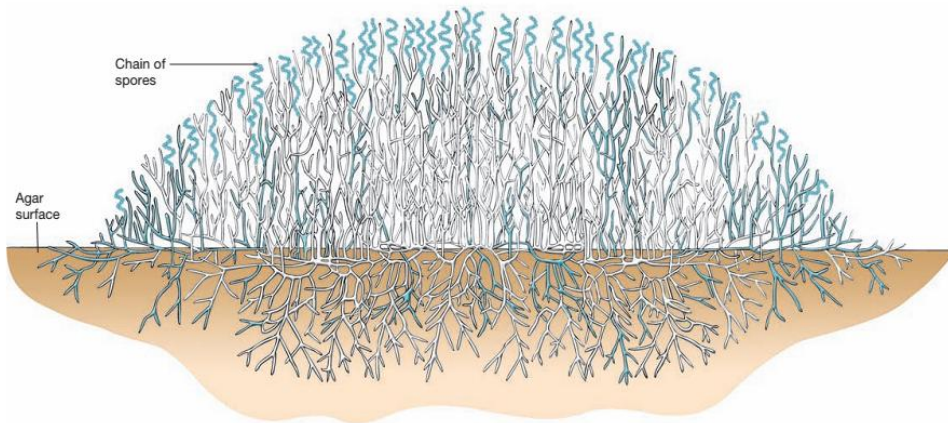
(d) *R. rubrum*



1.1 细菌的形态、排列和大小

基本形态类型

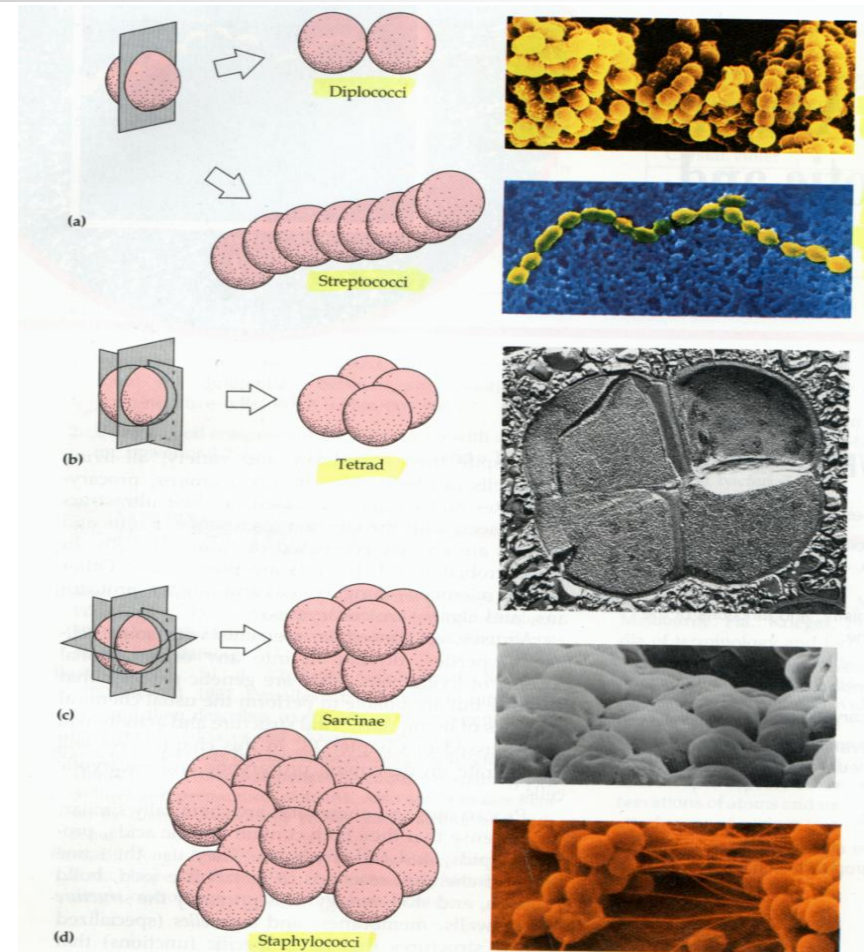
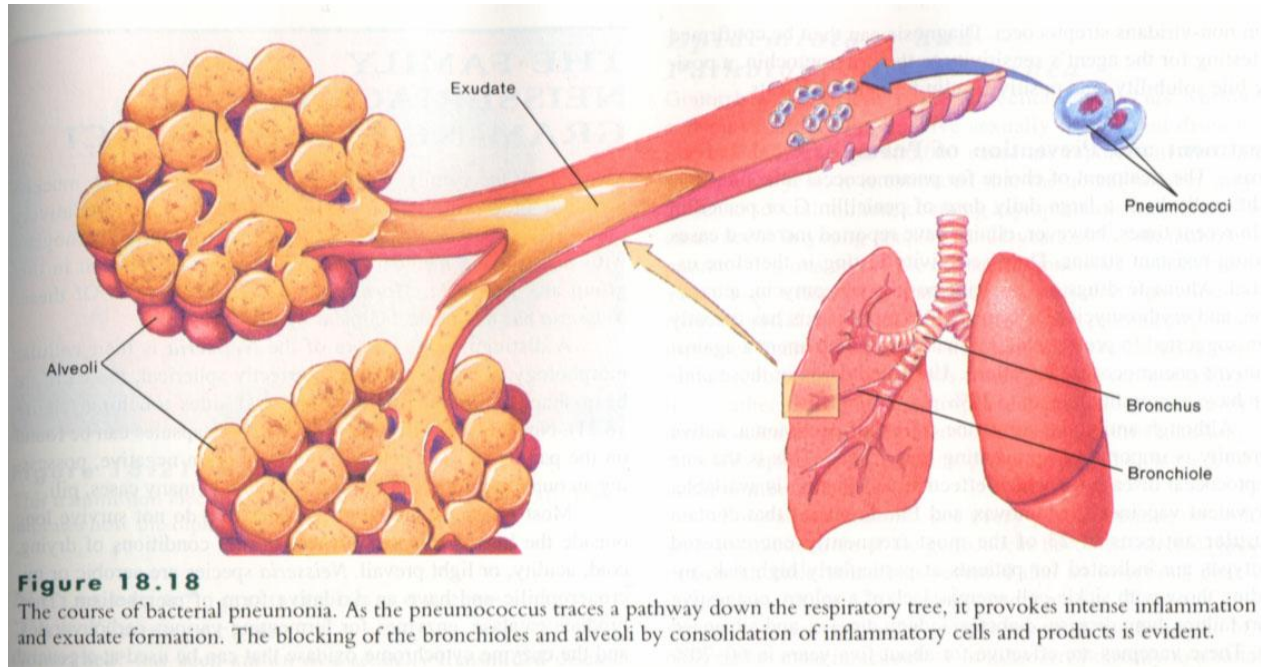
球状 杆状 丝状 螺旋状





1.1 细胞的形态、排列

◆ **球菌**：细胞个体呈球形或椭圆形，不同种的球菌在细胞分裂时会形成不同的空间排列方式，常被作为分类依据。





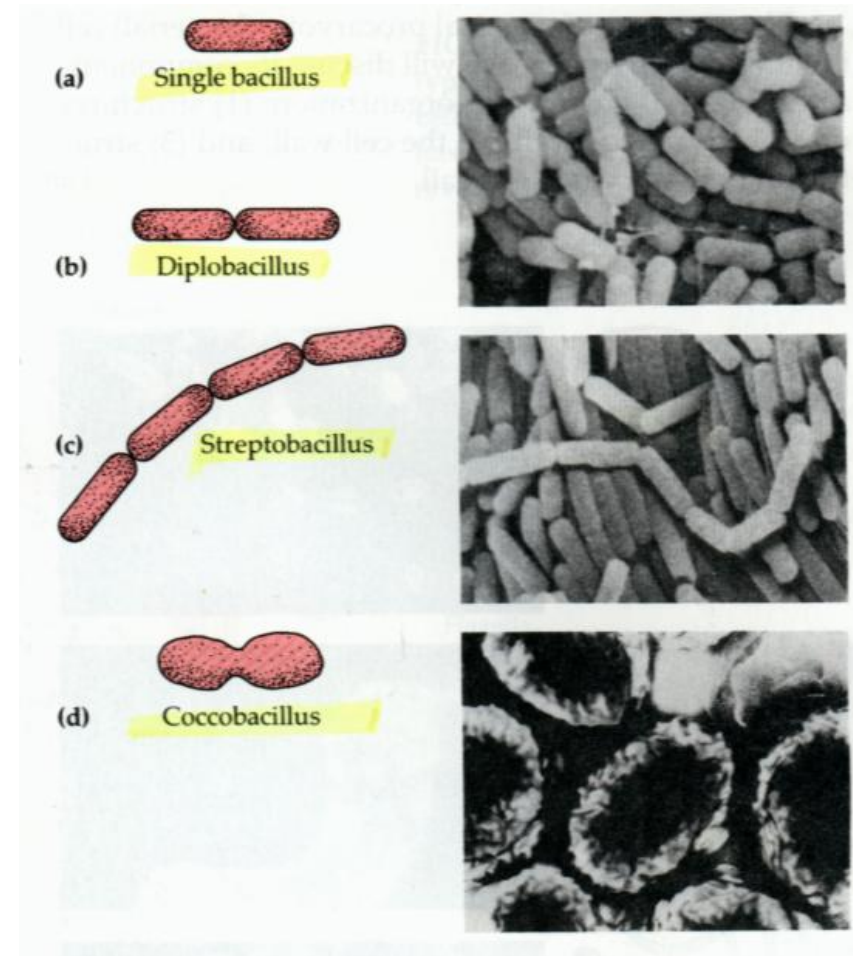
1.1 细胞的形态、排列

◆ **杆菌**：细胞呈杆状或圆柱形，一般其粗细（直径）比较稳定，而长度则常因培养时间、培养条件不同而有较大变化。

杆状细菌的排列方式常因生长阶段和培养条件而发生变化，一般不作为分类依据。



铜绿假单胞杆菌（*pseudomonas aeruginosa*）研究生物膜（**biofilm**）和抗生素外排泵的模式菌





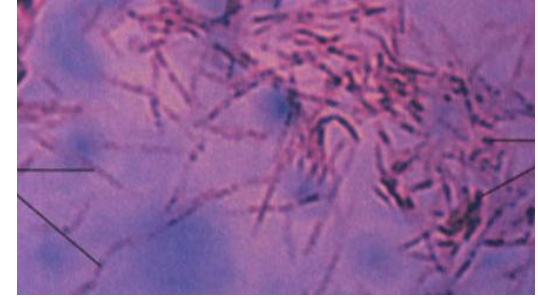
三种重要的病原菌



麻风分支杆菌
(*Mycobacterium leprae*)



炭疽杆菌
(*Anthrax bacillus*)



结核分支杆菌
(*Mycobacteria tuberculosis*)





1.1 细胞的形态、排列

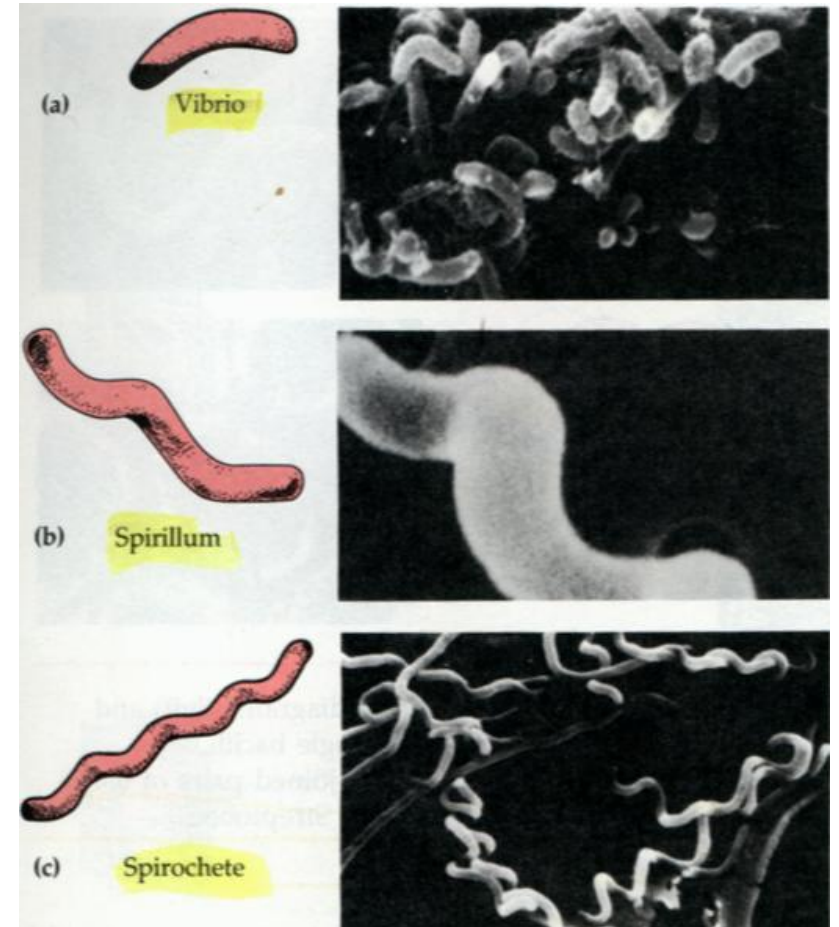
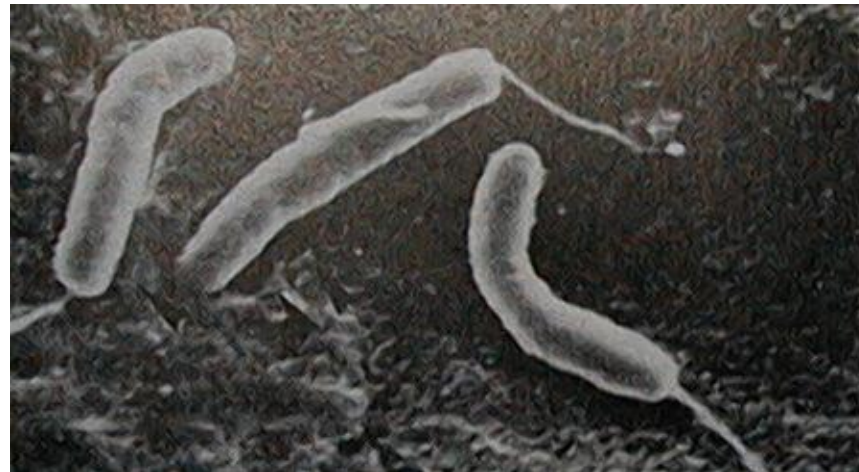
◆ 螺旋状:

弧菌 菌体只有一个弯曲，其程度不足一圈，形似“C”字或逗号，鞭毛偏端生：**霍乱弧菌 (*Vibrio cholerae*)** 见下图

螺旋菌 菌体回转如螺旋，螺旋数目和螺距大小因种而异。鞭毛二端生。细胞壁坚韧，菌体较硬；

螺旋体菌 菌体柔软，细胞外鞘内具有用于运动的类似鞭毛的轴丝：**梅毒密螺旋体 (*Treponema pallidum*)**

霍乱弧菌
(*Vibrio cholerae*)

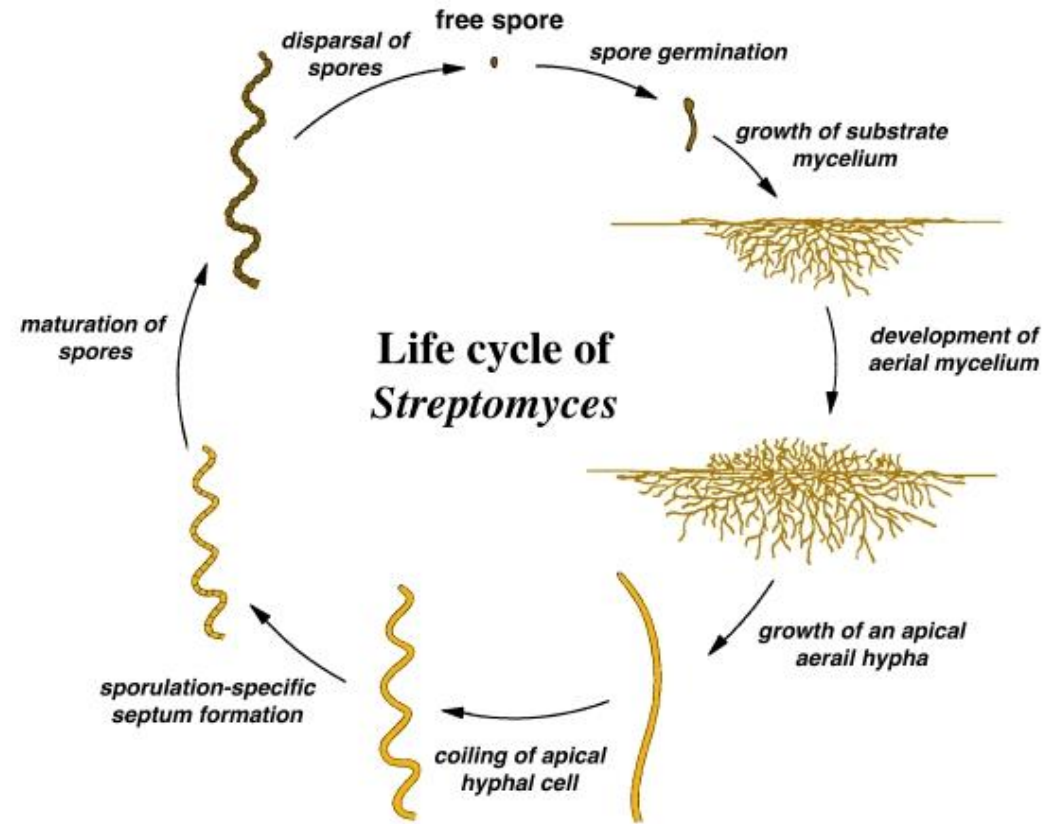
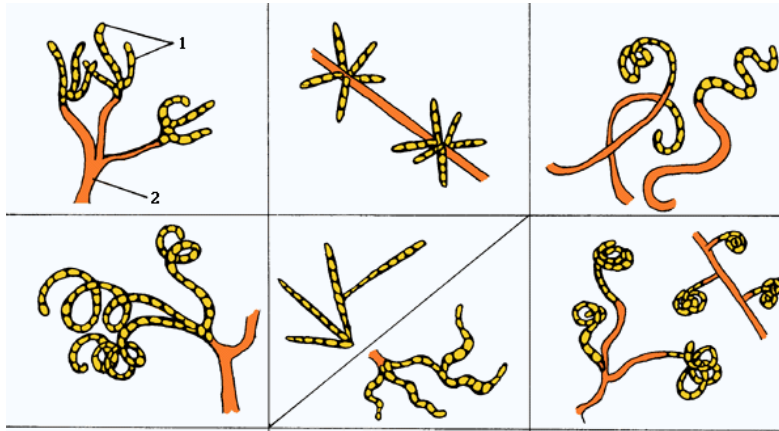




1.1 细胞的形态、排列

◆ 丝状细菌:

链霉菌是丝状细菌，有营养菌丝和气生菌丝，气生菌丝会生成孢子丝。菌丝由多个孢子成串排列构成。和杆菌一般粗细，有初步的分化发育现象，是土壤中最多的原核微生物，孢子丝的形态是重要的分类依据。





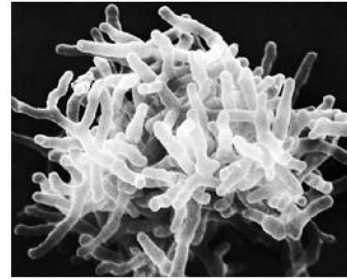
1.1 细菌的形态、排列

◆ 存在大量不规则的形态的细菌，右图

形态学的生物学意义：

- ◆ 球状细菌的形态及排列方式可作为分类学的依据；
- ◆ 杆状细菌的排列方式不作为分类的依据；
- ◆ 丝状细菌的形态可作为分类学依据。

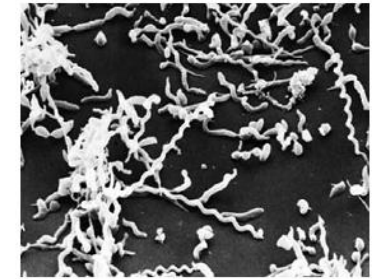
★ 细胞的形态是细胞与环境相互作用的结果，其形态会在不同的环境中有不同的变化，但是，在确定的环境下有稳定的形态学特征！



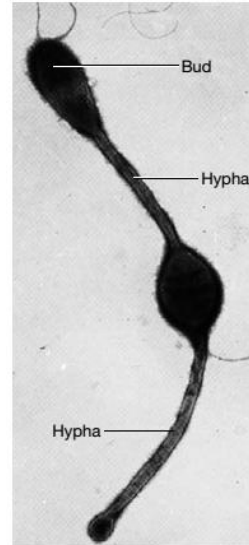
(a) *Actinomyces*



(b) *M. pneumoniae*



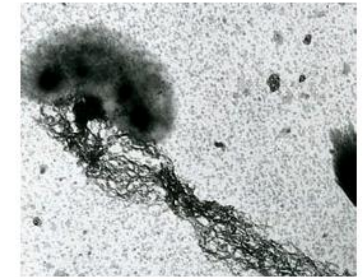
(c) *Spiroplasma*



(d) *Hyphomicrobium*



(e) Walsby's square archaeon



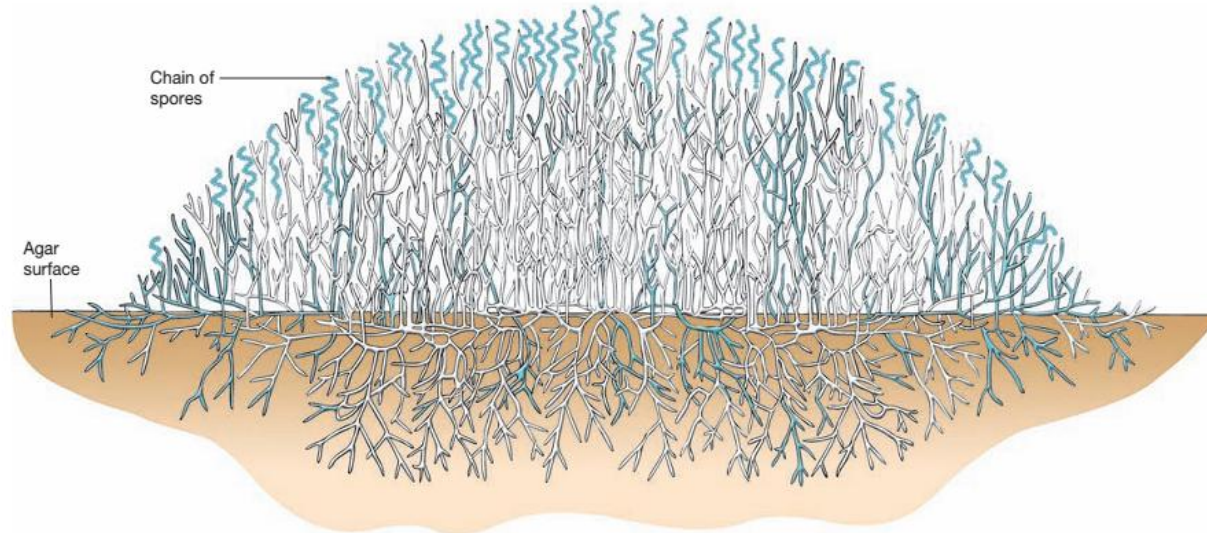
(f) *G. ferruginea*

Figure 3.2 Unusually Shaped Prokaryotes. Examples of prokaryotes with shapes quite different from bacillus and coccus types. (a) *Actinomyces*, SEM ($\times 21,000$). (b) *Mycoplasma pneumoniae*, SEM ($\times 62,000$). (c) *Spiroplasma*, SEM ($\times 13,000$). (d) *Hyphomicrobium* with hyphae and bud, electron micrograph with negative staining. (e) Walsby's square archaeon. (f) *Gallionella ferruginea* with stalk.



1.2 细菌的大小

一般细菌细胞是微米尺度的生物。细胞的尺寸分为轴和径：短者为径，长为轴。直径一般在2个微米以内，而轴长有很大的变化。球菌的轴/径比大约相等，杆菌和弧菌、螺旋菌及丝状细菌等的轴/径比大于1以上。



Specimen	Approximate diameter or width × length in nm
<i>Oscillatoria</i> Red blood cell	7,000
<i>E. coli</i>	1,300 × 4,000
<i>Streptococcus</i>	800–1,000
Poxvirus	230 × 320
Influenza virus	85
T2 <i>E. coli</i> bacteriophage	65 × 95
Tobacco mosaic virus	15 × 300
Poliomyelitis virus	27



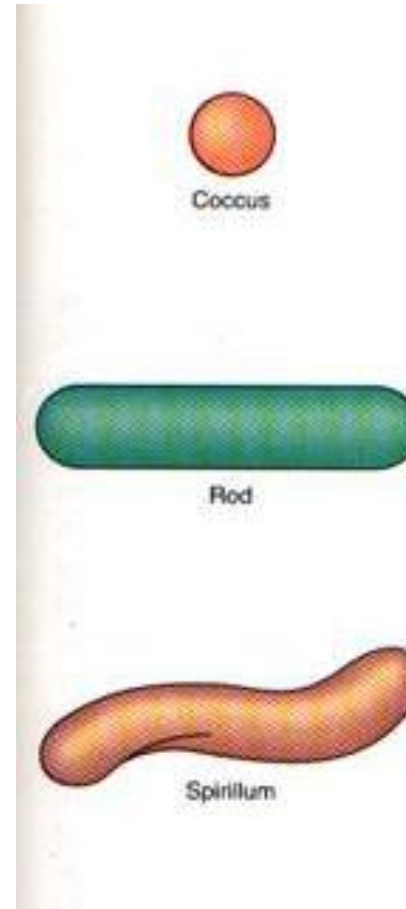
1.2 细菌的大小

1. 细菌的尺度

0.5 ~ 1 μm (直径)

0.2~ 1 μm (直径) X 1~ 80 μm (长度)

0.3~ 1 μm (直径) X 1~ 50 μm (长度)
(长度是菌体两 endpoint 之间的距离, 而非实际长度)

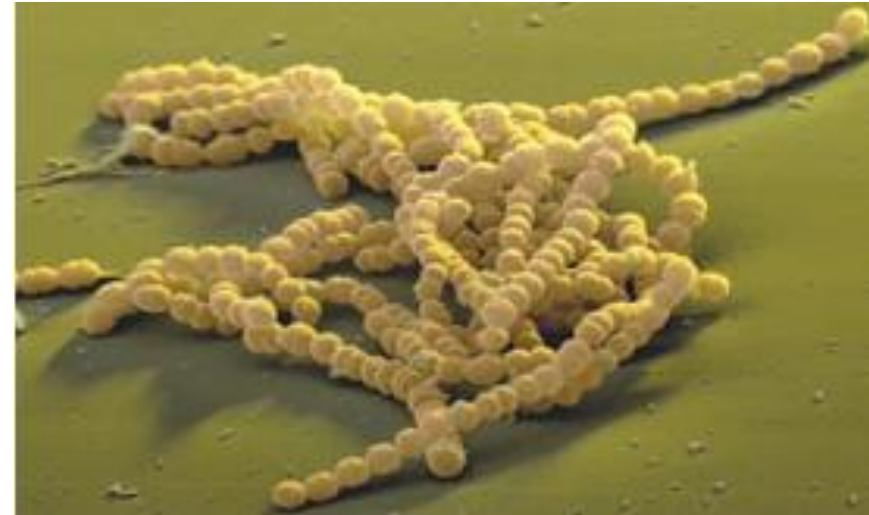
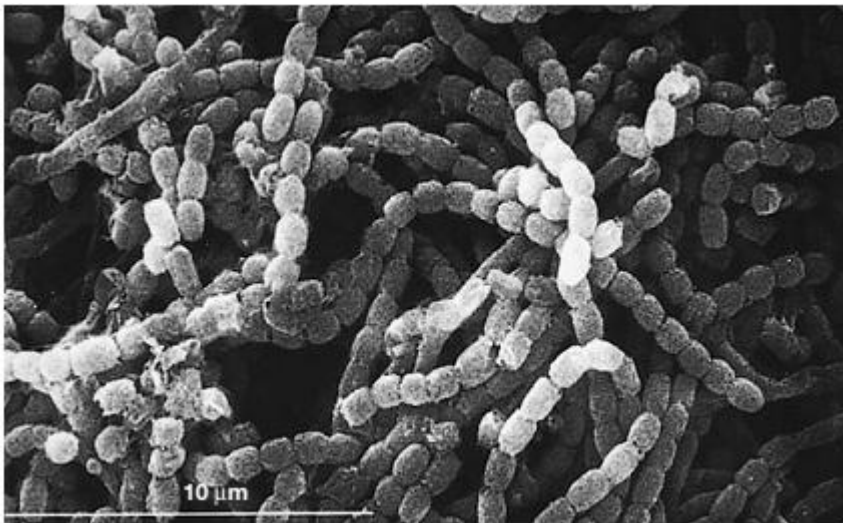




1.2 细菌的大小

2、测量方法

显微镜测微尺



Streptococcus agalactiae, the cause of Group B streptococcal infections; cocci arranged in chains; color-enhanced scanning electron micrograph (放大4,800倍)。

显微照相后根据放大倍数进行测算



1.2 细菌的大小

(参见 P 32)

3、细菌大小测量结果的影响因素



菌种造成的菌种差异，菌种内部的个体差异；



干燥、固定后的菌体会一般由于脱水而比活菌体缩短 $1/3-1/4$ ；



染色方法的影响，一般用负染色法观察的菌体较大；



菌龄因素，幼龄细菌一般比成熟的或老龄的细菌大；



环境条件，如培养基中渗透压的改变也会导致细胞大小的变化。



2. 细菌的细胞结构

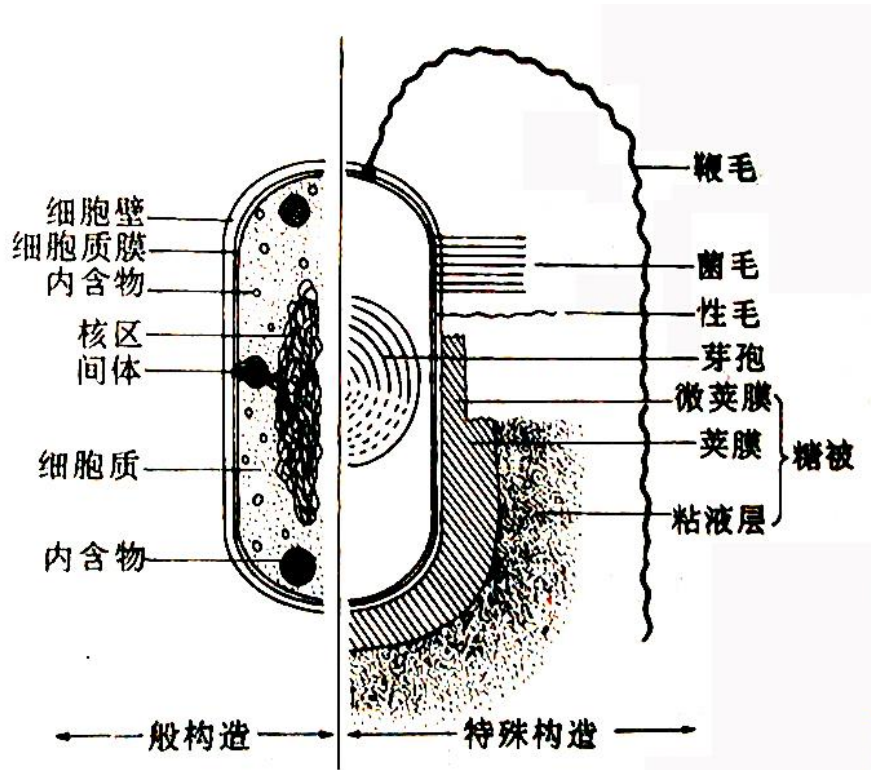
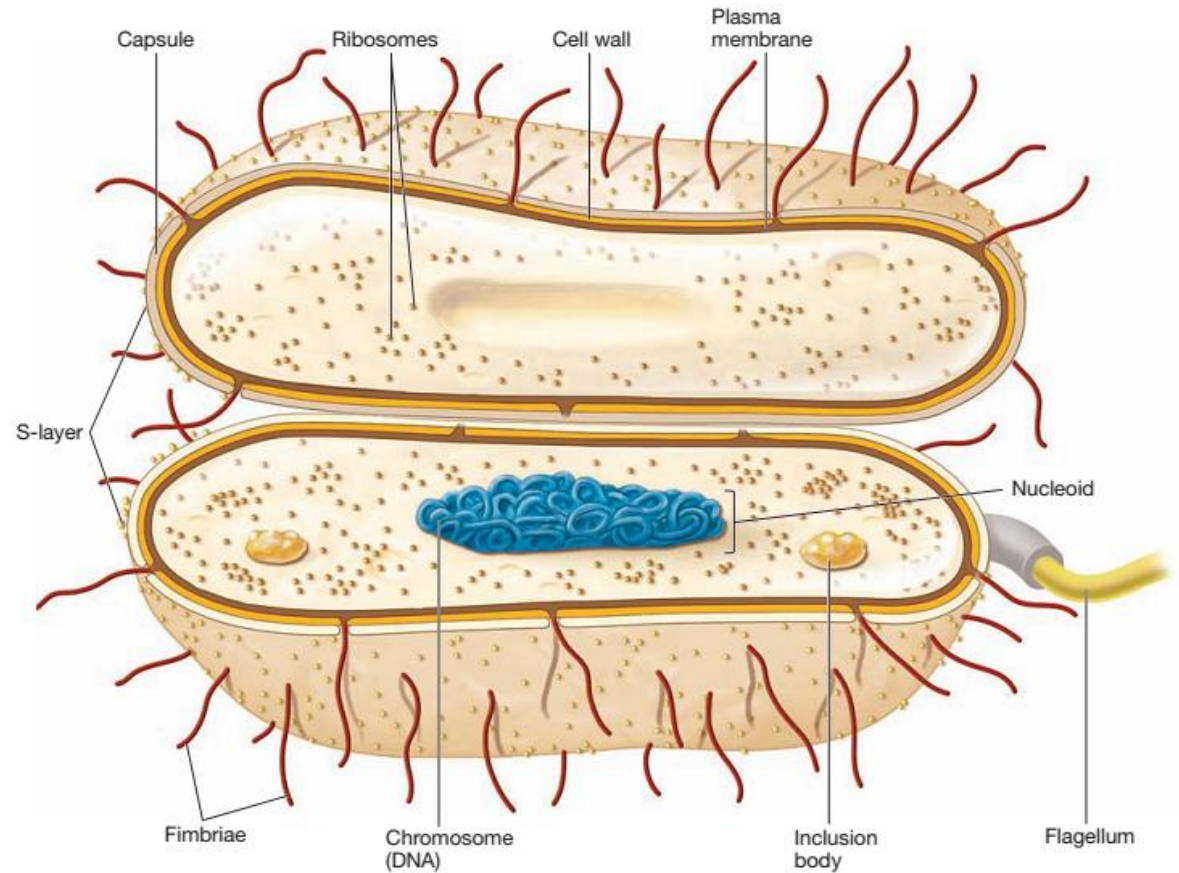


图 3-1 细菌细胞构造模式图

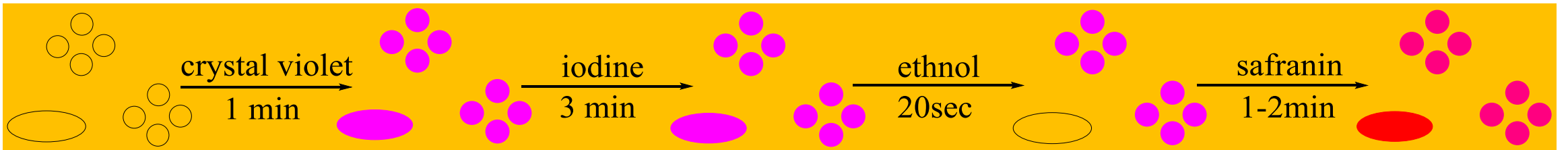
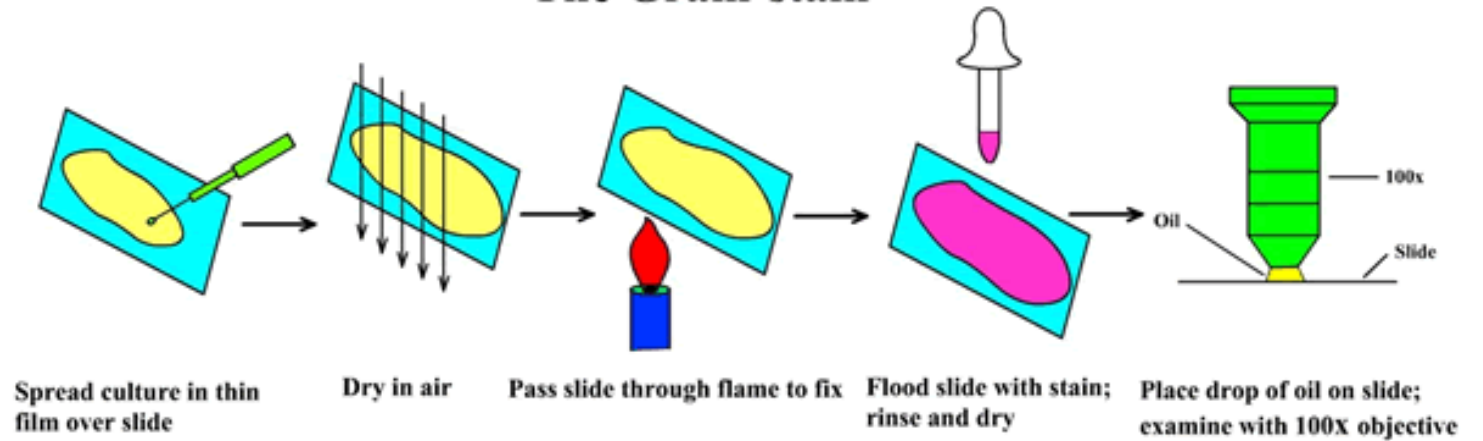




回忆：革兰氏染色：

革兰氏染色主要是对细菌进行的鉴别染色。根据细胞壁结构的不同，将细菌分为革兰氏阳性细菌和阴性细菌。

The Gram-stain



固定

初染

媒染

脱色

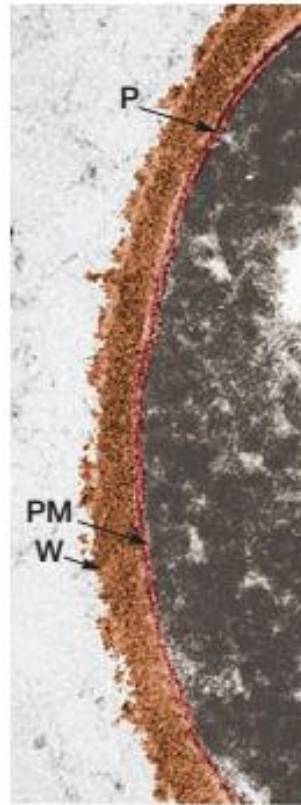
复染

观察

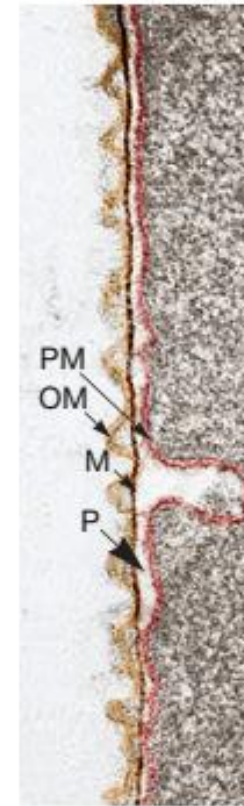
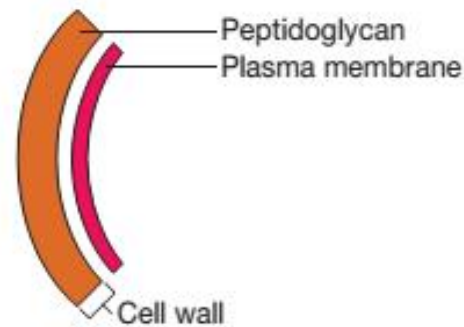
2. 细菌的细胞结构

2.1 细胞壁

细胞壁 (cell wall) 是位于细胞表面，内侧紧贴细胞膜的一层较为坚韧，略具弹性的细胞结构。



The gram-positive cell wall



The gram-negative cell wall

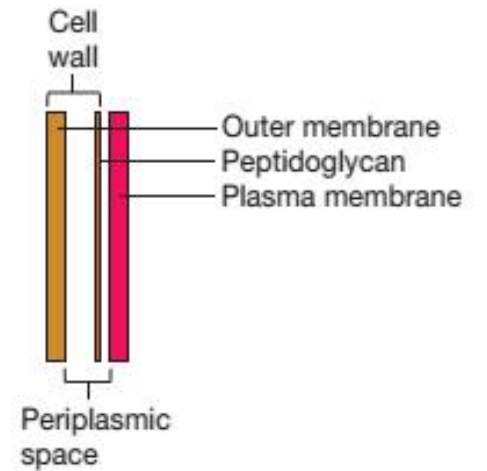


Figure 3.17 Gram-Positive and Gram-Negative Cell Walls. The gram-positive envelope is from *Bacillus licheniformis* (left), and the gram-negative micrograph is of *Aquaspirillum serpens* (right). M; peptidoglycan or murein layer; OM, outer membrane; PM, plasma membrane; P, periplasmic space; W, gram-positive peptidoglycan wall.



2. 细菌的细胞结构

2.1 细胞壁

◆ 证实细胞壁存在的方法：

- 细菌超薄切片的电镜直接观察；
- 质、壁分离与适当的染色，可以在光学显微镜下看到细胞壁；
- 机械法破裂细胞后，分离得到纯的细胞壁；
- 制备原生质体，观察细胞形态的变化；

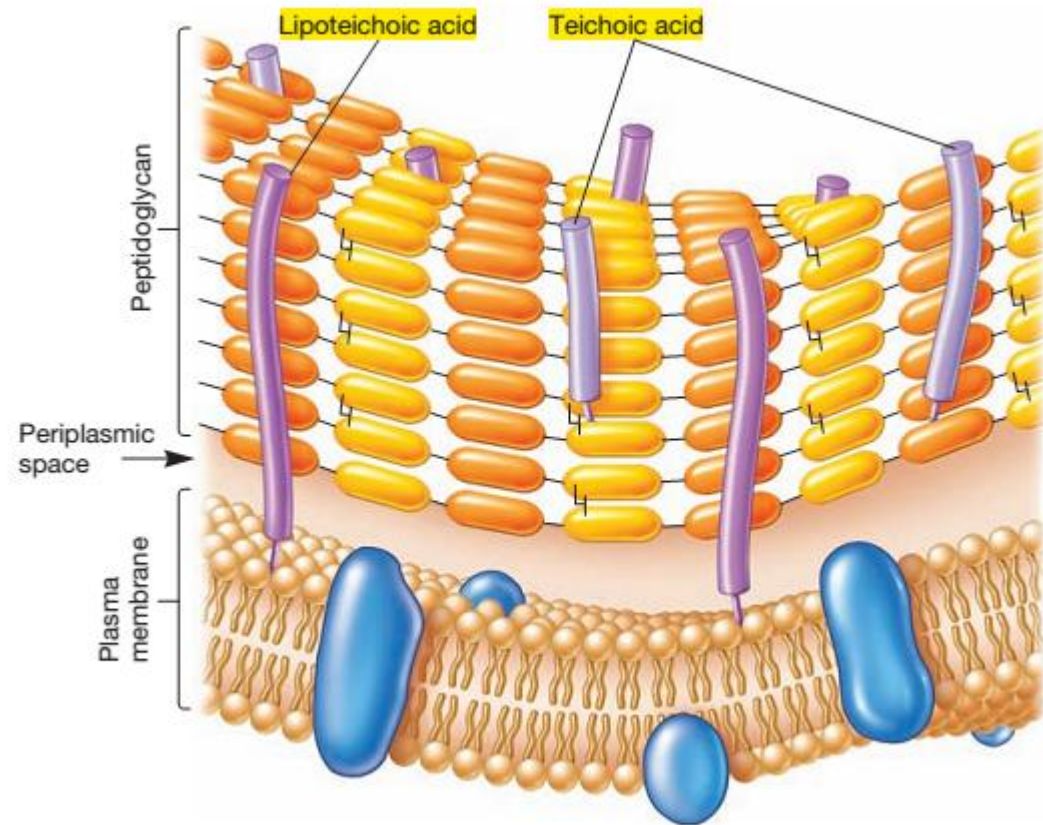


2. 细菌的细胞结构

2.1.1 革兰氏阳性细菌的细胞壁

- 肽聚糖 (peptidoglycan)
- 磷壁酸 (teichoic acid)

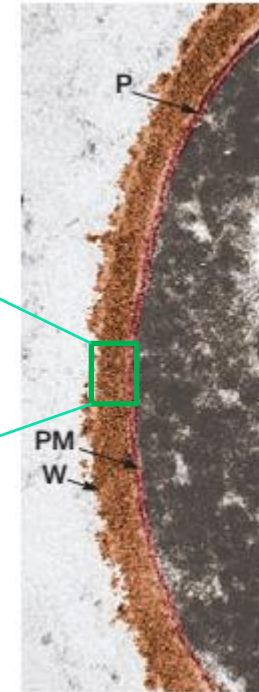
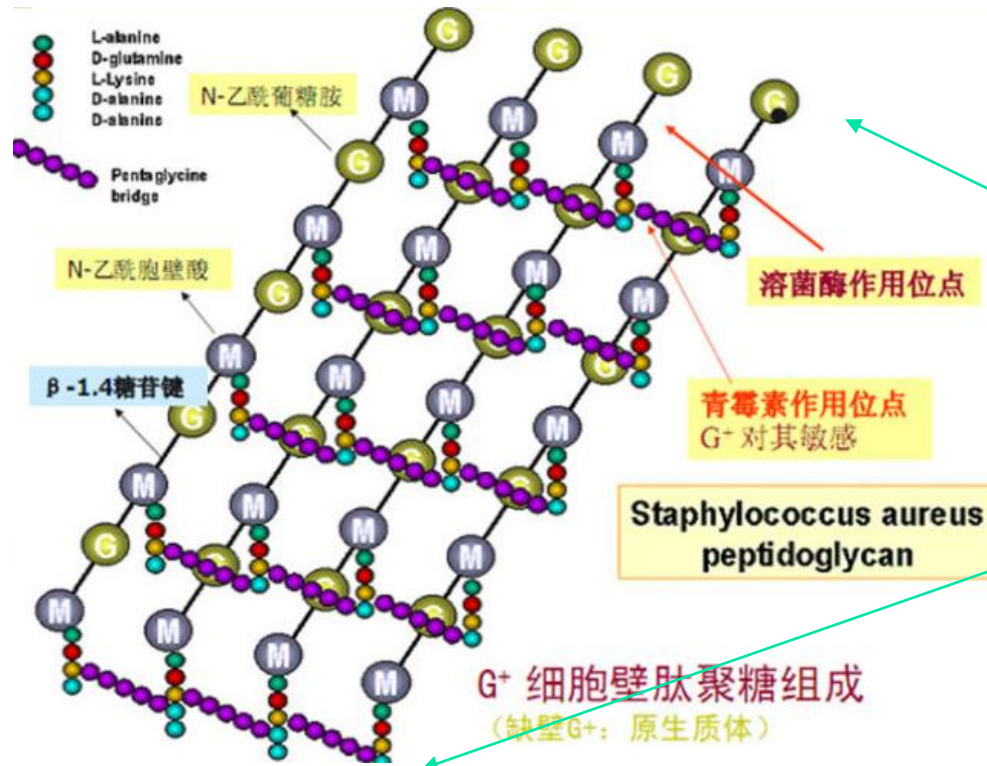
磷壁酸共价结合在肽聚糖或细胞膜上是革兰氏阳性细菌细胞壁上的一种酸性多糖，是真细菌细胞壁中的特有成分。



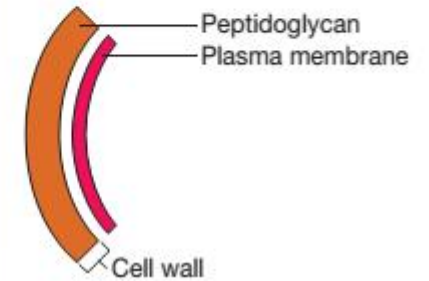


2. 细菌的细胞结构

◆ 革兰氏阳性细胞壁肽聚糖的结构



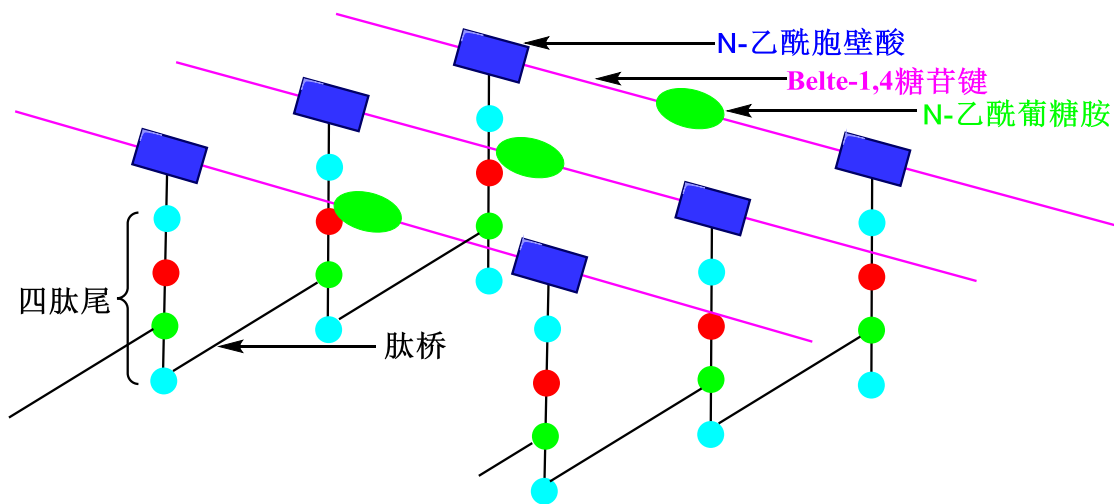
The gram-positive cell wall



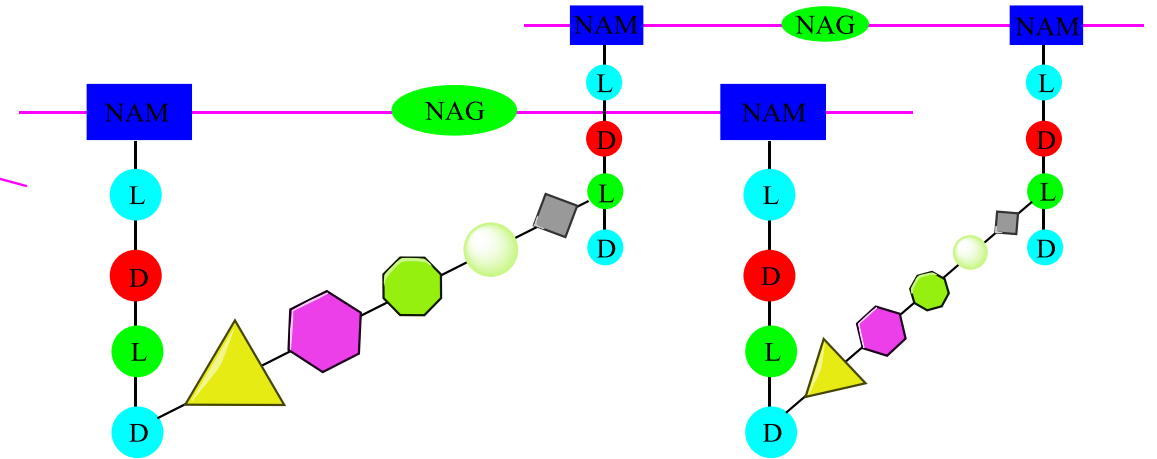


2. 细菌的细胞结构

◆ 革兰氏阳性细胞壁肽聚糖的微观结构



G⁺细菌的肽聚糖的立体结构

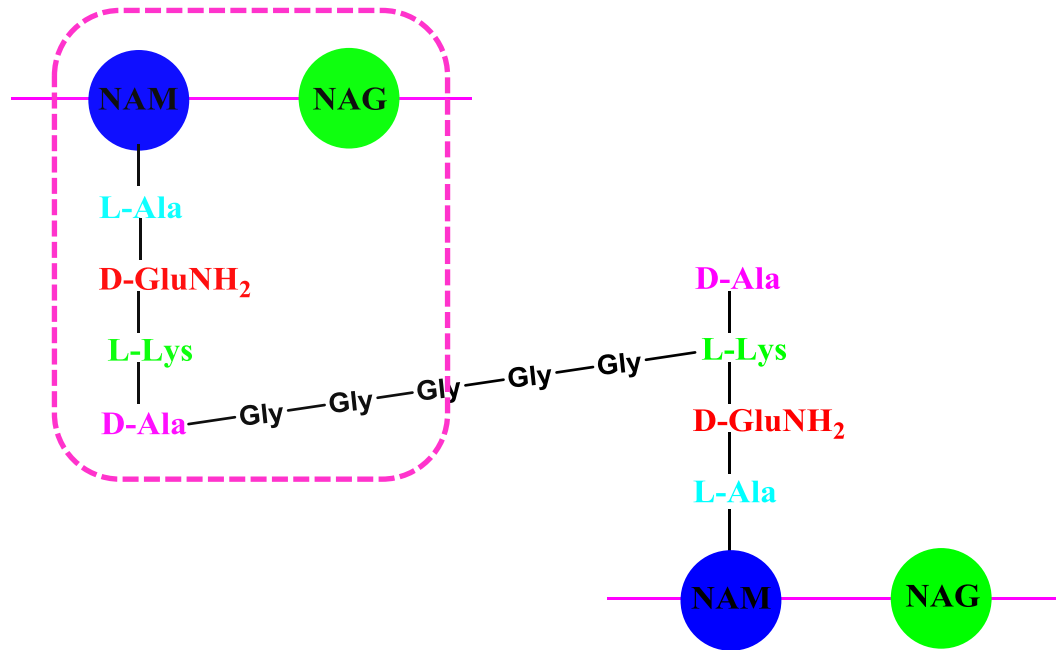


G⁺细菌细胞壁肽聚糖的肽桥结构

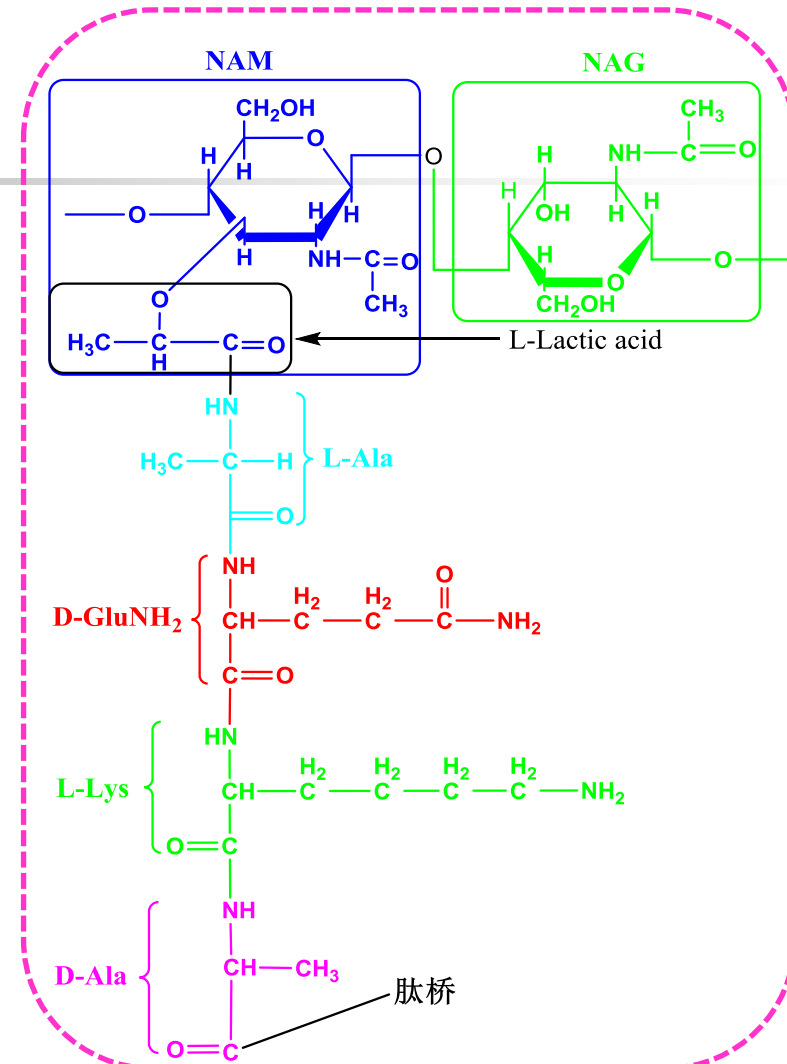


2. 细菌的细胞结构

◆ 革兰氏阳性细胞壁肽聚糖的结构单元



G⁺ 细菌 *Staphylococcus aureus* 的四肽之间通过五肽肽桥连接



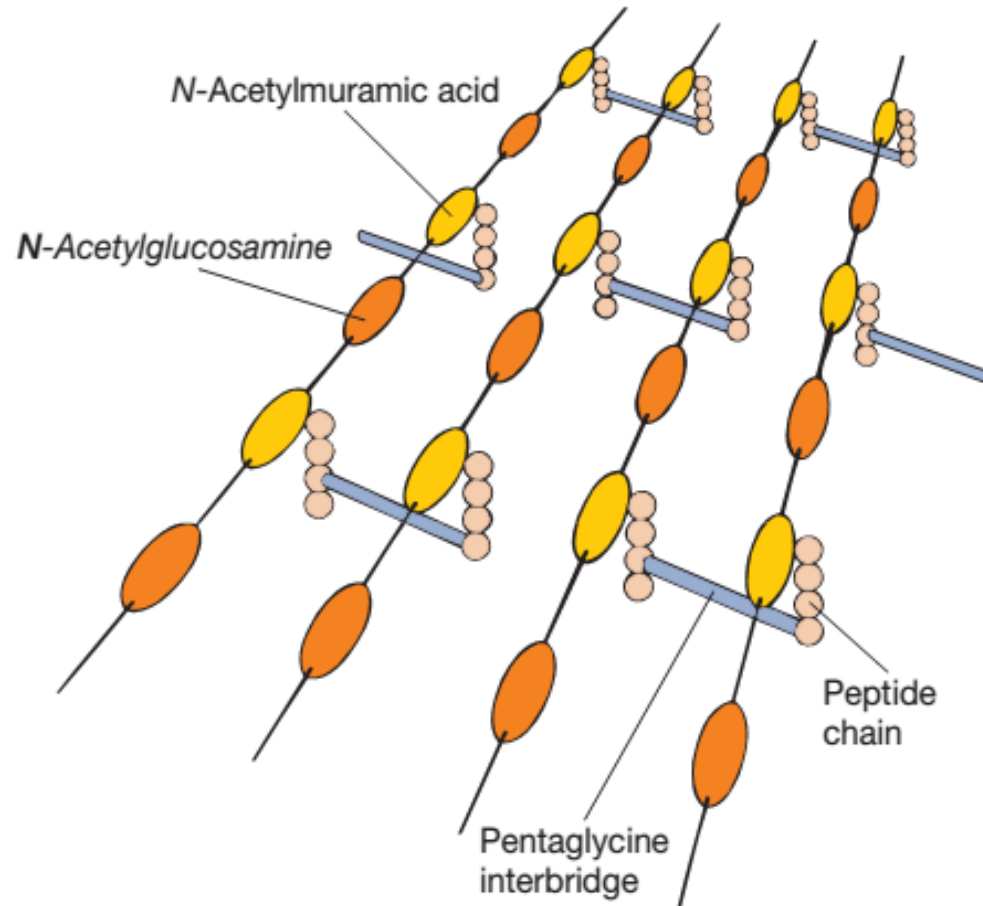
G⁺细菌 *Staphylococcus aureus* 肽聚糖骨架和四肽尾



2. 细菌的细胞结构

◆ 肽聚糖的特点和功能:

- N-乙酰葡萄糖胺和N-乙酰胞壁酸形成骨架，N-乙酰胞壁酸分子与四肽相连；
- 肽聚糖的多样性主要表现在肽桥的多样性；
- 形成立体网状的保护性外套，具有刚性结构，保护细胞免受渗透压和机械性的损伤；
- 其合成途径成为开发抗生素的作用靶点。





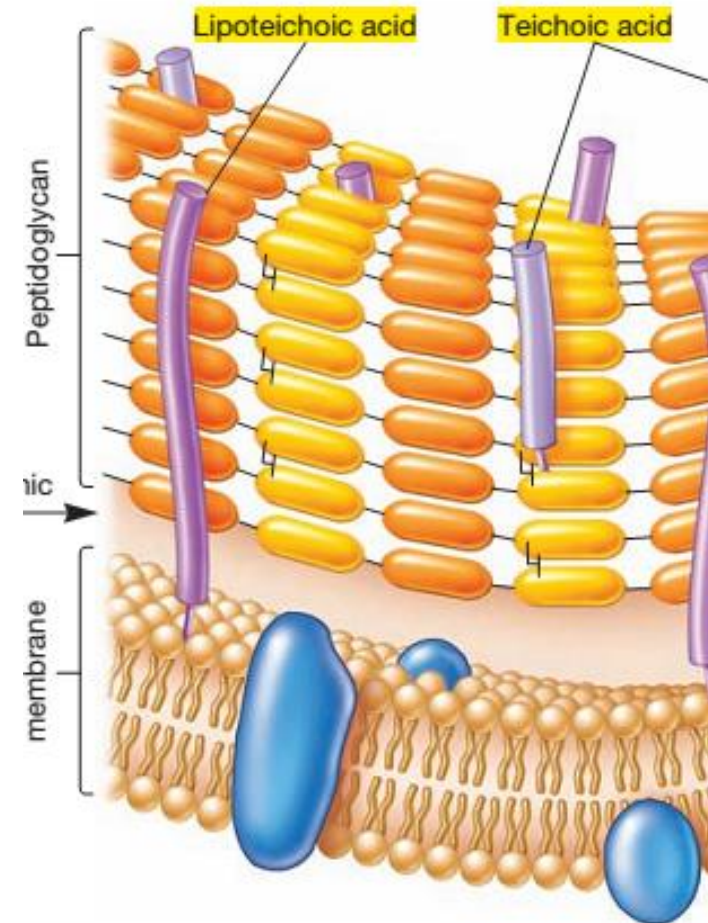
2. 细菌的细胞结构

◆ 磷壁酸主要生理功能:

- 细胞壁形成负电荷环境，增强细胞膜对二价阳离子的吸收；
- 贮藏磷元素；
- 增强某些致病菌对宿主细胞的粘连、避免被白细胞吞噬以及抗补体的作用；
- 革兰氏阳性细菌特异表面抗原的物质基础；
- 噬菌体的特异性吸附受体；
- 能调节细胞内自溶素(autolysin)的活力，防止细胞因自溶而死亡。

可作为细菌
分类、鉴定
的依据

(参见P42)





2.细菌的细胞结构

2.1.3 革兰氏阳性菌细胞壁的特点:

- 厚度大（20~80nm），化学组分简单，一般只含90%肽聚糖和10%磷壁酸；
- 不溶于脂溶性有机溶剂，亲水性好；
- 肽聚糖的多样性主要取决于肽桥的多样性；
- 细胞壁强度大，形成刚性鞘膜，能耐受较大的渗透压和物理性损伤；
- 细胞壁的网孔大，透过性好，有利于营养物质的穿透；
- 抗生素等小分子物质容易通过细胞壁，也容易被溶菌酶破坏 β -1,4-糖苷键而解构。

革兰氏阳性菌细胞壁生物合成途径的组分及合成酶，通常是开发新一代抗生素潜在的最佳靶点之一。已知的抗生素如 β -内酰胺类抗生素和万古霉素等都是作用于细胞壁。

革兰氏染色的机理:

结晶紫结合到细胞壁后，和碘结合成网状大分子，当遇到乙醇或丙酮脱色时，结晶紫-碘被滞留在细胞壁中，当遇到沙黄时，呈现出更深的紫红色。



2. 细菌的细胞结构

革兰氏阳性菌的细胞壁的合成

枯草杆菌肽

环丝氨酸

万古霉素

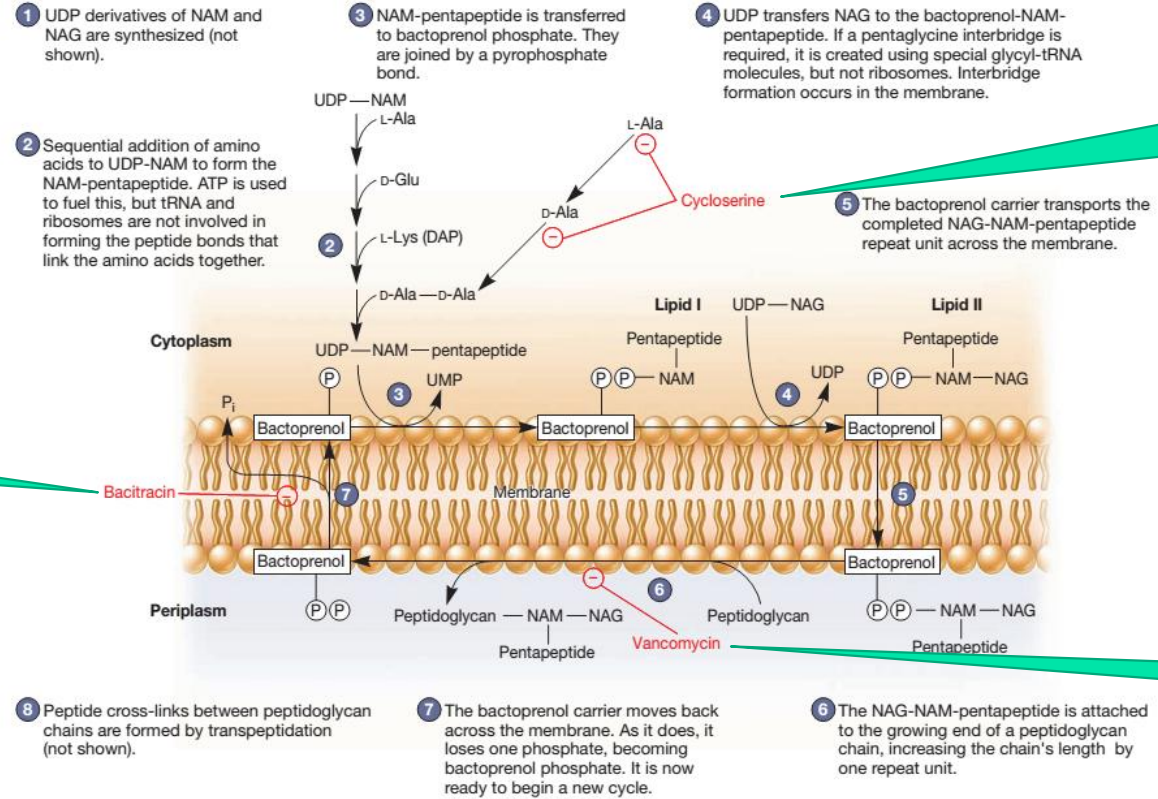
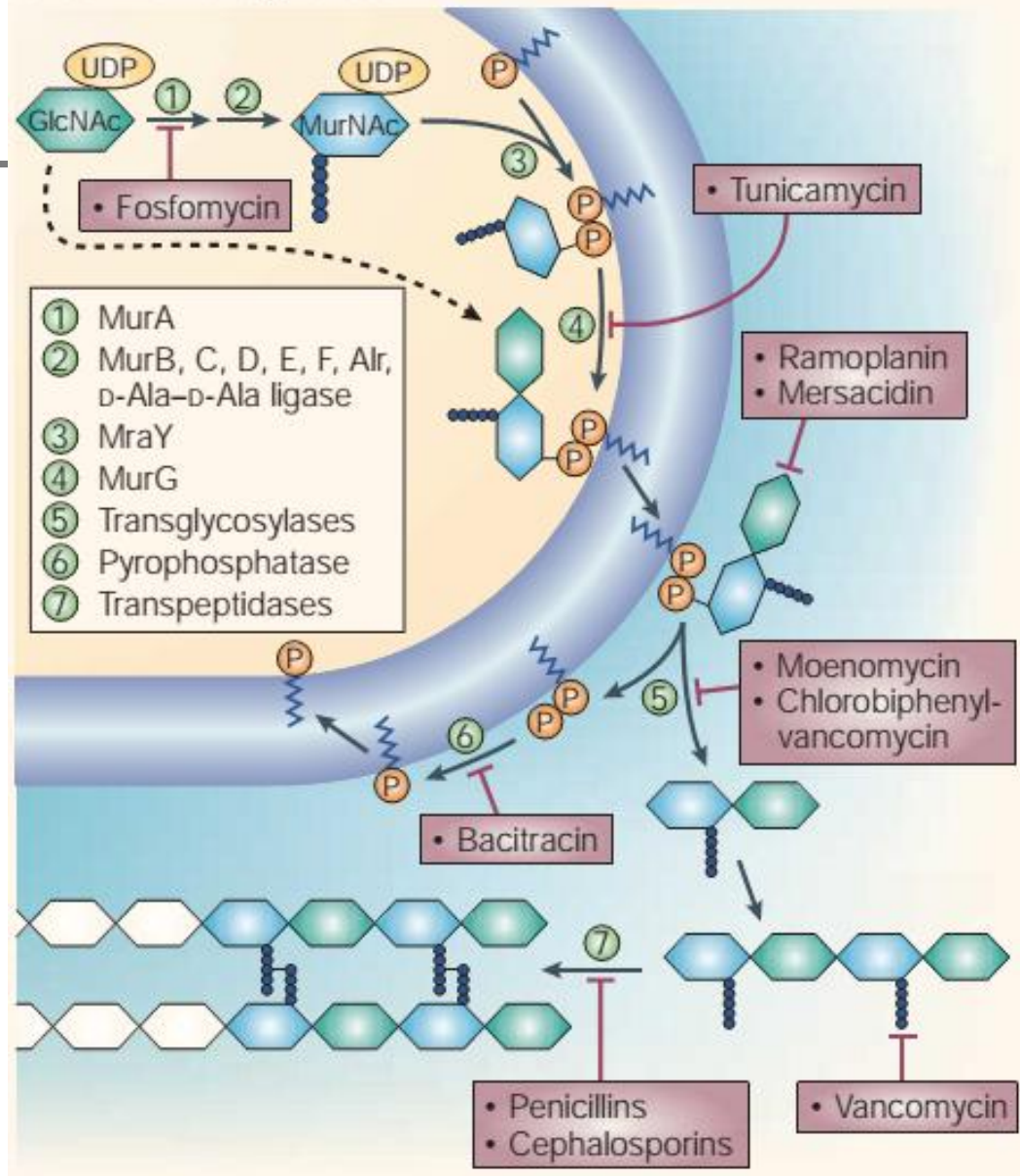


Figure 10.12 Peptidoglycan Synthesis. NAM is N-acetylmuramic acid and NAG is N-acetylglucosamine. The pentapeptide contains L-lysine in *Staphylococcus aureus* peptidoglycan, and diaminopimelic acid (DAP) in *E. coli*. Inhibition by bacitracin, cycloserine, and vancomycin also is shown. The numbers correspond to six of the eight stages discussed in the text. Stage eight is depicted in figure 10.14.



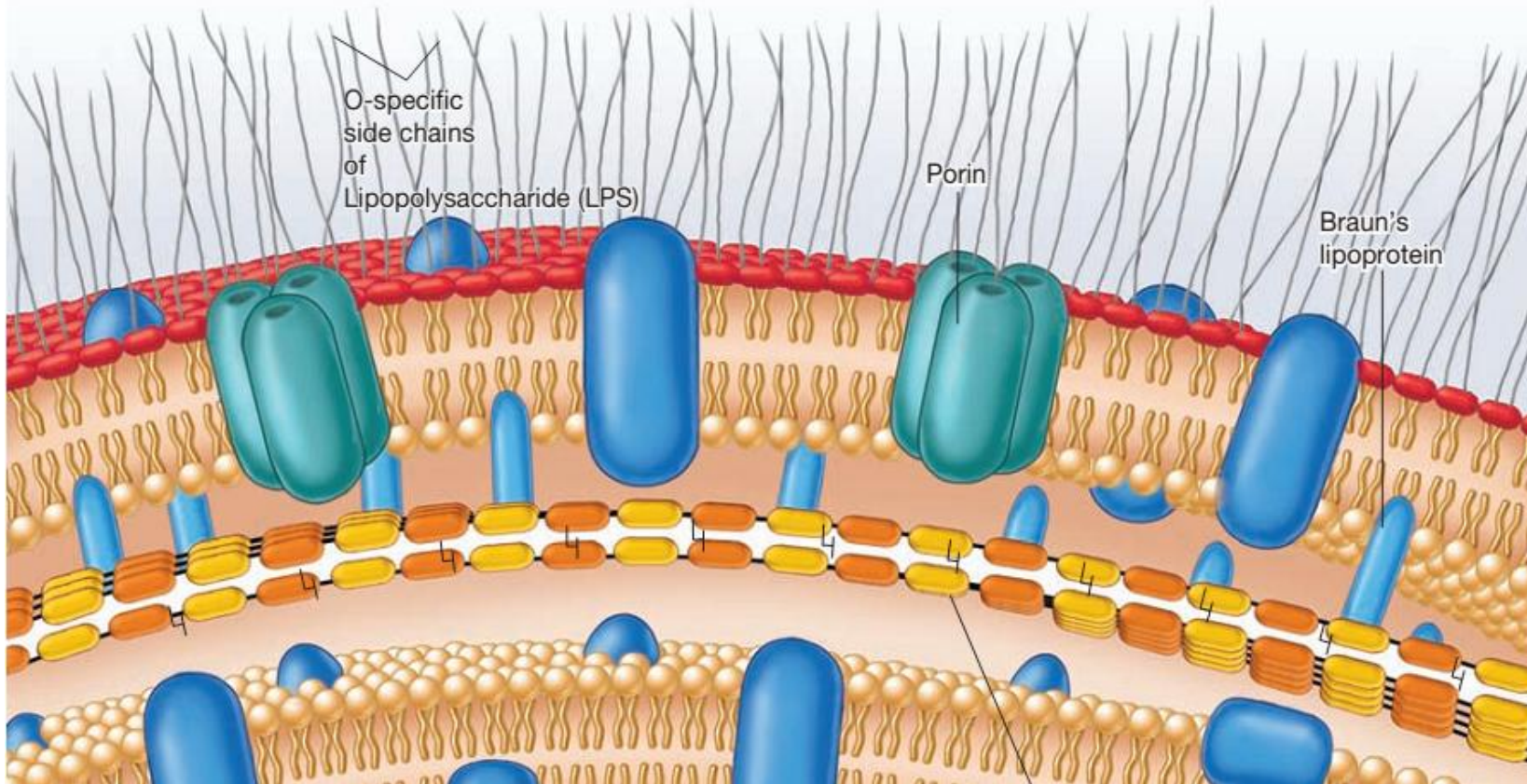
a Cell wall biosynthesis





2. 细菌的细胞结构

2.1.4 革兰氏阴性菌的细胞壁结构



外膜(outer membrane)

位于革兰氏阴性细菌细胞壁外层，由脂多糖、磷脂和脂蛋白等若干种蛋白质组成的膜，有时也称为外壁。

Outer membrane
Periplasmic space and peptidoglycan

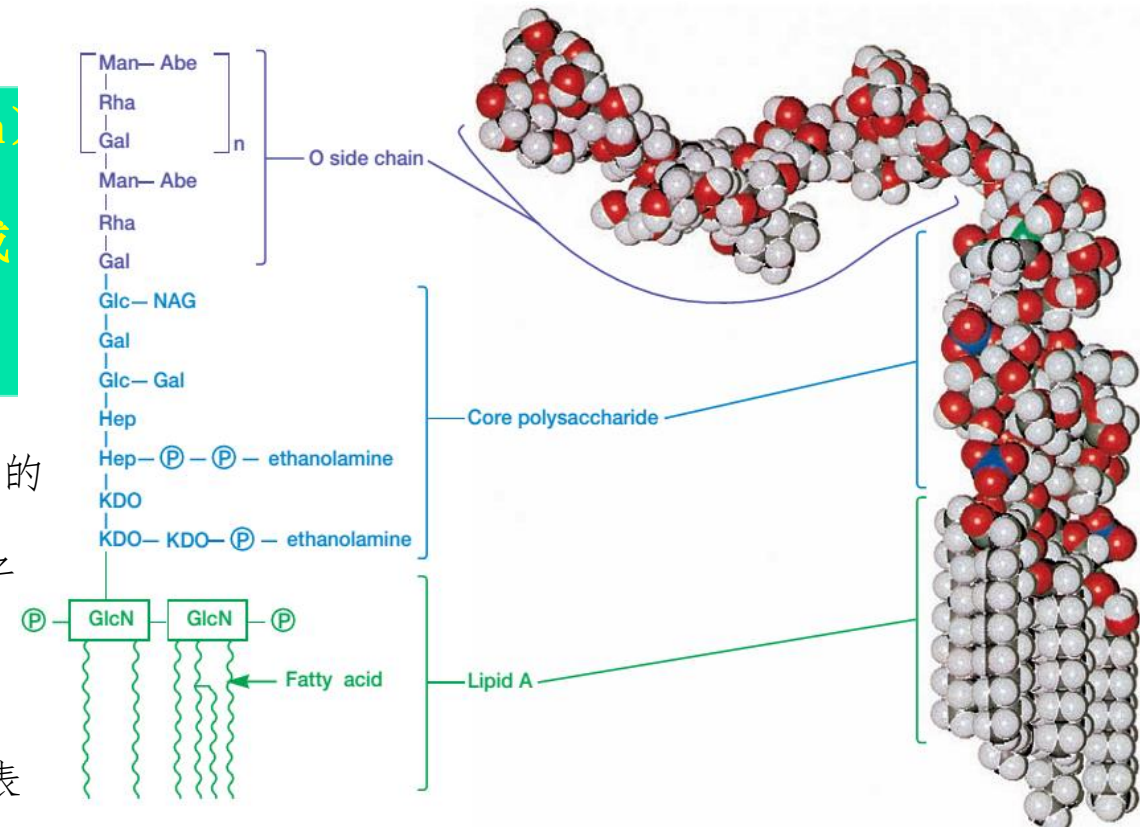


2. 细菌的细胞结构

◆ 脂多糖 (lipopolysaccharide, LPS)

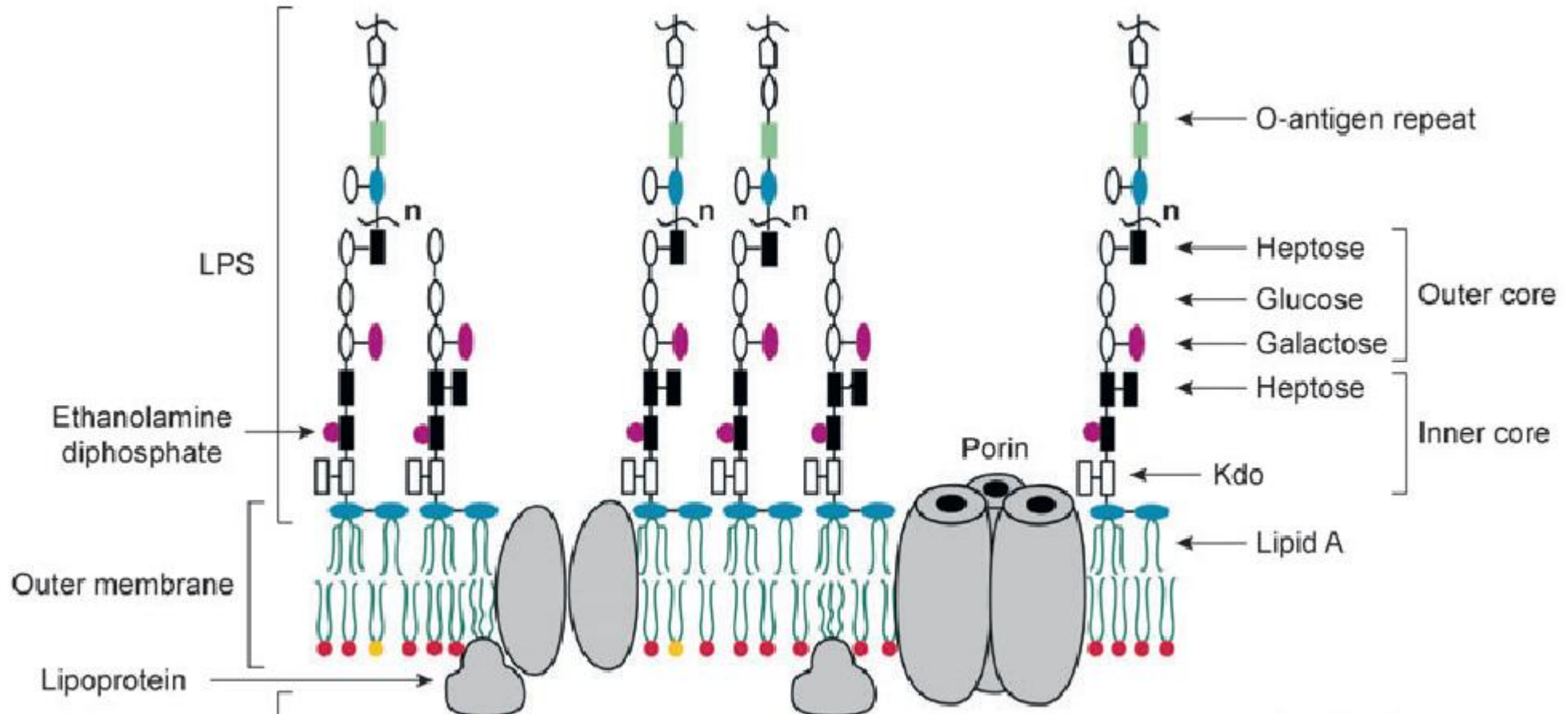
位于革兰氏阴性细菌细胞壁最外层的一层较厚 (8~10nm) 的类脂多糖类物质, 由类脂A、核心多糖(core polysaccharide)和O-特异侧链 (O-specific side chain, 或称O-多糖或O-抗原) 三部分组成。其脂质成分与细胞膜的脂质不同。

- LPS结构的多变, 决定了革兰氏阴性细菌细胞表面抗原决定簇的多样性;
- LPS负电荷较强, 与磷壁酸相似, 也有吸附 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 等阳离子以提高其在细胞表面浓度的作用, 对细胞膜结构起稳定作用;
- 类脂A是革兰氏阴性细菌致病物质——**内毒素**;
- 具有控制某些物质进出细胞的部分选择性屏障功能;
- 许多噬菌体在细胞表面的吸附受体; 也是病原菌和宿主细胞表面细胞多糖相互作用的物质基础。



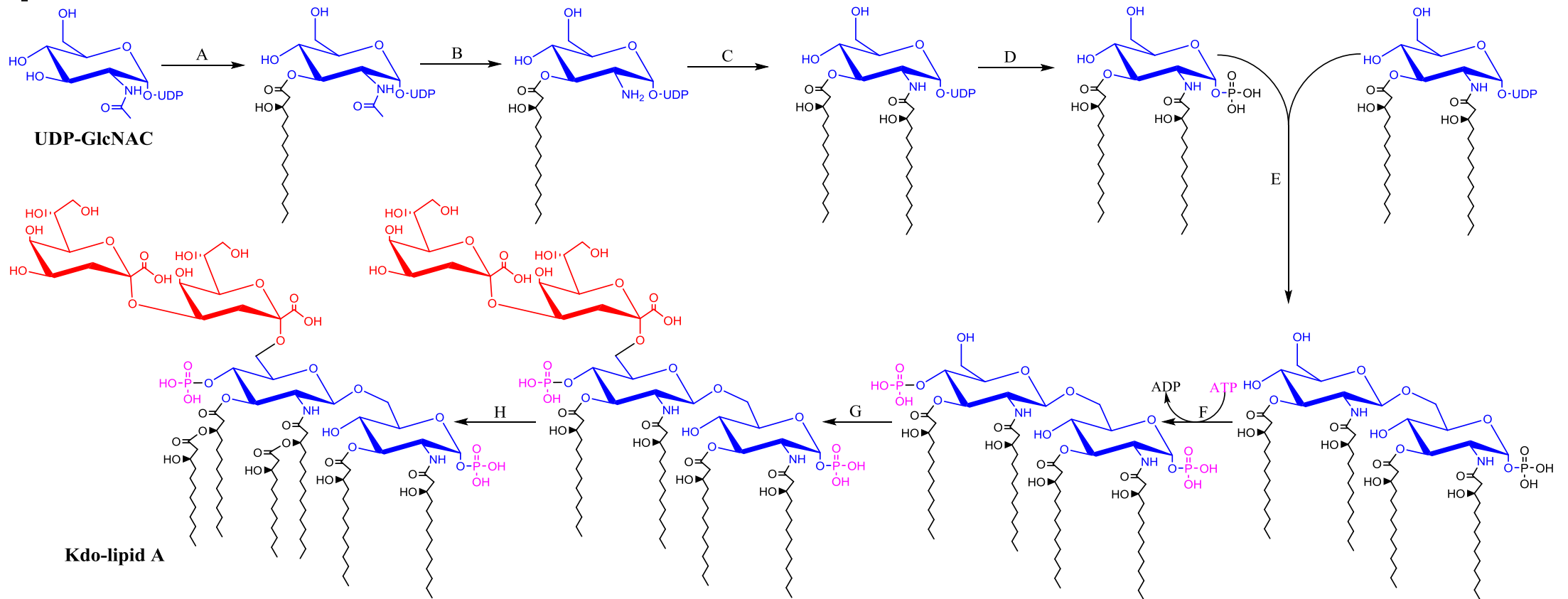


2. 细菌的细胞结构





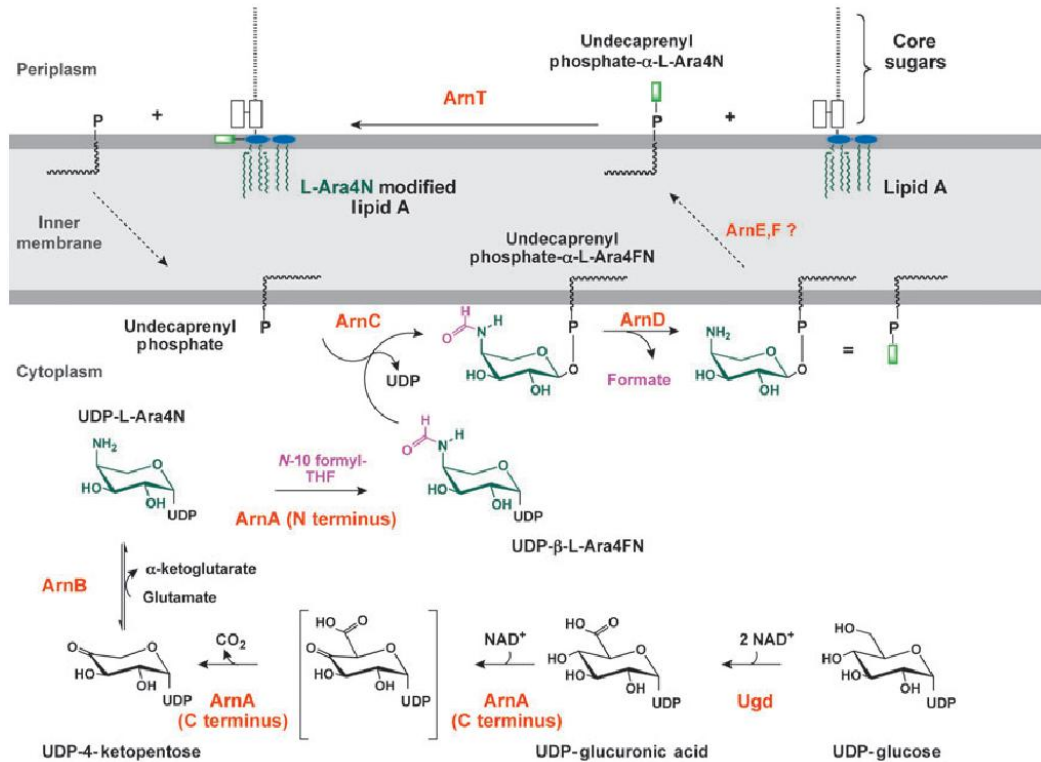
2. 细菌的细胞结构



Lipid A 的生物合成途径



拓展阅读



Lipid A Modification Systems in Gram-Negative Bacteria

Christian R.H. Raetz,¹ C. Michael Reynolds,¹
M. Stephen Trent,² and Russell E. Bishop³

¹Department of Biochemistry, Duke University Medical Center, Durham, North Carolina 27710; email: raetz@biochem.duke.edu, mikereyn@biochem.duke.edu

²Department of Biochemistry and Molecular Biology, Medical College of Georgia, Augusta, Georgia 30912; email: strent@mcg.edu

³Department of Biochemistry and Biomedical Sciences, McMaster University, Hamilton, Ontario L8N 3Z5, Canada; email: bishopr@mcmaster.ca



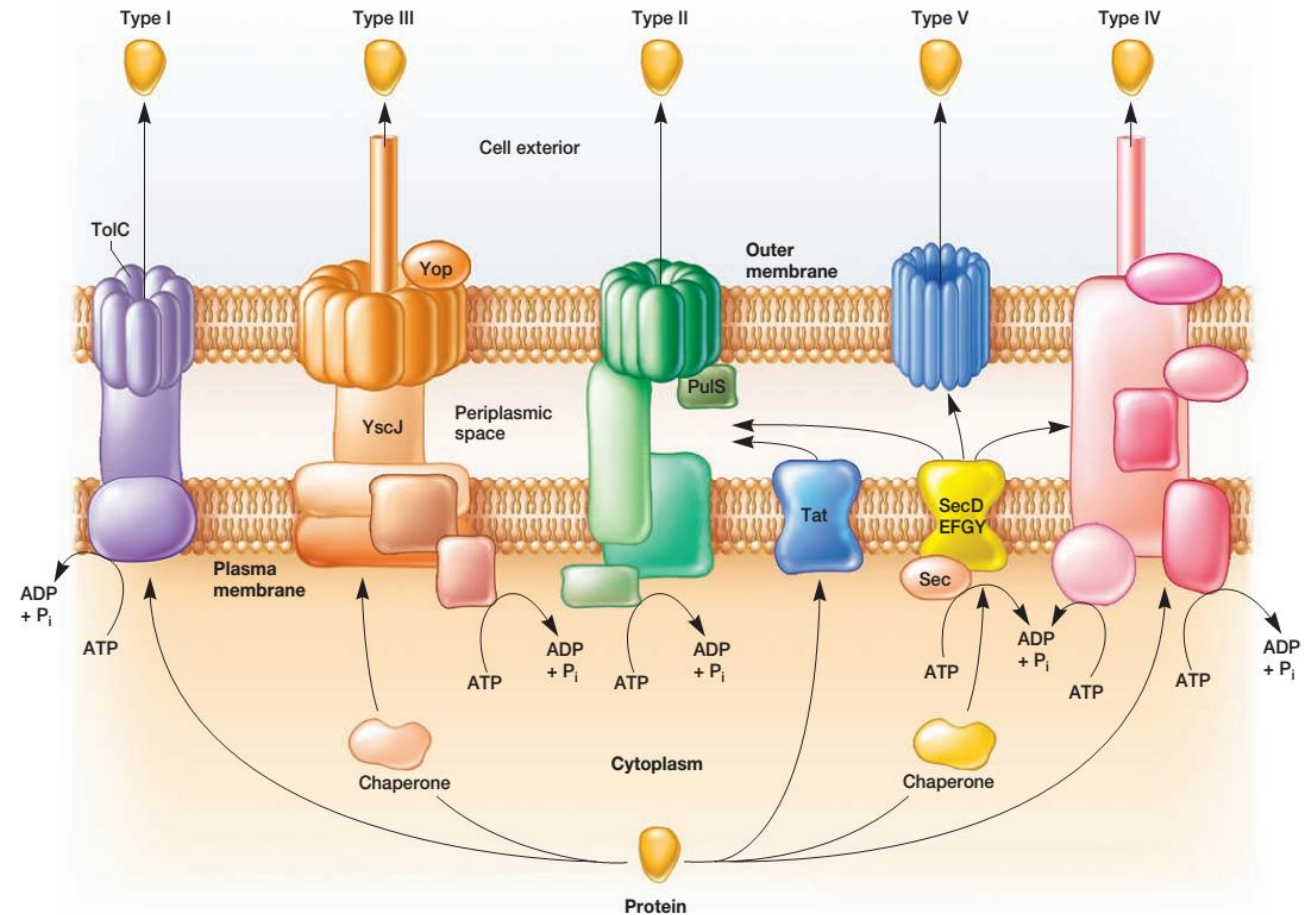
2. 细菌的细胞结构

◆ 外膜蛋白(outer membrane protein)

嵌合在LPS和磷脂层外膜上的蛋白。已知的功能是负责物质转运、分泌及感应环境变化。

细胞外膜上的五种类型的分泌系统，如右图：

- I型分泌途径，也叫ABC分泌途径，枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*) 中包含有77种ABC分泌蛋白；
- II型分泌途径，多见于植物、动物的病原菌，含有12-14种蛋白组分；
- III型分泌途径，主要向寄生的宿主注入毒素；
- IV型分泌途径，在结合作用时从细胞外转入DNA片段；
- V型分泌途径，将蛋白自身转运到外膜。

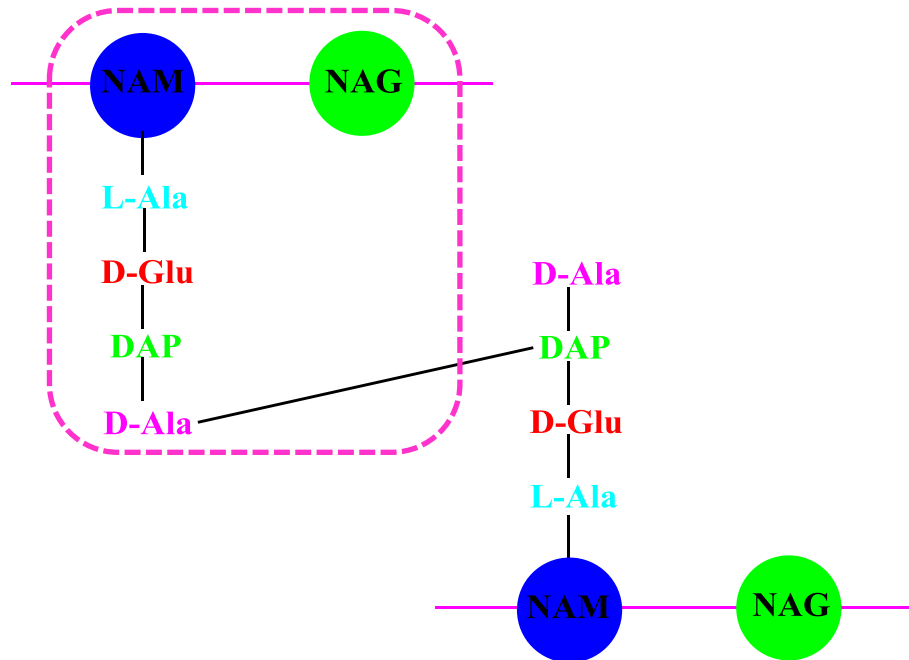


The Protein Secretion Systems of Gram-Negative Bacteria.

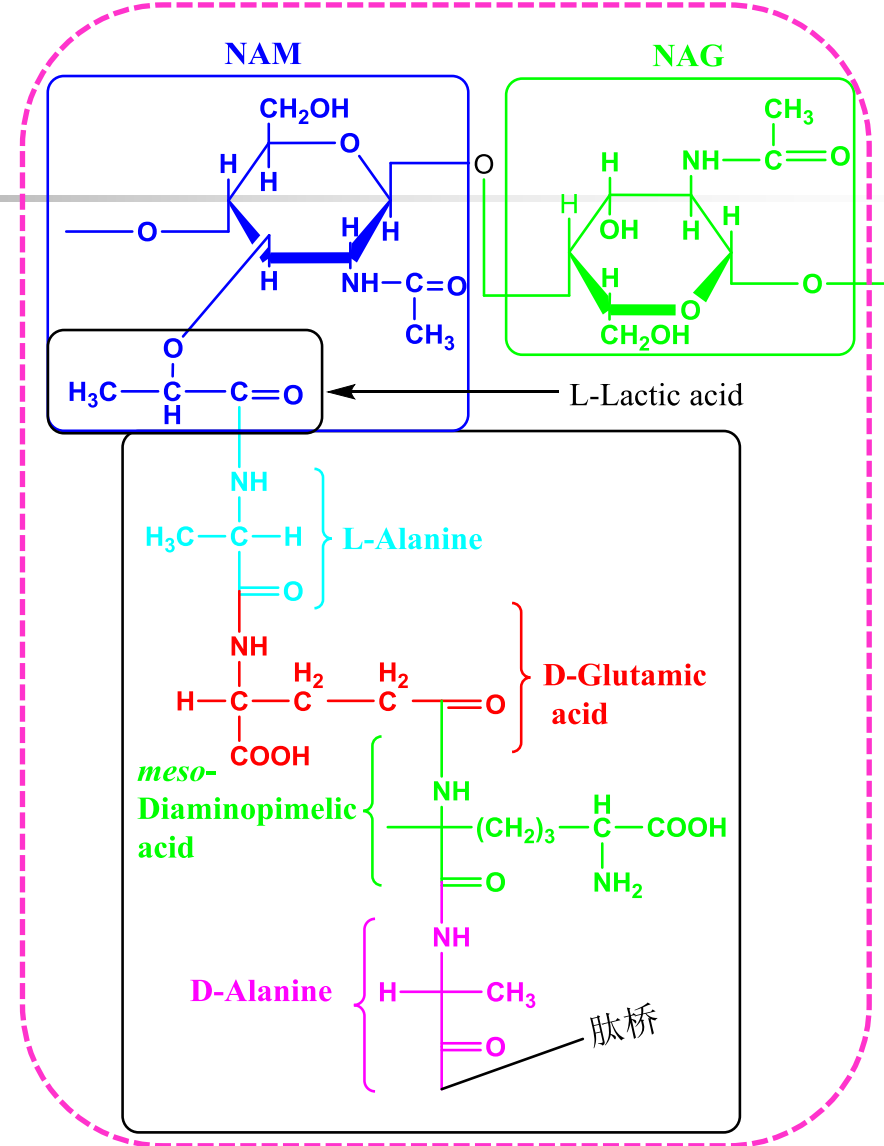


2. 细菌的细胞结构

◆ 肽聚糖层



G⁻ 细菌 *E. coli* 的四肽之间直接连接



肽聚糖的骨架及化学组分



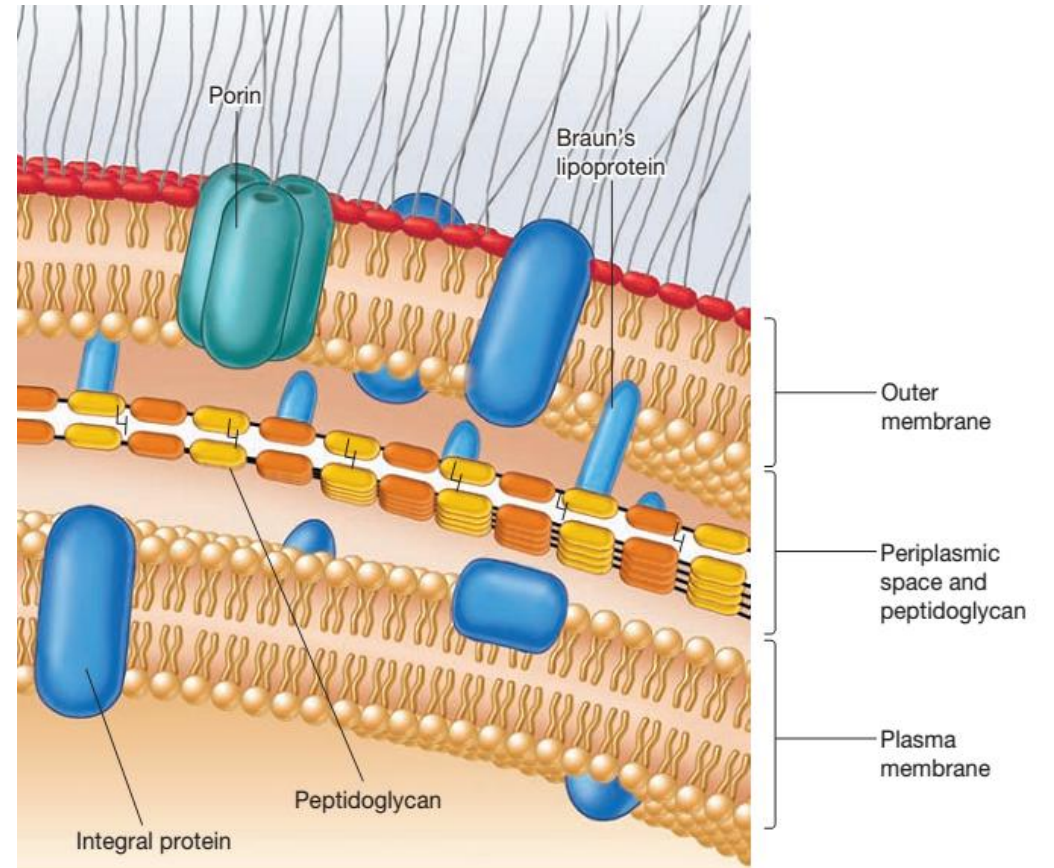
2. 细菌的细胞结构

◆ 周质空间(periplasmic space, periplasm)

又称壁膜间隙。在革兰氏阴性细菌中，一般指其外膜与细胞膜之间的狭窄空间（宽约12~15nm），呈胶状。

- ◆ 在周质空间中，存在着多种周质蛋白（periplasmic proteins）
- ◆ 周质空间是进出细胞的物质的重要中转站和反应场所

水解酶类； 合成酶类； 结合蛋白； 受体蛋白；

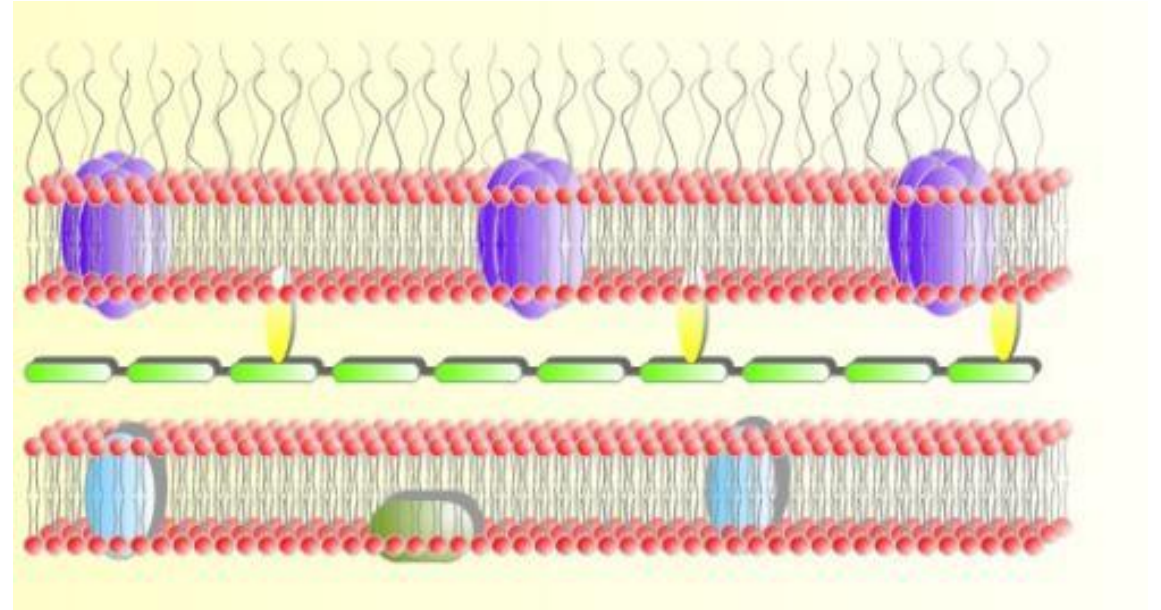




2.细菌的细胞结构

2.1.5 革兰氏阴性菌的细胞壁的结构特点

- 革兰氏阴性菌的细胞壁有两层，肽聚糖层和含有脂多糖的磷脂外膜构成；
- 含有大量的膜蛋白；
- 比起阳性菌的细胞壁，整体上比较薄；
- 革兰氏阴性菌的细胞壁刚性低，柔韧性好；
- 脂溶性好，容易被有机溶剂破坏；
- 细胞壁通透性差，不利于物质的透过，同时也不利于抗生素等小分子透过；
- 脂多糖被称为内毒素，在发酵后的破细胞产物中应予以除去。



革兰氏染色的机理：

结晶紫结合到细胞壁后，和碘结合成网状大分子，当遇到乙醇或丙酮脱色时，细胞壁被溶解，结晶紫-碘释放，当最后遇到沙黄时，细胞呈现红色。



2. 细菌的细胞结构

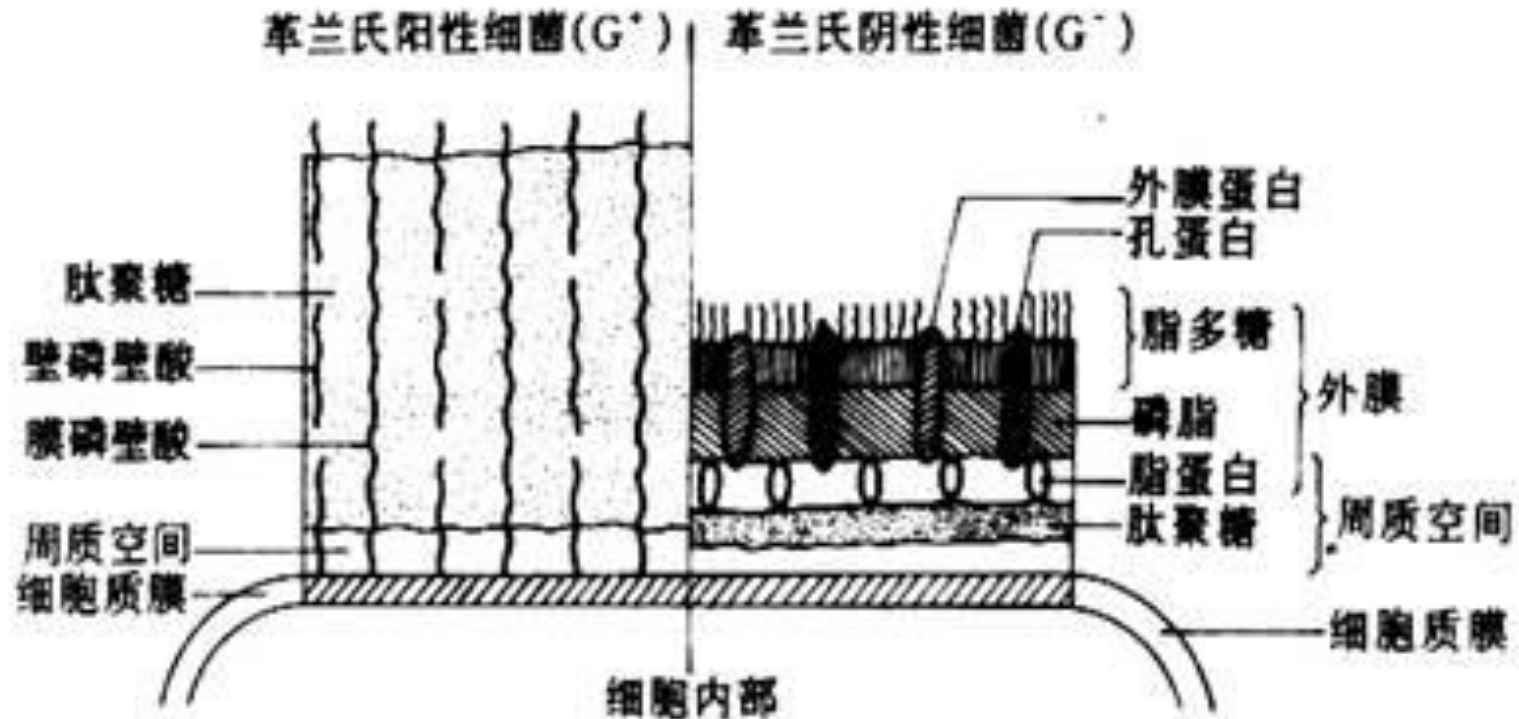


图 3-2 革兰氏阳性和阴性细菌细胞壁构造的比较



2. 细菌的细胞结构

两类细胞壁结构的比较和总结

成分	占细胞壁干重的比例%	
	革兰氏阳性菌	革兰氏阴性菌
肽聚糖	含量很高 (50-90)	含量低 (<10)
磷壁酸	含量较高 (<50)	无
类脂质	一般无 (<2)	含量较高 (≤20)
蛋白质	无	含量较高
产毒素	外毒素为主	内毒素为主
细胞壁机械强度	强	弱
对溶菌酶	敏感	不敏感
对青霉素和磺胺	敏感	不敏感



2. 细菌的细胞结构

2.1.6 特殊细菌的细胞壁

细胞壁中含大量的分枝菌酸等蜡质（结构参见P46）。

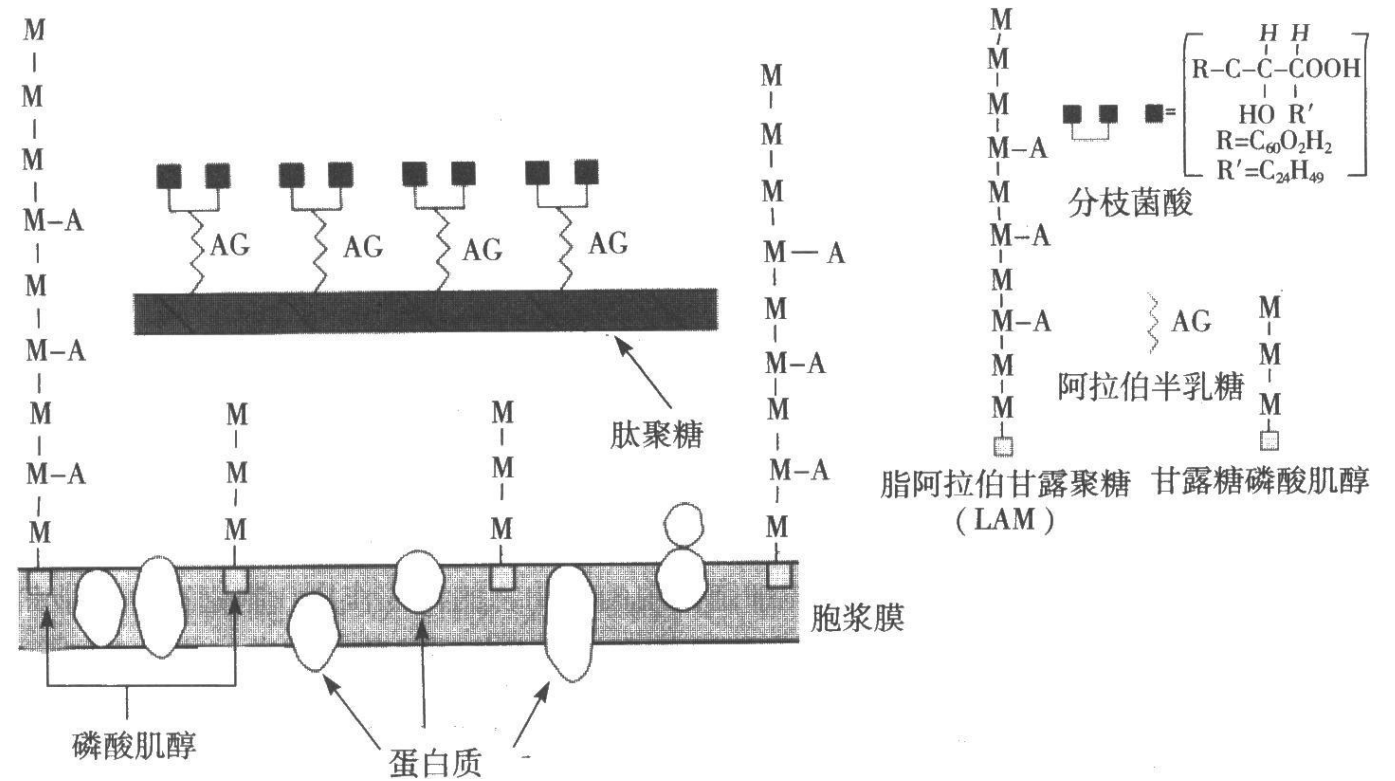
从染色反应结果看，属于革兰氏阳性菌；从结构看，与革兰氏阴性菌相似，故描述为特殊革兰氏阳性菌：

结核分枝杆菌

（*Mycobacteria tuberculosis*）

麻风分枝杆菌

（*Mycobacterium leprae*）



结核分枝杆菌细胞壁结构模式图



古生菌的细胞壁

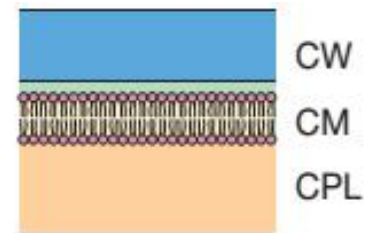
古生菌的细胞壁比较多样化

有些为革兰氏染色阳性

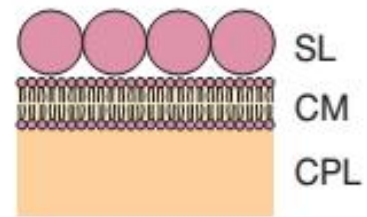
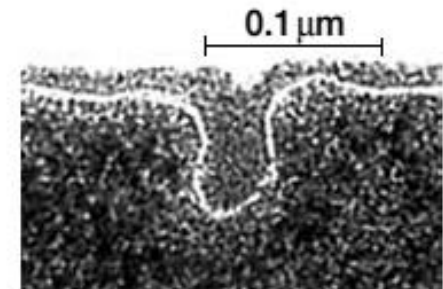
一般含有杂多糖（heteropolysaccharides），含有伪胞壁质（pseudomurein），有1-3糖苷键连接的N-乙酰塔罗糖苷糖醛酸和N-乙酰葡萄糖胺形成的假肽聚糖，肽桥是L-氨基酸。

有些为革兰氏染色阴性

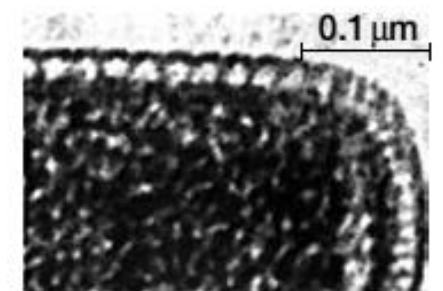
其细胞壁含有蛋白质层，称为S层，有的有两层，每层厚度为20-40nm，有些含有糖蛋白层。



(a)



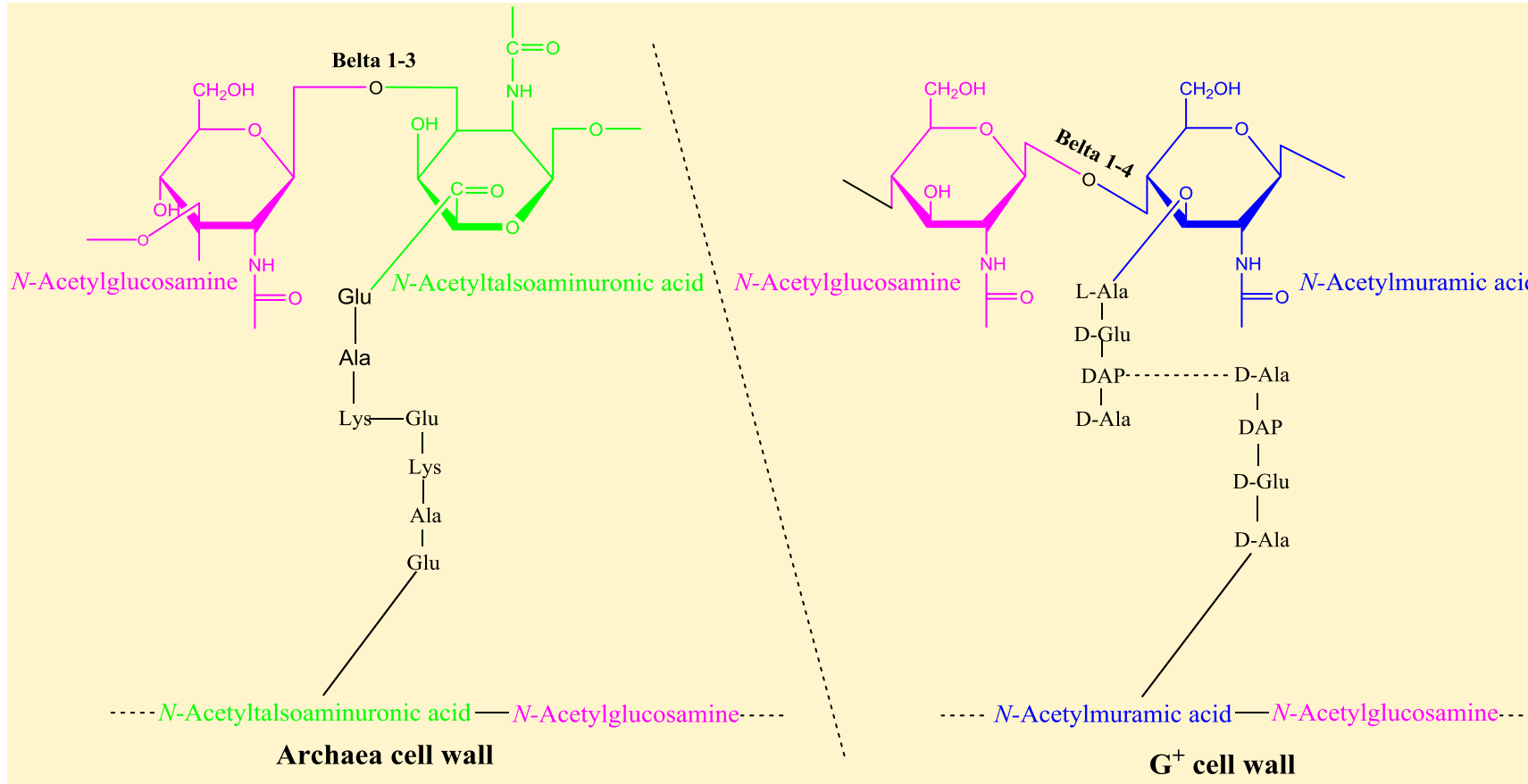
(b)



Cell Envelopes of *Archaea*. Schematic representations and electron micrographs of (a) *Methanobacterium formicicum*, and (b) *Thermoproteus tenax*. **CW**, cell wall; **SL**, surface layer; **CM**, cell membrane or plasma membrane; **CPL**, cytoplasm.



古生菌的假肽聚糖和革兰氏阳性菌的肽聚糖



N-乙酰塔罗糖苷糖醛酸-N-乙酰葡萄糖胺

N-乙酰胞壁酸-N-乙酰葡萄糖胺



2.细菌的细胞结构

参见P16

◆ 细胞壁的功能

- 固定细胞外形和提高机械强度；
- 为细胞的生长、分裂和鞭毛运动所必需；
- 渗透屏障，阻拦酶蛋白和某些抗生素等大分子物质进入细胞，保护细胞免受有害物质的损伤；
- 细菌特定的抗原性、致病性以及对抗生素和噬菌体的敏感性的物质基础；



缺壁细菌

细胞壁缺陷细菌:

◆ L型细菌 (L-form of bacteria)

细菌在某些环境条件下（实验室或宿主体内）通过自发突变而形成的遗传性稳定的细胞壁缺陷变异型。

（因英国李斯德（Lister）预防研究所首先发现而得名，1935年在念珠状链杆菌发现，后来在大肠杆菌、变形杆菌、葡萄球菌、链球菌、分枝杆菌和霍乱弧菌等20多种细菌中均有发现）

特点

- ◆ 没有完整而坚韧的细胞壁，细胞呈多形态；
- ◆ 有些能通过细菌滤器，故又称“滤过型细菌”；
- ◆ 对渗透敏感，在固体培养基上形成“油煎蛋”似的小菌落（直径在0.1mm左右）。



Joseph Lister (1827~1912)
外科手术消毒的创始人

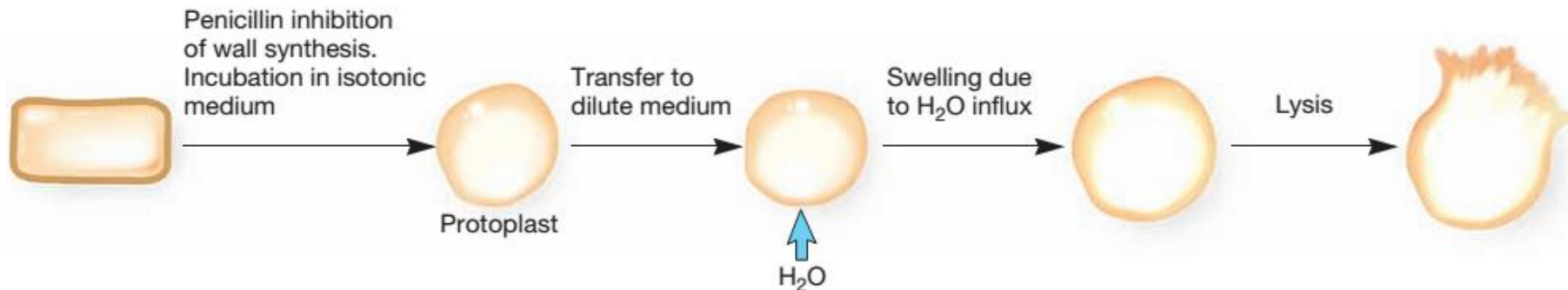


缺壁细菌

◆ 原生质体 (protoplast) 特点:

在人为条件下,用溶菌酶处理或在含青霉素的培养基中培养而抑制新生细胞壁合成而形成的仅由一层细胞膜包裹的,圆球形、对渗透压变化敏感 的细胞,一般由革兰氏阳性细菌形成。

- ◆ 对环境条件变化敏感,低渗透压、振荡、离心甚至通气等都易引起其破裂;
- ◆ 有的原生质体具有鞭毛,但不能运动,也不被相应噬菌体所感染;
- ◆ 在适宜条件(如高渗培养基)可生长繁殖、形成菌落,形成芽孢。及恢复成有细胞壁的正常结构。
- ◆ 比正常有细胞壁的细菌更易导入外源遗传物质,是研究遗传规律和进行原生质体育种的良好实验材料。

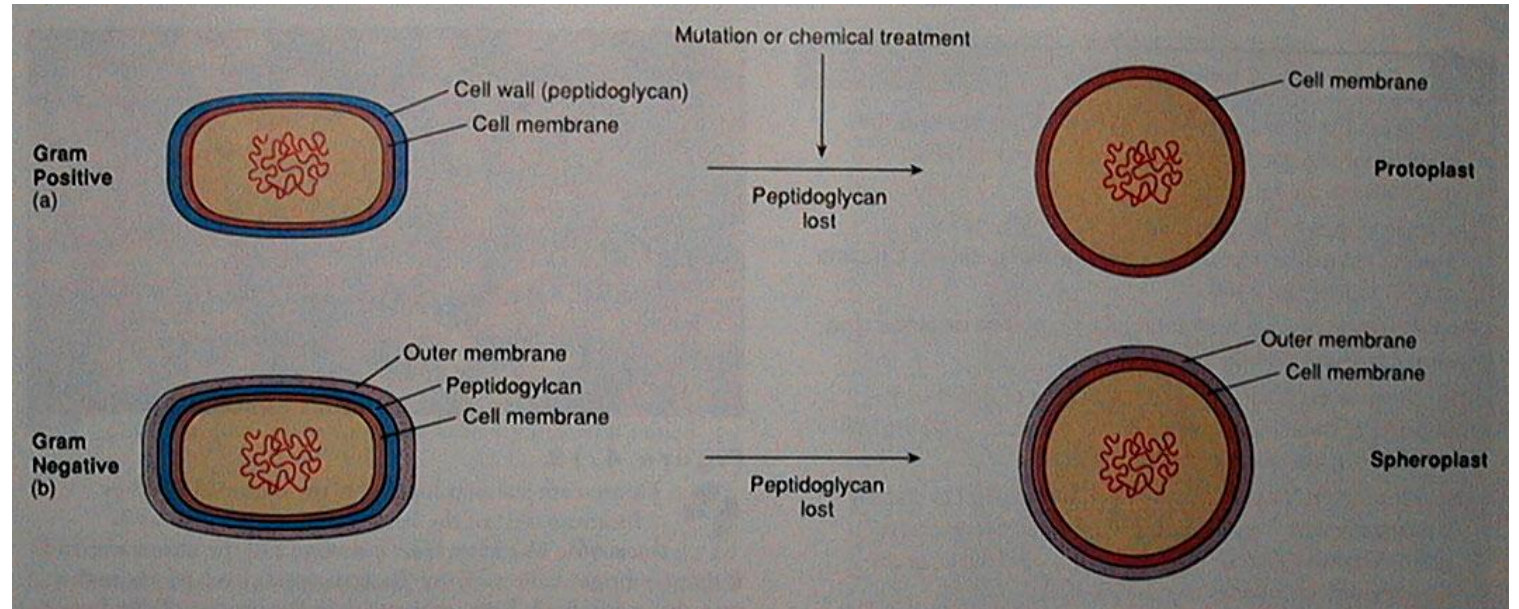




缺壁细菌

◆ 球状体(sphaeroplast) ， 又称原生质球

采用上述同样方法，针对革兰氏阴性细菌处理后而获得的残留部分细胞壁（外壁层）的球形体。与原生质体相比，它对外界环境具有一定的抗性，可在普通培养基上生长。

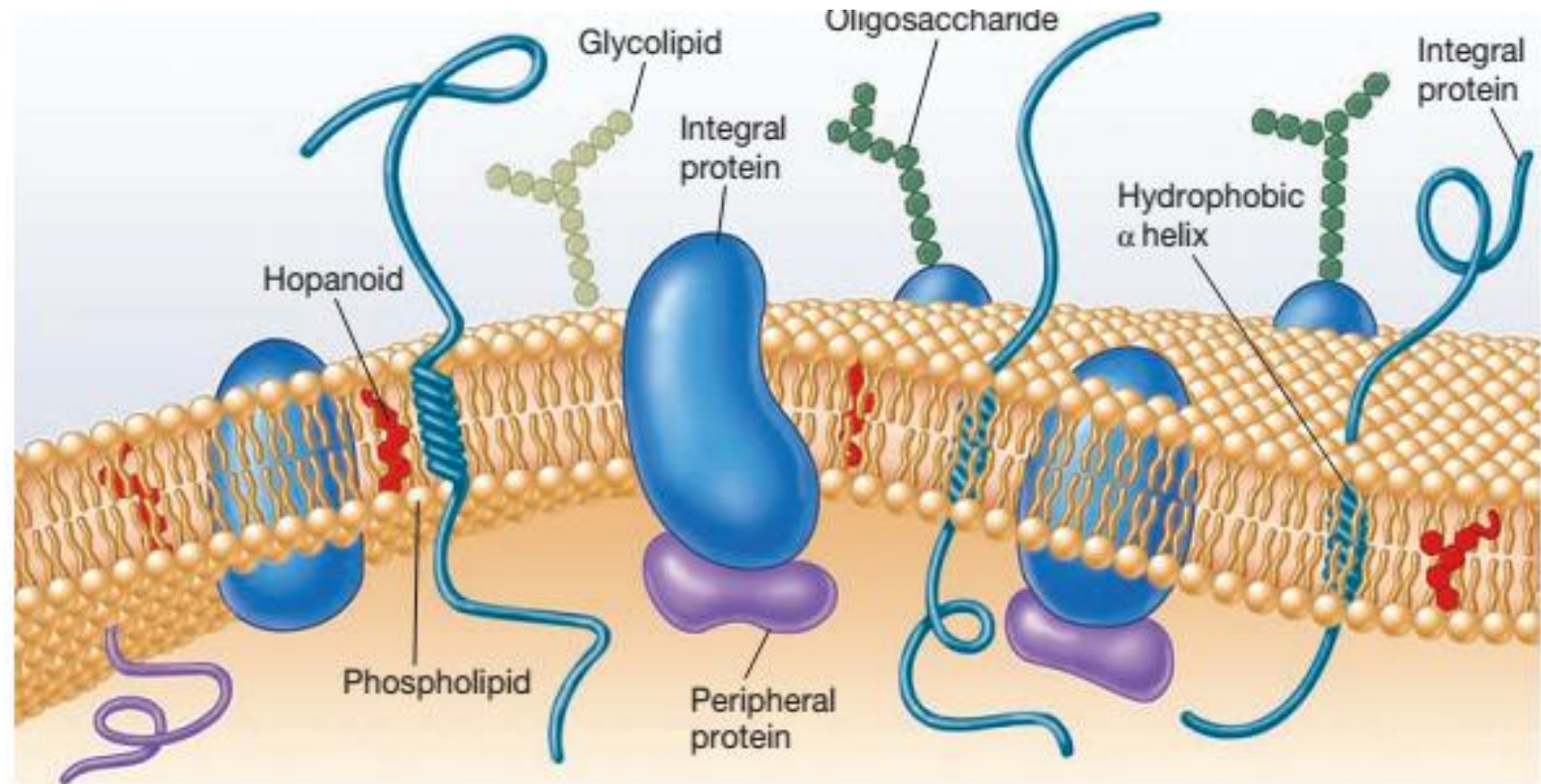




2. 细菌的细胞结构

2.2 细胞膜 (membrane)

细胞质膜又称质膜、细胞膜或内膜，是紧贴在细胞壁内侧、包围着细胞质的一层柔软、脆弱、富有弹性的半透性薄膜，厚约7~8nm，由磷脂（占20%~30%）和蛋白质（占50%~70%）组成。



细菌细胞膜的流动镶嵌模型.含有何帕烷类 **hopanoids (red)**



2. 细菌的细胞结构

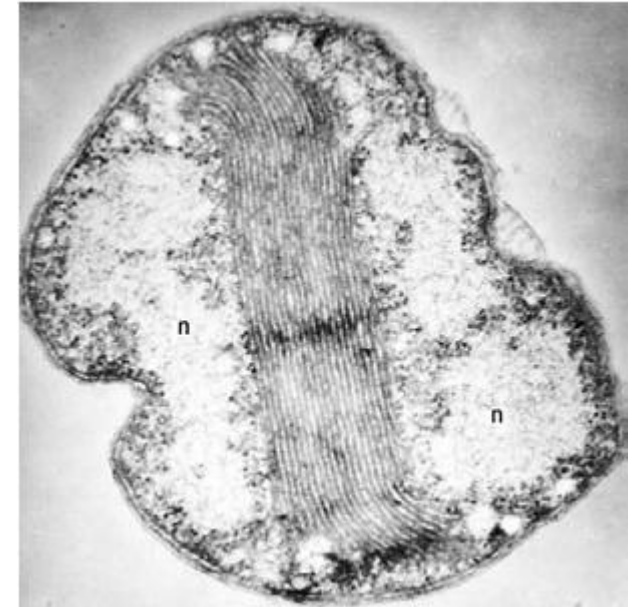
2.2 细胞膜 (membrane)

观察方法:

- ◆ 质壁分离后结合鉴别性染色在光学显微镜下观察;
- ◆ 原生质体破裂;
- ◆ 超薄切片电镜观察; 电镜观察到的细胞质膜, 是在上下两暗色层之间夹着一浅色中间层。



动外硫红螺菌
Ectothiorhodospira mobilis



海洋硝化囊菌
Nitrocystis oceanus



2. 细菌的细胞结构

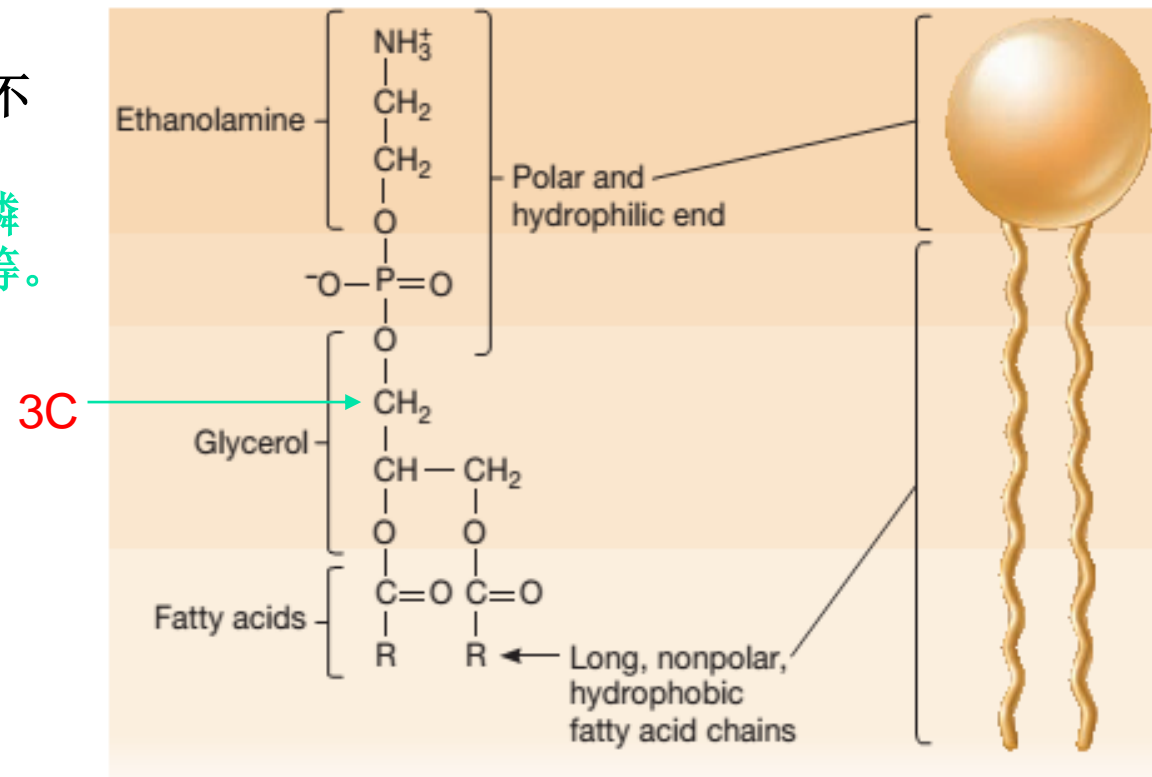
2.2 细胞膜 (membrane)

极性头的甘油3C上，不同种微生物具有不同的R基：

磷脂酸、磷脂酰甘油、磷脂酰乙醇胺、磷脂酰胆碱、磷脂酰丝氨酸或磷脂酰肌醇等。

非极性尾则由长链脂肪酸通过酯键连接在甘油的C1和C2位上组成。

- ◆ 其链长和饱和度因细菌种类而异；
- ◆ 其链饱和度因细菌生长的温度而异。

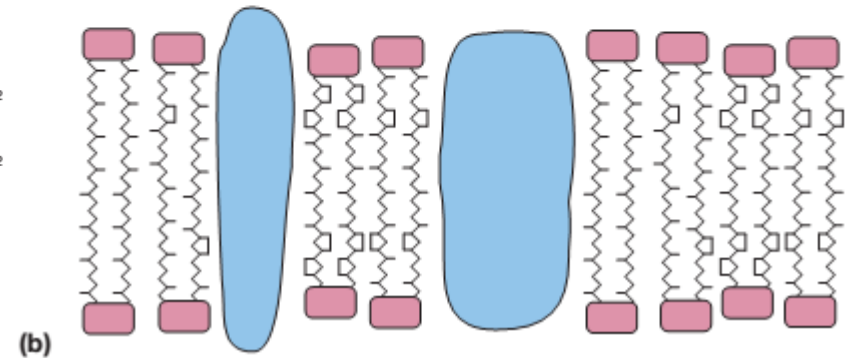
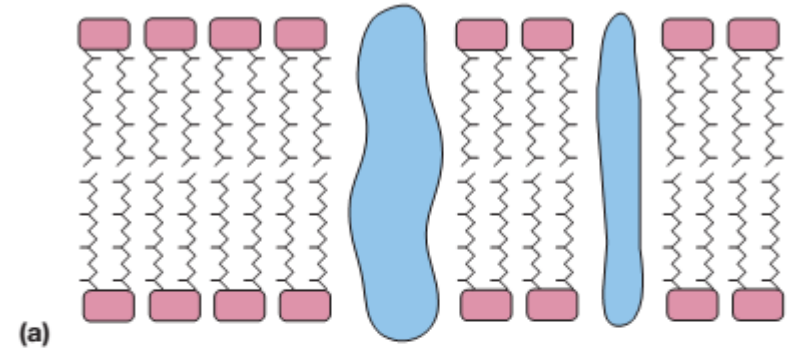
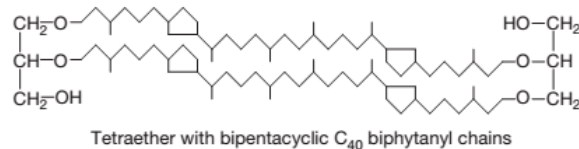
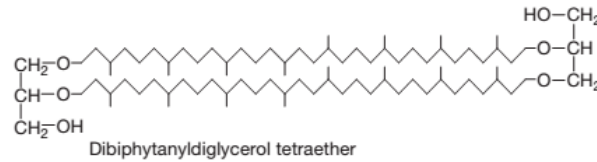
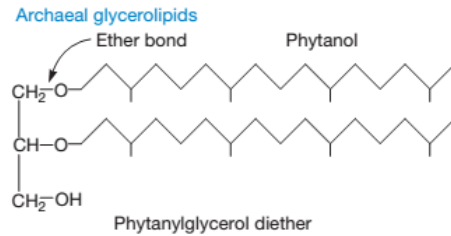
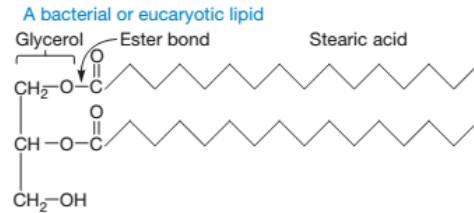




2. 细菌的细胞结构

细菌和古菌的细胞膜比较:

- 甘油和脂肪链之间是**酯键**，古生菌是**醚键**；
- 细菌的脂肪链有**不饱和键**，古菌都是**饱和键**；
- 细菌细胞膜是**双层膜**，有些古菌是**单层或单双交替的细胞膜**





2. 细菌的细胞结构

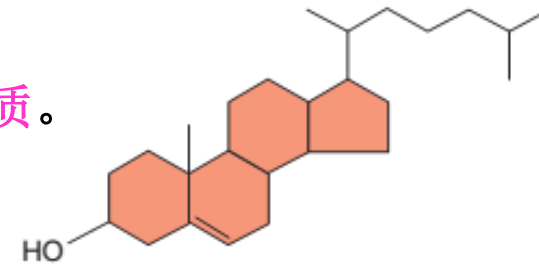
参见 P 51

◆ 无甾醇类物质 (steroid) :

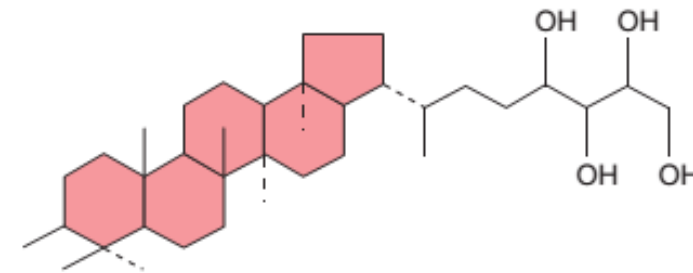
原核生物与真核生物的区别就是其细膜中一般不含甾醇类物质。支原体例外。

- 原核生物的细胞膜中含有何帕烷类 (Hopanoids) 而无甾醇类物质，是石油生成的主要来源之一。
- 真核生物细胞膜中一般含有胆固醇 (steroid) 等甾醇而无何帕烷类，含量为5%-25%。双分子膜中加入甾醇类物质可以提高膜的稳定性。

多烯类 (polyene antibiotics) 抗生素可破坏含甾醇的细胞膜。



(a) Cholesterol (a steroid) is found in eucaryotes



(b) A bacteriohopanetetrol (a hopanoid), as found in bacteria



2. 细菌的细胞结构

◆ 细胞膜的生理功能：（参见P 24）

- 选择性地控制细胞内、外的营养物质和代谢产物的运送；
- 维持细胞内正常渗透压的屏障；
- 合成细胞壁和糖被的各种组分（肽聚糖、磷壁酸、**LPS**、荚膜多糖等）的重要基地；
- 膜上含有氧化磷酸化或光合磷酸化等能量代谢的酶系，是细胞的产能场所；
- 是鞭毛基体的着生部位和鞭毛旋转的供能部位



2. 细菌的细胞结构

3. 细胞质 (cytoplasm)

指被细胞质膜包围的除核区外的一切半透明、胶状、颗粒状物质的总称，含水量约70%。

◆ 细胞质的主要成分为：

细胞骨架、核糖体、贮藏物、多种酶类和中间代谢物、质粒、各种营养物质和大分子的单体等，少数细菌还有类囊体、羧酶体、气泡或伴孢晶体等。



2. 细菌的细胞结构

3.1 细胞骨架 (prokaryotic cytoskeleton)

指微丝 (microfilaments)、中间丝 (intermediate filaments)、微管 (microtubules) 三部分构成的骨架结构, 以维持细胞内微环境的稳定有序。在古生菌也有发现。

功能

- 参与细胞分裂;
- 蛋白定位;
- 决定细胞形态。

Table 3.2 Prokaryotic Cytoskeletal Proteins		
Prokaryotic Protein (Eucaryotic Counterpart)	Function	Comments
FtsZ (tubulin)	Cell division	Widely observed in <i>Bacteria</i> and <i>Archaea</i>
MreB (actin)	Cell shape	Observed in many rod-shaped bacteria; in <i>Bacillus subtilis</i> is called Mbl
Crescentin (intermediate filament proteins)	Cell shape	Discovered in <i>Caulobacter crescentus</i>

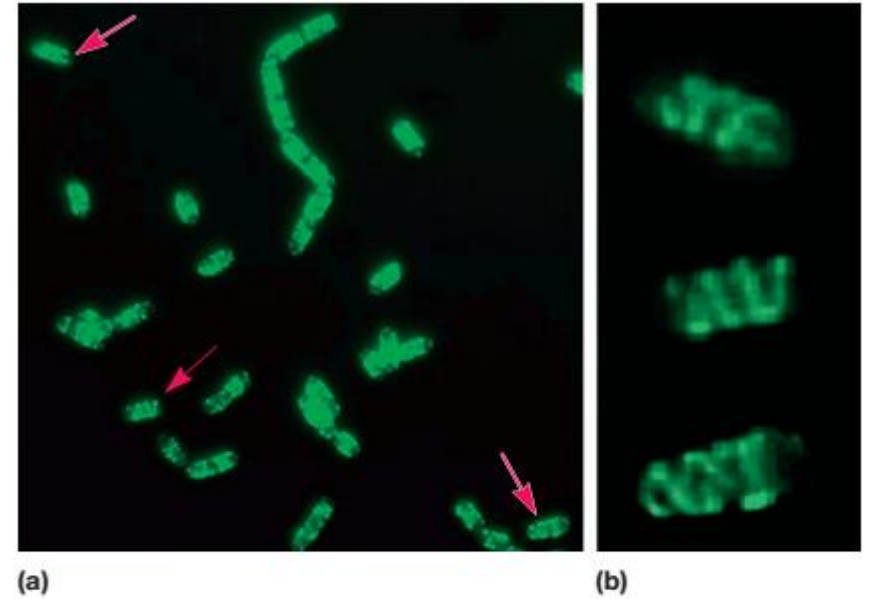


Figure 3.12 The Prokaryotic Cytoskeleton. Visualization of the MreB-like cytoskeletal protein (Mbl) of *Bacillus subtilis*. The Mbl protein has been fused with green fluorescent protein and live cells have been examined by fluorescence microscopy. (a) Arrows point to the helical cytoskeletal cables that extend the length of the cells. (b) Three of the cells from (a) are shown at a higher magnification.



2. 细菌的细胞结构

(参见P53)

3.2. 包涵体 (inclusion bodies) :

染色后光镜可见的不溶性的颗粒状结构，包括有碳源、氮源、磷源和能源，气泡和液泡。

包涵体

碳源及能源类

糖原：大肠杆菌、克雷伯氏菌、芽孢杆菌和蓝细菌等

聚 β -羟丁酸 (PHB)：固氮菌、产碱菌和肠杆菌等

硫粒：紫硫细菌、丝硫细菌、贝氏硫杆菌等

氮源类：藻青素、藻青蛋白：蓝细菌

磷源 (异染粒)：迂回螺菌、白喉棒杆菌、结核分枝杆



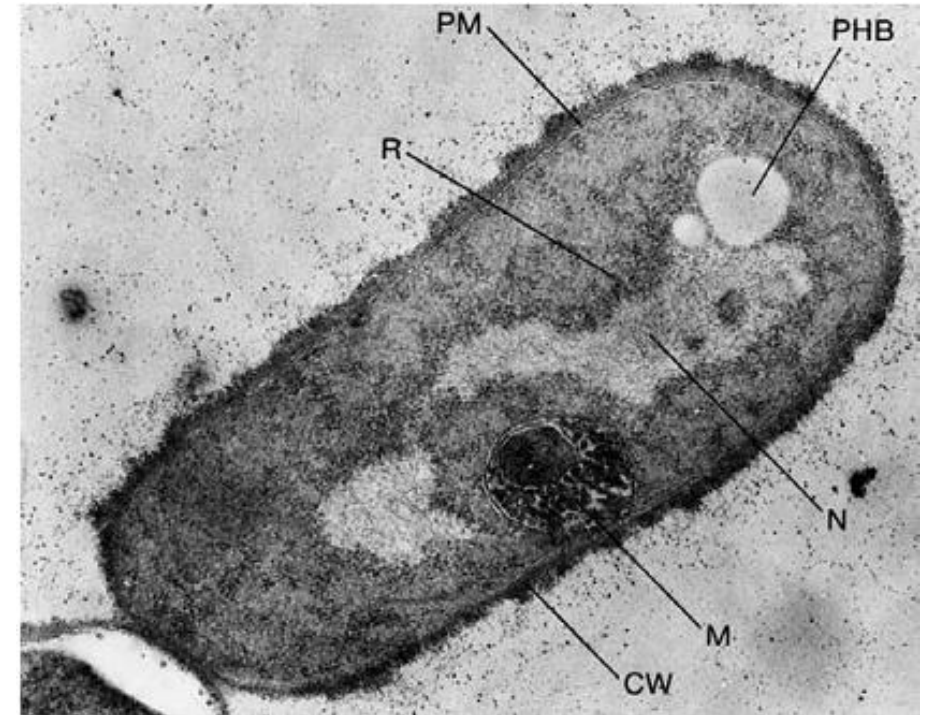
2. 细菌的细胞结构

◆ 聚-β-羟丁酸(poly-β-hydroxybuty PHB)

属于碳源类贮藏物。

- 它无毒、可塑、易降解，被认为是生产医用塑料、生物降解塑料的良好原料。
- PHB于1929年被发现，至今已发现60属以上的细菌能合成并贮藏。
- 巨大芽孢杆菌在含乙酸或丁酸的培养基中生长时，细胞内贮藏的PHB可达其干重的60%。

Electron micrograph of *Bacillus megaterium* (30,500). Poly-β-hydroxybutyrate inclusion body, PHB; cell wall, CW; nucleoid, N; plasma membrane, PM; esosome, M; and ribosomes, R.





2. 细菌的细胞结构

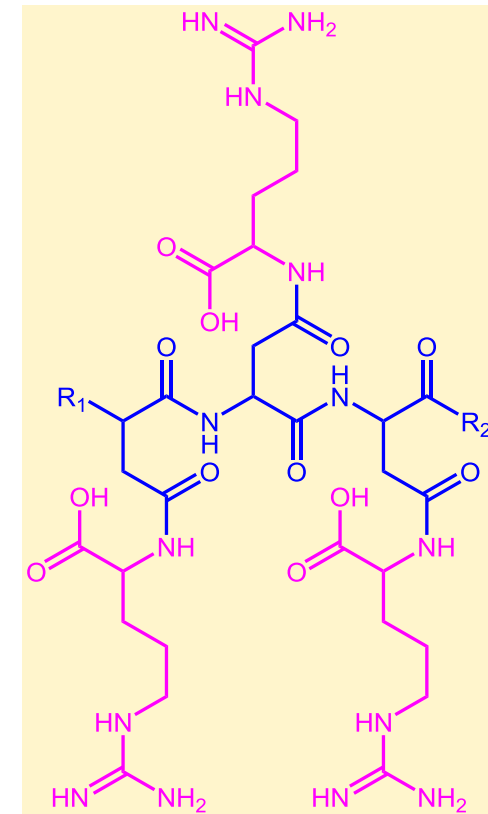
◆ 多糖类贮藏物

- 糖原粒
- 淀粉粒

在真细菌中以糖原为多，糖原粒较小，不染色需用电镜观察，用碘液染成褐色，可在光学显微镜下看到。有的细菌积累淀粉粒，用碘液染成深兰色。

◆ 藻青素 (cyanophycin)

由天冬氨酸和精氨酸以等量的形式形成的多肽，是内源性氮源贮藏物，同时还兼有贮存能源的作用。通常存在于蓝细菌中。右图为蓝细菌中的藻青素。

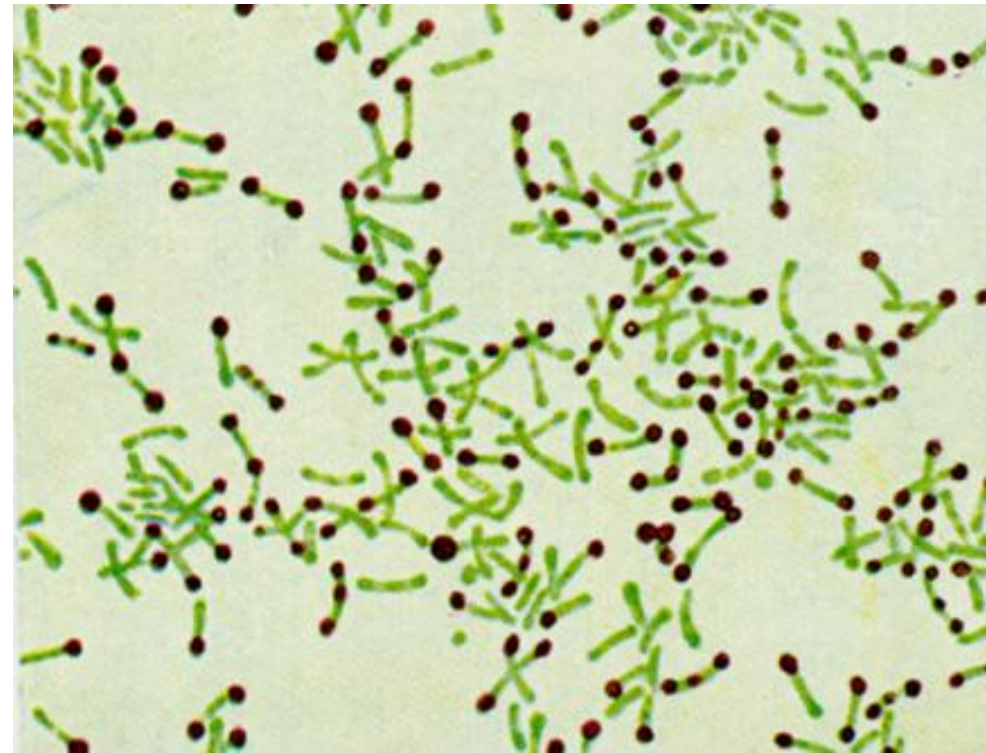


藻青素的结构单元



2. 细菌的细胞结构

◆ 异染粒(metachromatic granules)
颗粒大小为 $0.5\sim 1.0\mu\text{m}$ ，是无机偏磷酸的聚合物，一般在含磷丰富的环境下形成。可被美蓝或甲苯胺蓝染成红紫色。功能是贮藏磷元素和能量，并可降低细胞的渗透压。右图显示的是棒状杆菌中的异染颗粒

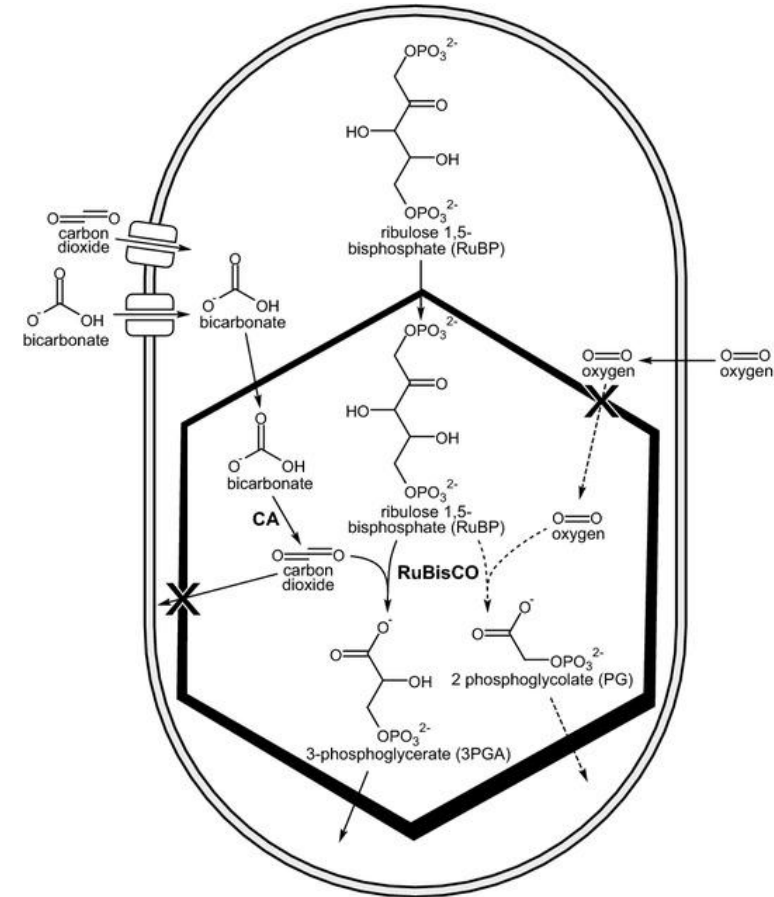
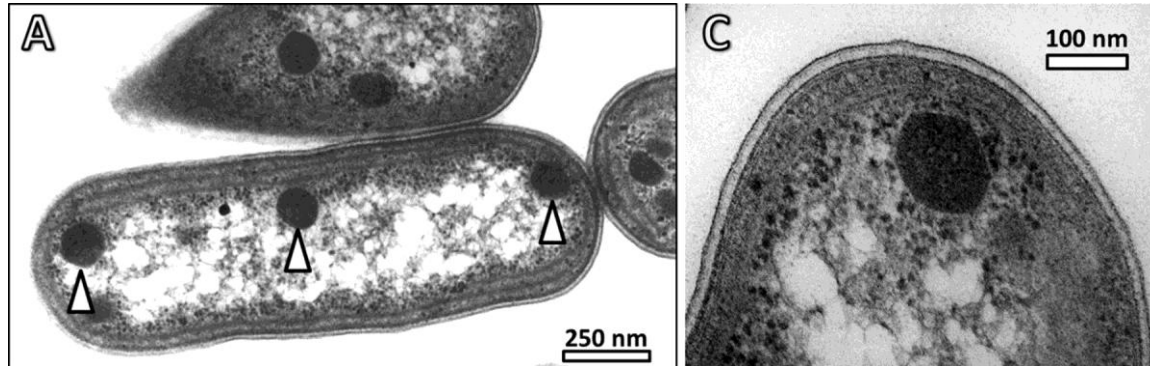




2. 细菌的细胞结构

◆ 羧酶体(carboxysomes)

一些自养细菌细胞内的多角形或六角形内含物其大小约10nm，内含1,5-二磷酸核酮糖羧化酶，在自养细菌的CO₂固定中起着关键作用. 下图中的黑色的颗粒.





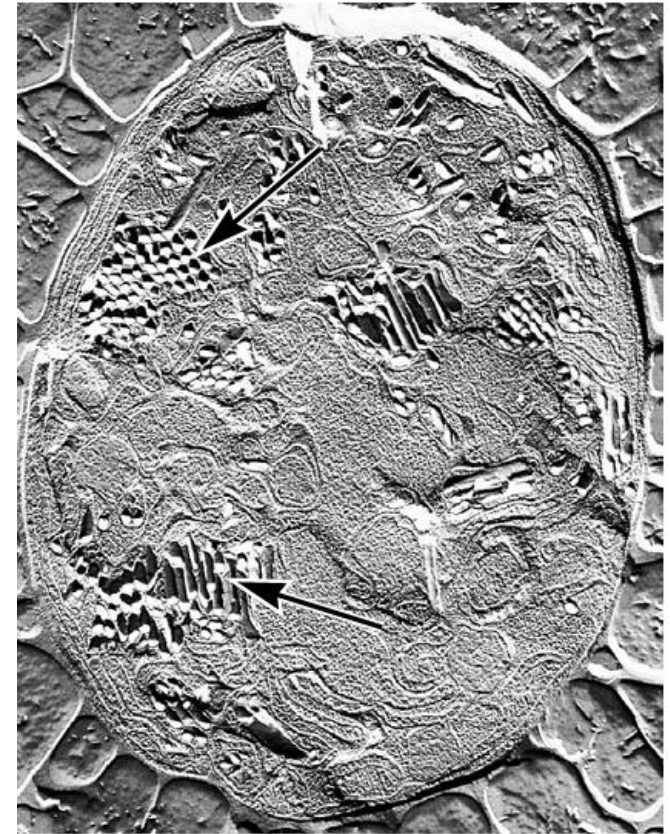
2. 细菌的细胞结构

◆ 气泡 (gas vacuoles)

许多光合营养型、无鞭毛运动的水生细菌中存在的充满气体的泡囊状内含物，大小为 $0.2\sim 1.0\mu\text{m}\times 75\text{nm}$ ，内由数排柱形小空泡组成，外有 2nm 厚的蛋白质膜包裹。

功能：调节细胞比重以使细胞漂浮在最适水层中获取光能、 O_2 和营养物质。

Figure 3.14 Gas Vesicles and Vacuoles. A freeze-fracture preparation of *Anabaena flosaquae* ($\times 89,000$). Clusters of the cigar-shaped vesicles form gas vacuoles. Both longitudinal and cross-sectional views of gas vesicles can be seen (arrows).



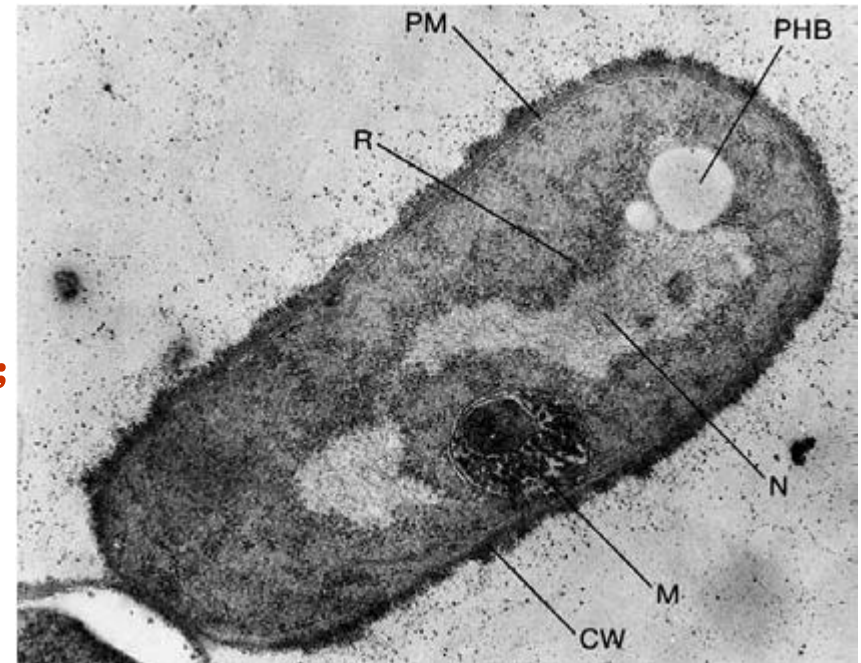


2. 细菌的细胞结构

储藏物的特点及生理功能:

- 不同微生物其储藏性内含物不同;
- 微生物合理利用营养物质的一种调节方式;
- 储藏物以多聚体的形式存在, 有利于维持细胞内环境的平衡, 避免不适合的pH, 渗透压等的危害。

储藏物在细菌细胞中大量积累, 还可以被人们利用。





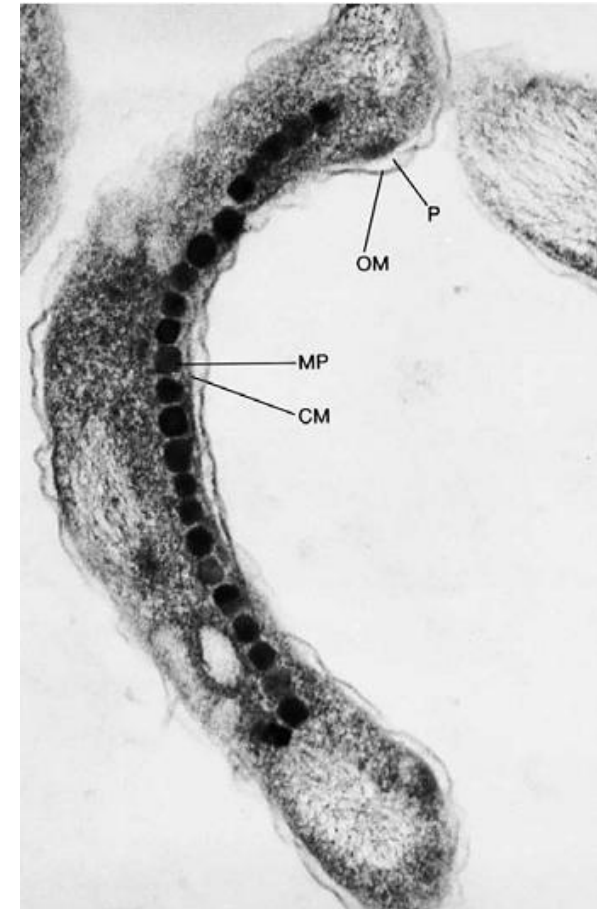
2. 细菌的细胞结构

3.3 磁小体(magnetosome)

- 趋磁细菌细胞中含有的大小均匀、数目不等的 Fe_3O_4 颗粒，外有一层磷脂、蛋白或糖蛋白膜包裹。
- 功能是导向作用，即借鞭毛游向对该菌最有利的泥、水界面微氧环境处生活。

右图是细菌 *Aquaspirillum magnetotacticum* (x123,000) 磁小体MP

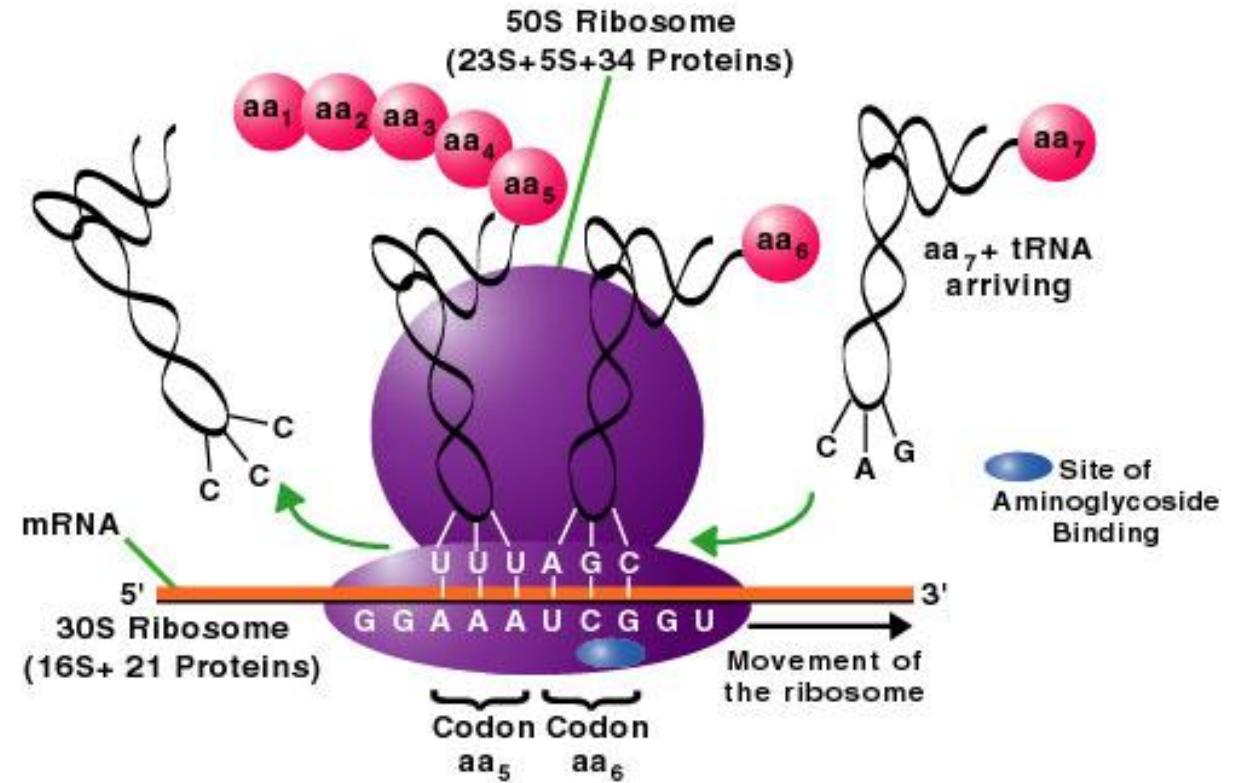
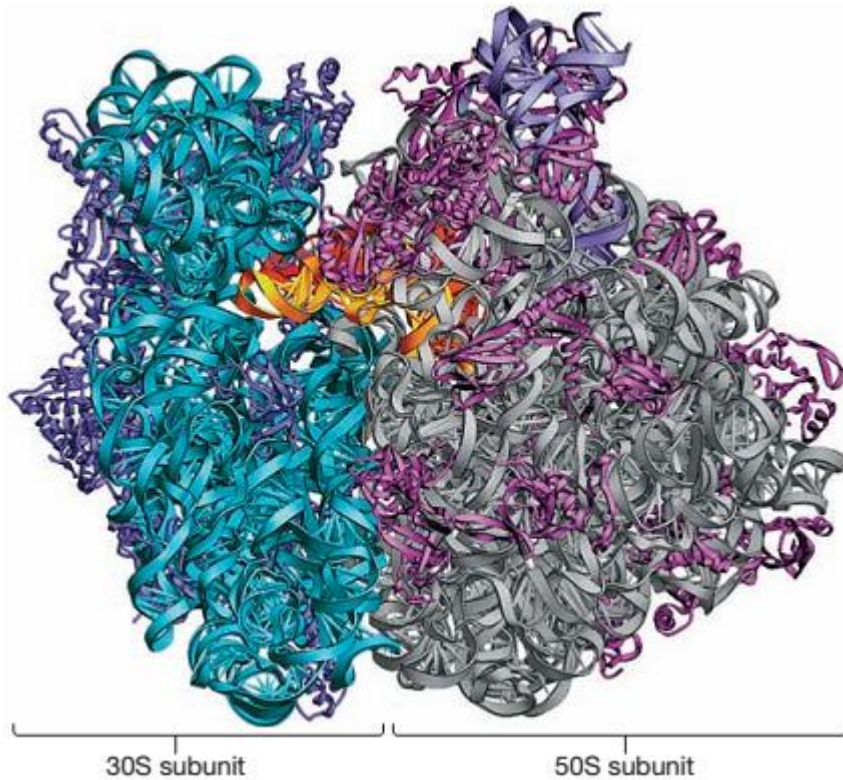
实用前景，包括生产磁性定向药物或抗体，以及制造生物传感器等





2. 细菌的细胞结构

3.4 核糖体 (ribosome)





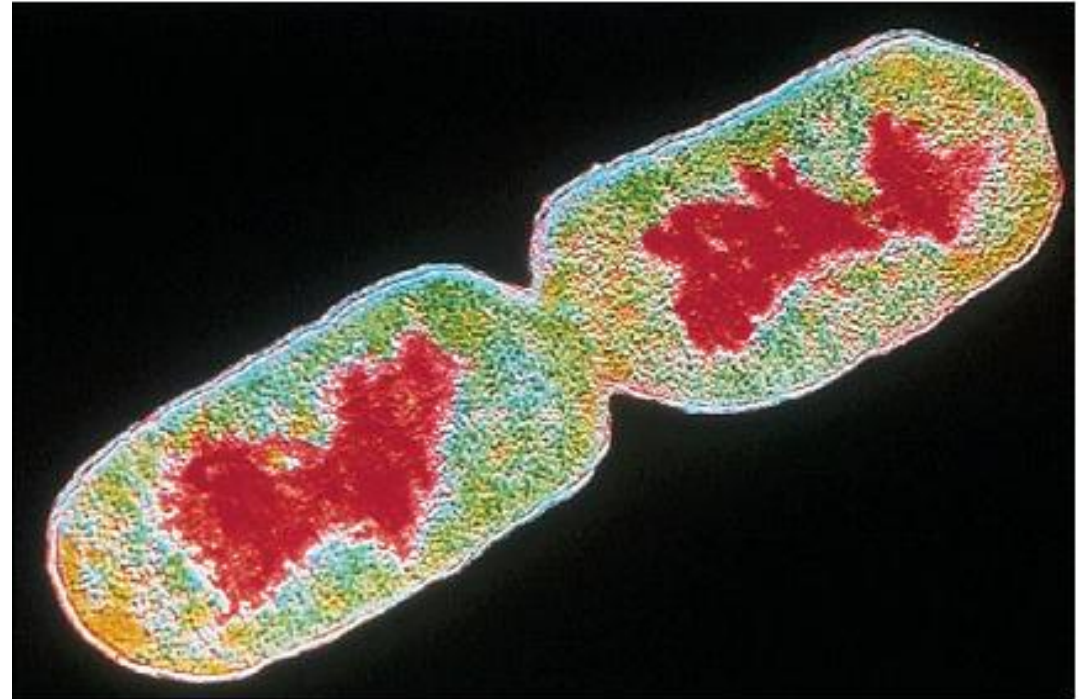
细菌的细胞结构

3.5 核区 (nuclear region or area)

原核生物绝大部分没有细胞核，DNA集中在无核膜结构、无固定形态的核区,也叫拟核 (nucleoid) 或染色质体 (chromatin body)。

- 大部分的单细胞原核微生物的DNA是环状的，如大肠杆菌等；
- 个别是线性的，如霍乱弧菌 (*Vibrio cholerae*)，伯氏疏螺旋体菌 (*Borrelia burgdorferi*)；
- 多细胞的丝状微生物如放线菌的DNA是线性的。

原核生物的基因组绝大多数是单倍体。



a)

0.5 μm



2. 细菌的细胞结构

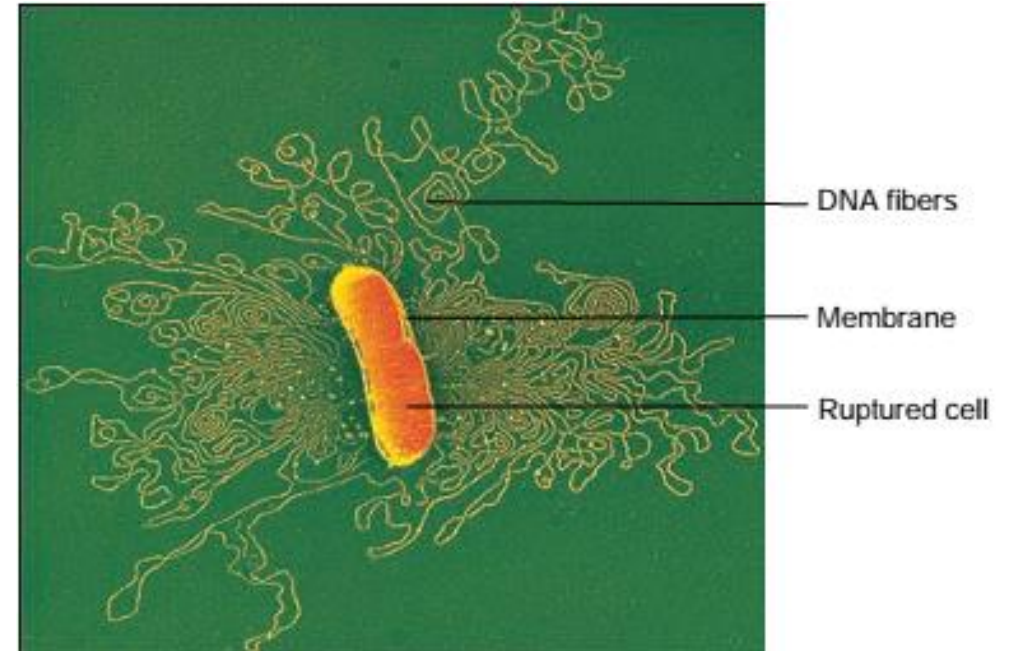
◆ 拟核的特点

组成:

- 原核微生物的拟核中，按重量比例，大约 60% 为DNA, 30% 为RNA, 最后 10% 是protein。

包装:

- 在细菌和古生菌中，在RNA和一些核蛋白的协助下，DNA被高度有序地包装起来，形成紧密浓缩的形态，通常也叫染色体，成为原核生物的基因组；
- 原核的染色体的包装不是组蛋白，而是组蛋白类的、非常保守的蛋白质。右图为轻柔裂解的大肠杆菌释放出的染色体DNA电镜照片。



在上图中，DNA的长度约为1,400um, 大约是细胞体长的230-700倍。

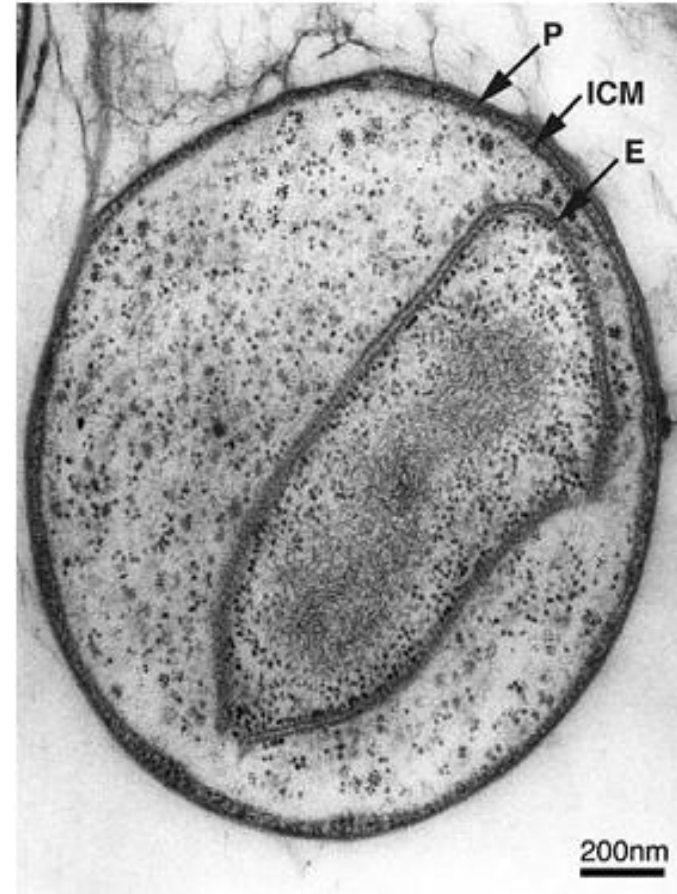


2. 细菌的细胞结构

例外:

在个别的细菌中，现在也发现有核膜，如在浮霉菌门（*Planctomycetes*）的细菌 *Gemmata obscuriglobus* 中有单层的核膜存在。

An electron micrograph of *Gemmata obscuriglobus* showing the nuclear body envelope (E).

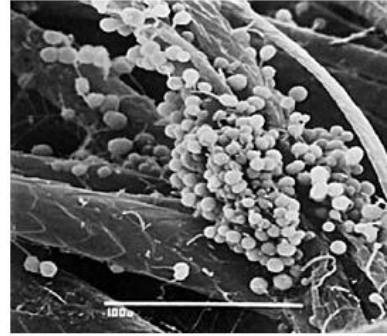




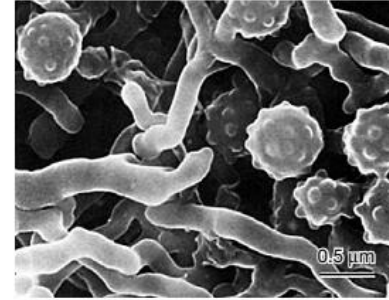
2. 细菌的细胞结构

3.6 孢子 (spore)

- 孢子是放线菌的繁殖细胞，是由气生菌丝分化而来的细胞结构，每个孢子都可以生长分化为一株细菌；
- 孢子通常成串排列成特定的形态结构，成为孢子丝；
- 孢子丝的形态，孢子的表面形态，是放线菌分类的依据之一。
- 真菌的繁殖细胞也叫孢子。



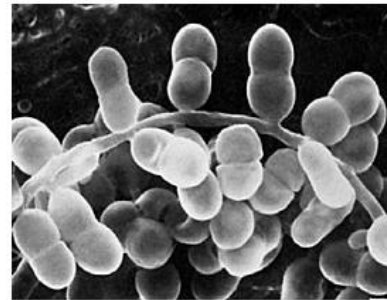
(a)



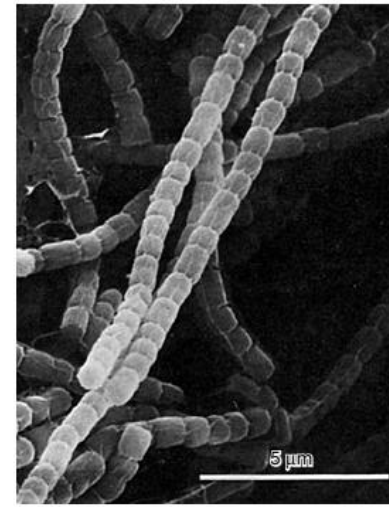
(b)



(c)



(d)



(e)

Figure 24.3 Examples of Actinomycete Spores as Seen in the Scanning Electron Microscope. (a) Spores of *Pilimelia columellifera* on mouse hair ($\times 520$). (b) *Micromonospora echinospora*. (c) A chain of hairy streptomycete spores. (d) *Microbispora rosea*, paired spores on hyphae. (e) Aerial spore chain of *Kitasatospora setae*.



2. 细菌的细胞结构

3.7 芽孢 (endospore)

一些革兰氏阳性菌产生的抗逆性极强的特殊的休眠体结构，称为芽孢，也叫内生孢子。

- 芽孢构造如右图：从外到内依次为：芽孢外壁，芽孢衣，皮层，芽孢壁，芽孢核区，核糖体。
- 芽孢质除了DNA、RNA及酶外，含有大量的皮考林二羧酸-钙 (DPA-Ca)。
- 芽孢的有无、形态、大小和着生位置是细菌分类鉴定的重要指标；
- 细菌如枯草芽孢杆菌是研究单细胞微生物发育分化的模式菌。

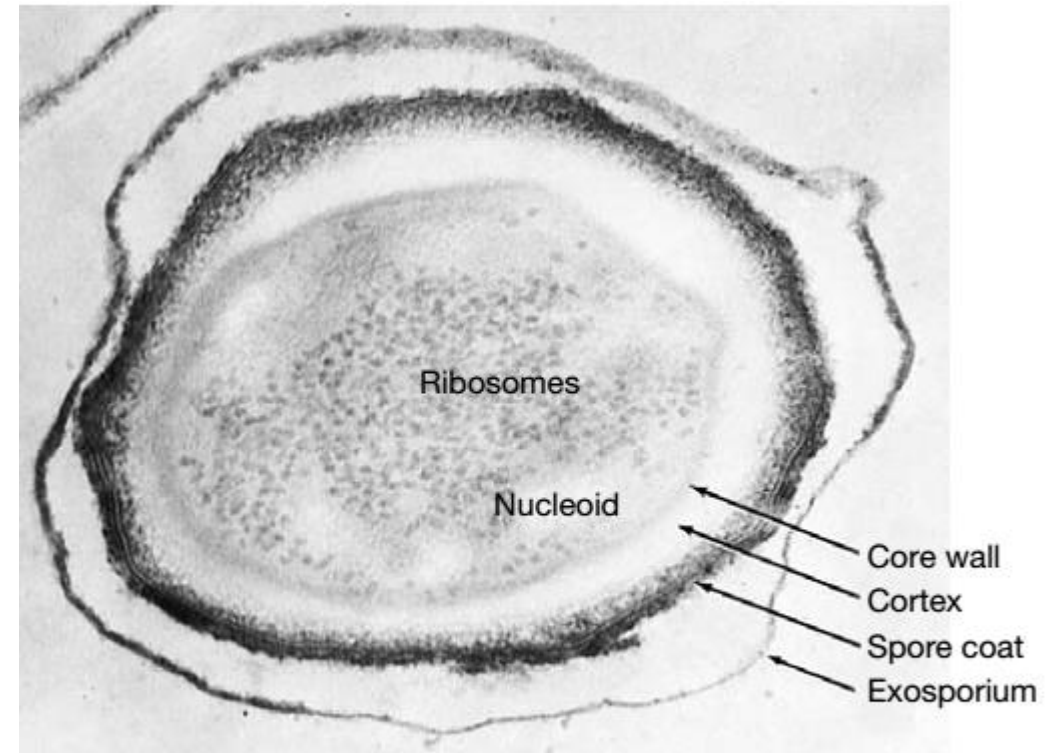


Figure 3.47 Endospore Structure. *Bacillus anthracis* endospore ($\times 151,000$).



2. 细菌的细胞结构

◆ 细菌芽孢的特点

- 整个生物界中抗逆性最强的生命体，在沸水中可存活1到几个小时，耐热、抗辐射、抗消毒剂、耐干燥等，保存**100,000**年可保持活力；
- 是否能消灭芽孢是衡量各种消毒灭菌手段的最重要的指标；
- 芽孢是细菌的休眠体，在适宜的条件下可以重新转变成为营养态细胞；
- 产芽孢细菌的保藏多用其芽孢。产芽孢的多为杆菌，也有一些球菌；
- 芽孢与营养细胞存在较大差异，易在光学显微镜下观察。

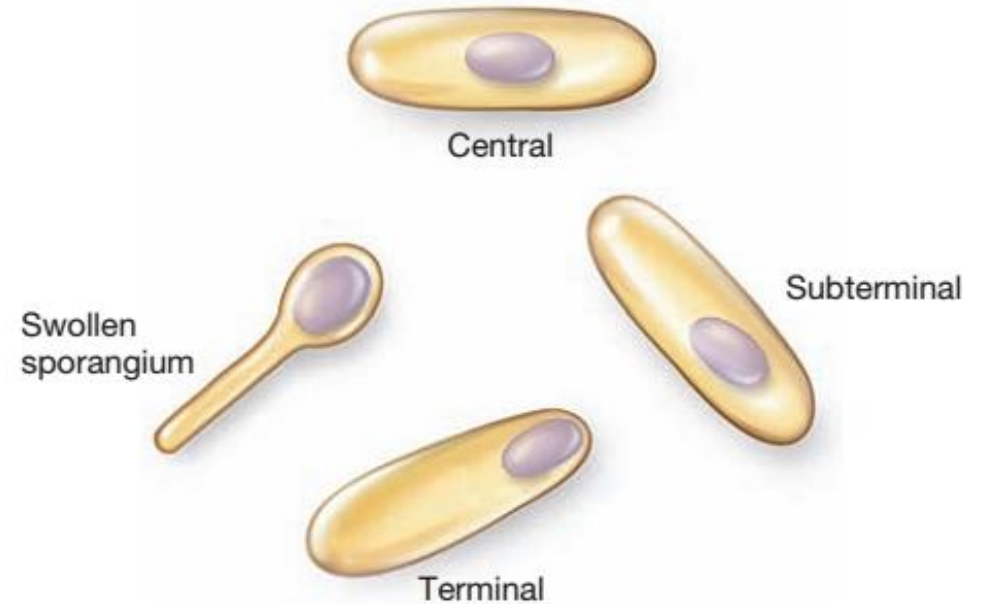


Figure 3.46 Examples of Endospore Location and Size.



2. 细菌的细胞结构

◆ 芽孢的萌发和芽孢的产生

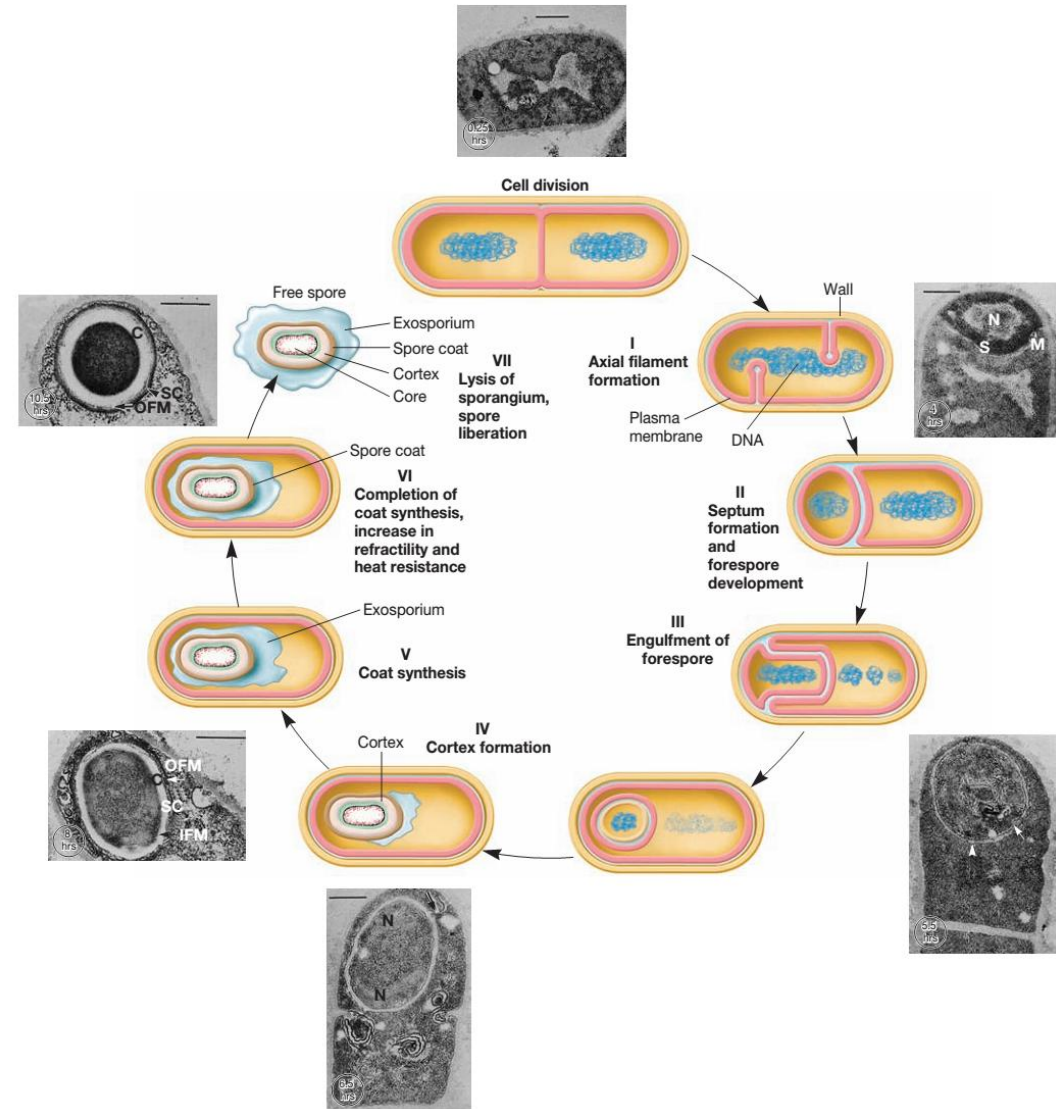
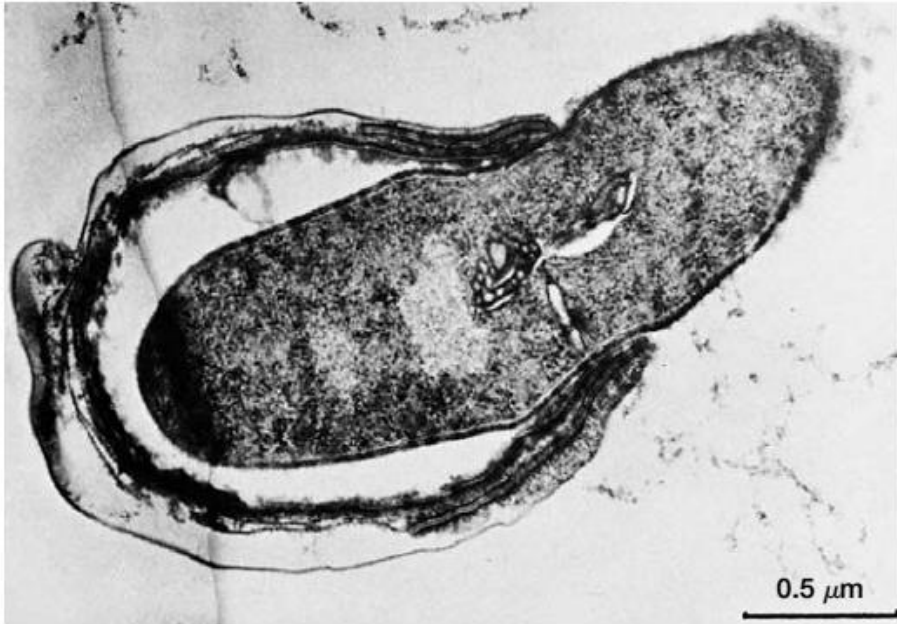
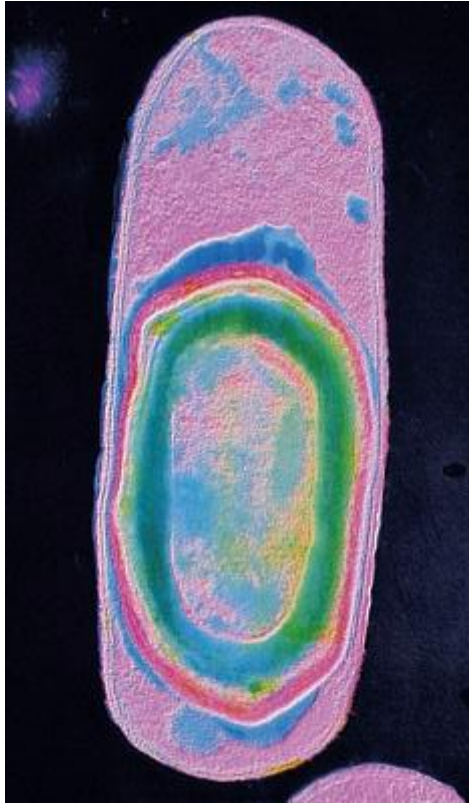


Figure 3.50 Endospore Germination. *Clostridium pectinovorum* emerging from the spore during germination.



2. 细菌的细胞结构



枯草芽孢杆菌的透射电镜图片：即将成熟的芽孢

◆ 芽孢的耐热机制 渗透调节皮层膨胀学说

芽孢衣对多价阳离子和水分的透性很差

皮层的离子强度很高，产生极高的渗透压夺取芽孢核心的水分，结果造成皮层的充分膨胀。

核心部分的细胞质却变得高度失水，因此，具极强的耐热性。



2. 细菌的细胞结构

3.8 伴孢晶体 (parasporal crystal)

少数芽孢杆菌，例如苏云金芽孢杆菌在其形成芽孢的同时，会在芽孢旁形成一颗菱形或双锥形的碱溶性蛋白晶体—— δ 内毒素，称为伴孢晶体。

特点：不溶于水，对蛋白酶类不敏感；容易溶于碱性溶剂。

伴孢晶体对200多种昆虫尤其是鳞翅目的幼虫有毒杀作用，因而可将这类产伴孢晶体的细菌制成有利于环境保护的生物农药——细菌杀虫剂。

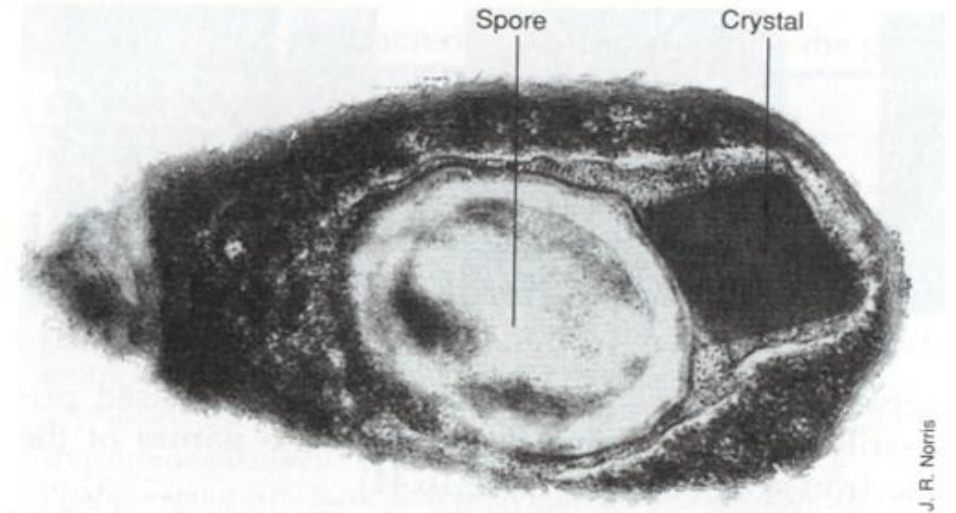


Figure 16.88 Formation of the toxic parasporal crystal in the insect pathogen *Bacillus thuringiensis*. Electron micrograph of a thin section.



2. 细菌的细胞结构

细菌的其他休眠构造(参见P60)

棕色固氮菌产生孢囊:细胞壁加厚, 细胞失水, 抗旱不抗热的休眠体。

黏细菌产生黏液孢子;

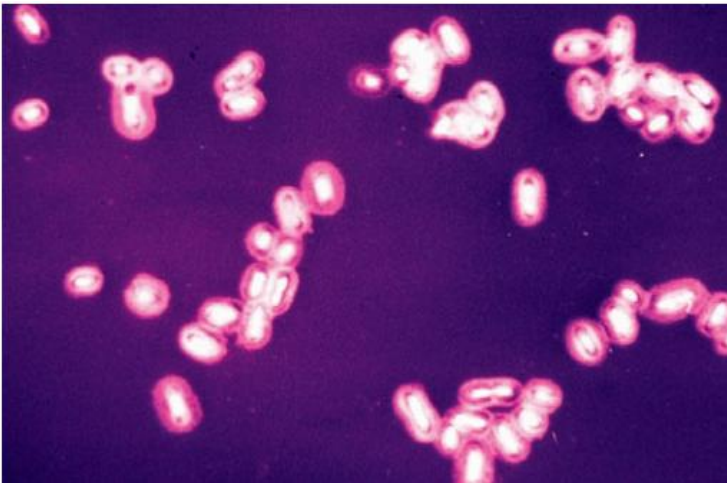
蛭弧菌产生蛭孢囊;



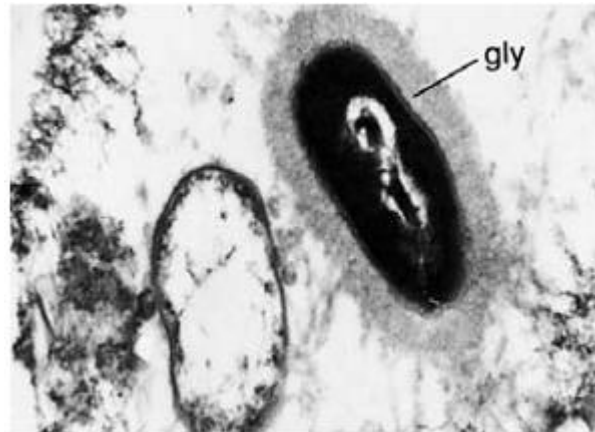
2. 细菌的细胞结构

4. 细菌细胞壁以外的构造 — 糖被 (glycocalyx)

包被于某些细菌细胞壁外的一层厚度不定的胶状物质。按其有无固定层次、层次厚薄可分为荚膜（大荚膜）、微荚膜、粘液层和菌胶团。



(a) *K. pneumoniae*



(b) *Bacteroides*



Richard Unz

FIGURE 17.54 Photomicrograph of a floc formed by *Zoogloea ramigera*, the characteristic organism of the activated-sludge process. Note the large number of small, rod-shaped bacteria surrounded by a polysaccharide slime and the characteristic fingerlike projections of the floc. Negative stain using India ink.



2.细菌的细胞结构

◆ 糖被的特点（见P 27）

- 主要成分是多糖、多肽或蛋白质，尤以多糖居多。经特殊的荚膜染色，特别是负染色后可在光学显微镜清楚地观察到它的存在。
- 产生糖被是遗传特性，其菌落特征及血清学反应是分类鉴定的指标之一
- 并非细胞生活的必要结构，但对细菌在环境中生存有利。
- 细菌糖被与人类的科学研究和生产实践有密切的关系。
(肠膜状明串珠菌 代血浆；野油菜黄单胞菌 黄原胶)

糖被的功能

- 保护作用
- 贮藏养料
- 透性屏障和离子交换系统
- 表面附着作用
- 细菌间的信号识别
- 堆积代谢产物



2. 细菌的细胞结构

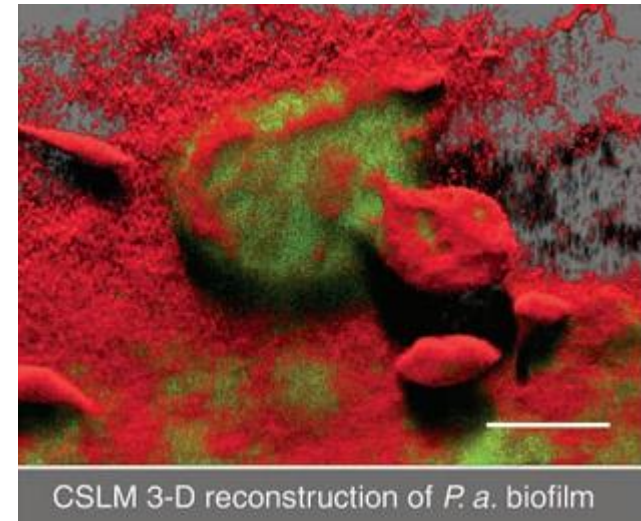
参考P 34

5. 生物膜 (biofilm) : 在生物或非生物的表面生长的微生物菌群被包裹在自身产生的胞外聚合物基质中，细胞之间彼此粘连在一起所形成的结构。胞外聚合物为多糖、蛋白质、DNA。是近年来非常活跃的研究领域。

生物膜的生理功能为：

- 生理保护屏障；
- 创造有利生境；
- 促进信息交流；
- 保证营养供应。

生物膜的形成有复杂的机制，研究表明与细胞间的生物通讯有直接关系。揭开成膜机制，对于微生物细胞通讯、病原菌的控制和耐药性细菌的治疗有重要的医学价值和科研意义。



生物膜的形成是微生物细胞间抱团协作、互利共赢的典型案例！

图中红色为死细胞，绿色为活细胞

铜绿假单胞菌 (*Pseudomonas aeruginosa*) 是研究微生物成膜机制的主要模式菌



拓展阅读



Pseudomonas aeruginosa Biofilm Infections: Community Structure, Antimicrobial Tolerance and Immune Response

Morten Rybtke¹, Louise Dahl Hultqvist¹,
Michael Givskov^{1,2} and Tim Tolker-Nielsen¹

1 - Costerton Biofilm Center, Department of Immunology and Microbiology, Faculty of Health and Medical Sciences, University of Copenhagen, DK-2200 Copenhagen, Denmark

2 - Singapore Centre on Environmental Life Sciences Engineering, Nanyang Technological University, Singapore 637551, Republic of Singapore

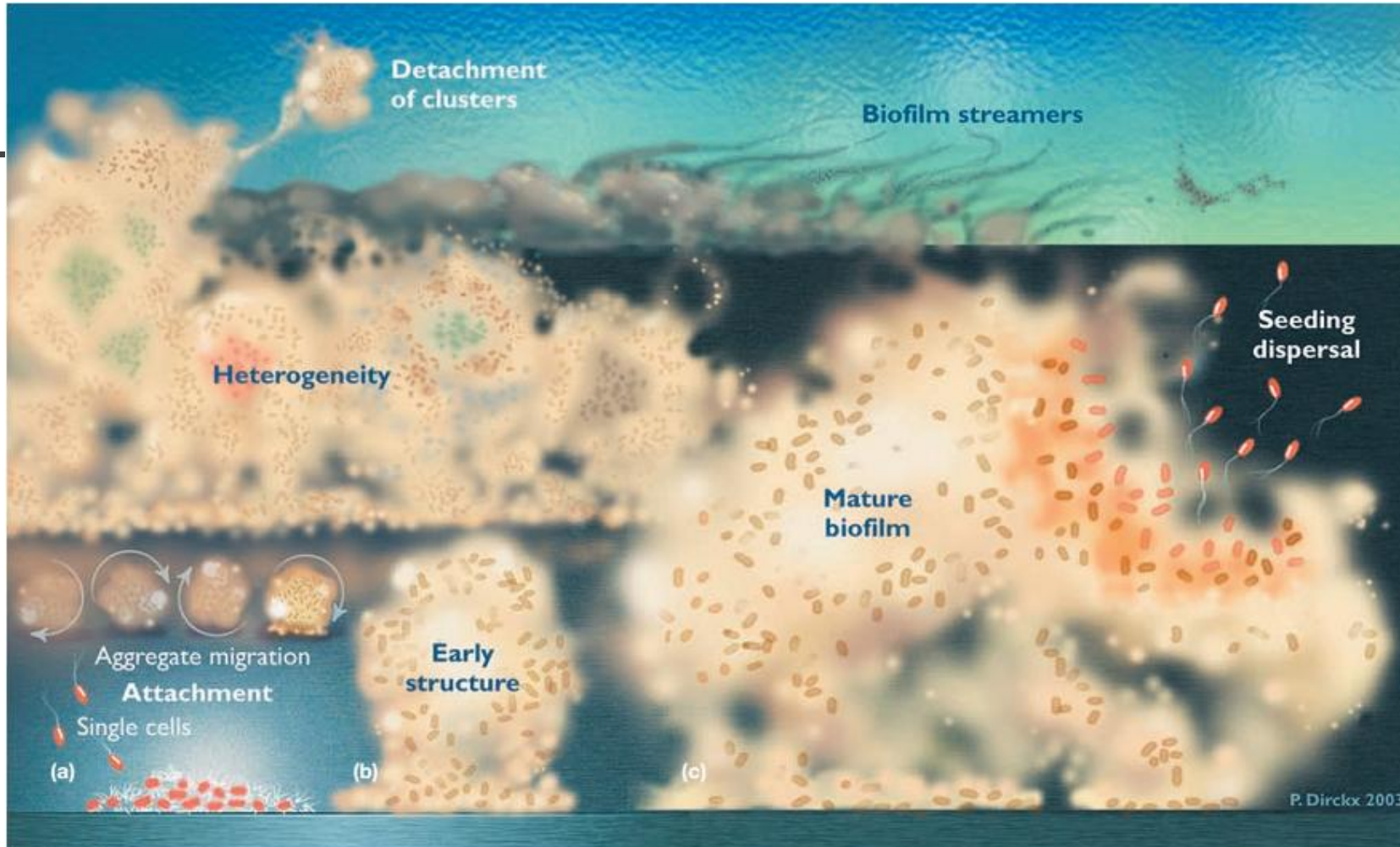


Figure 27.11 The Growth of Biofilms. Biofilms, or microbial growths on surfaces such as in freshwater and marine environments, can develop and become extremely complex, depending on the energy sources that are available. **(a)** Initial colonization by a single type of bacterium. **(b)** Development of a more complex biofilm with layered microorganisms of different types. **(c)** A mature biofilm with cell aggregates, interstitial pores, and conduits.



2. 细菌的细胞结构

6. 细菌细胞壁以外的构造 —— S层

- 由蛋白质组成的晶格状结构,位于细胞壁或细胞膜外层,是生物进化过程中最简单的一种生物膜
- 细菌的每一个分类群都存在**S-层**,涉及**300**多个种,在古细菌中分布更广。
- 过去,**S-层**的广泛存在并不被人们所关注,因为在实验室条件下,过长的培养时间会导致**S-层**的丢失,而且必须用电镜才能观察。

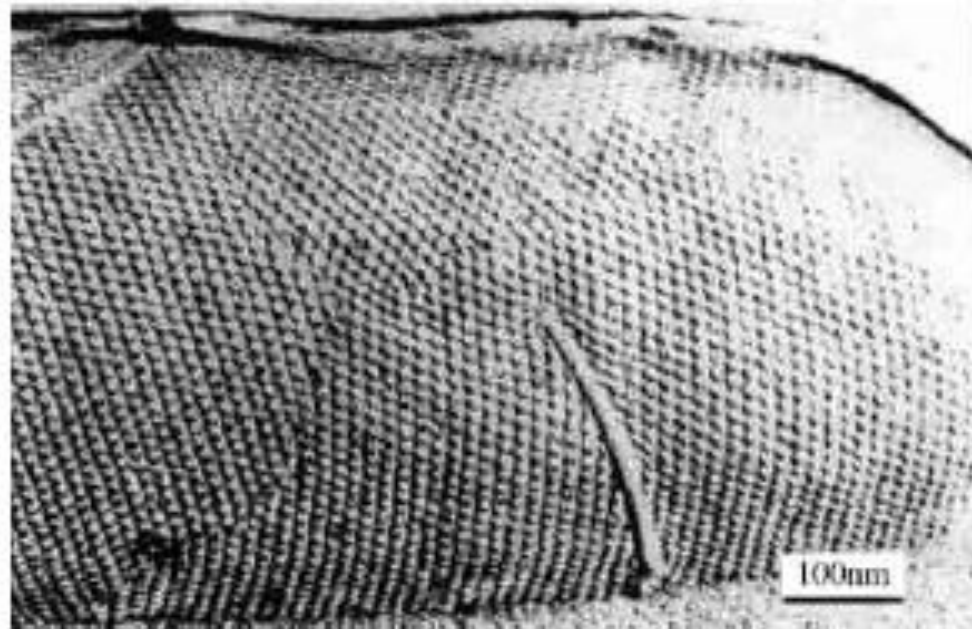
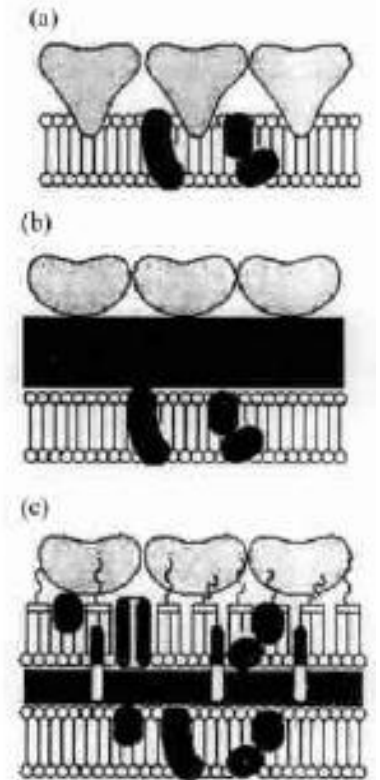


图1 细菌细胞表面 S层的冰冻蚀刻电镜照片^[3]



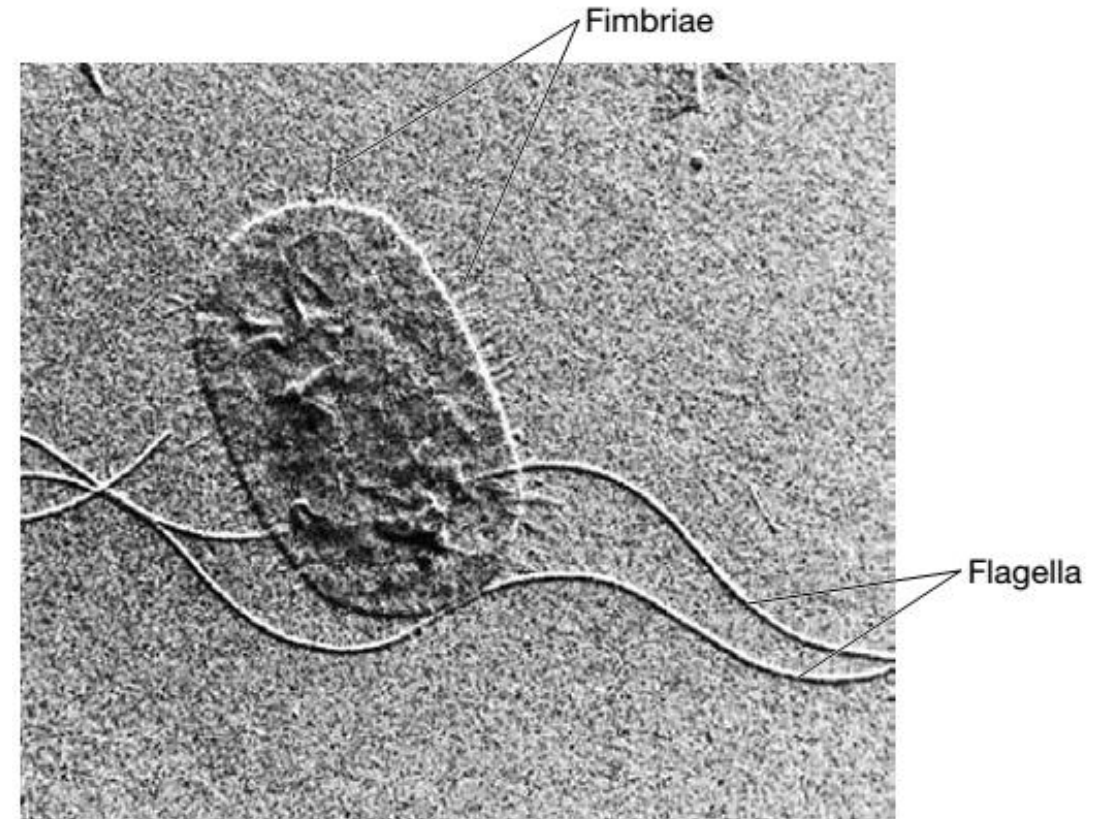


2. 细菌的细胞结构

7. 细菌的运动器官：鞭毛（flagella）

观察和判断细菌鞭毛的方法（参见P62）

- ◆ 电子显微镜直接观察
- ◆ 光学显微镜下观察：
- ◆ 鞭毛染色和暗视野显微镜
- ◆ 根据培养特征判断：半固体穿刺、菌落（菌苔）形态

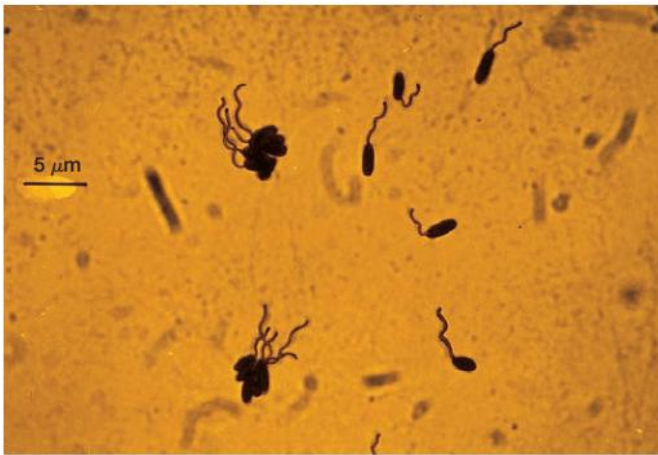




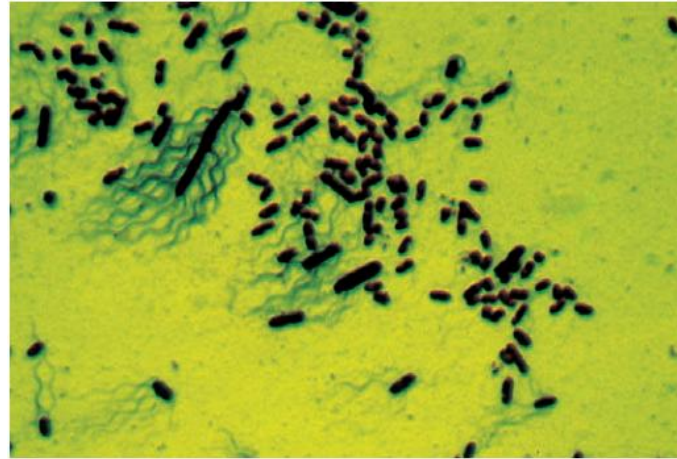
2. 细菌的细胞结构

◆ 鞭毛的分布

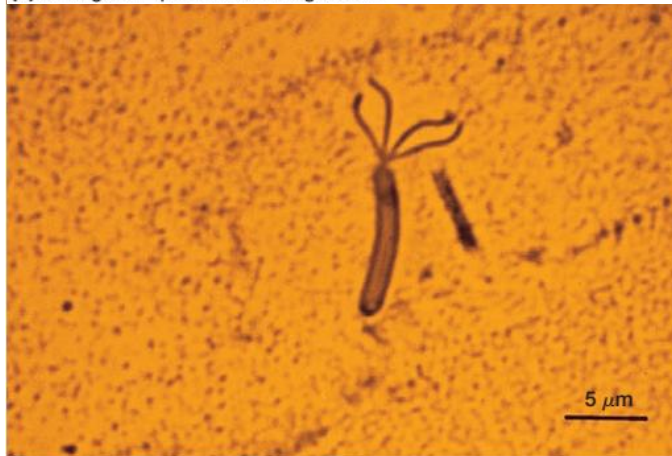
- 单鞭毛，丛生鞭毛，对生鞭毛，周生鞭毛；
- 鞭毛的分布方式是分类鉴定的重要依据。



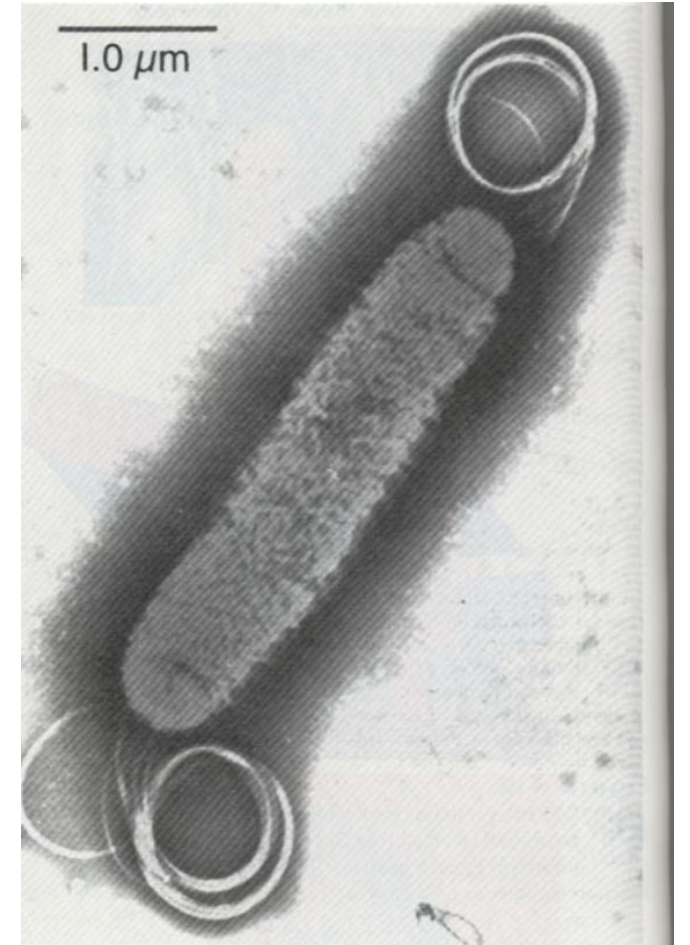
(a) *Pseudomonas*—monotrichous polar flagellation



(c) *P. vulgaris*—peritrichous flagellation

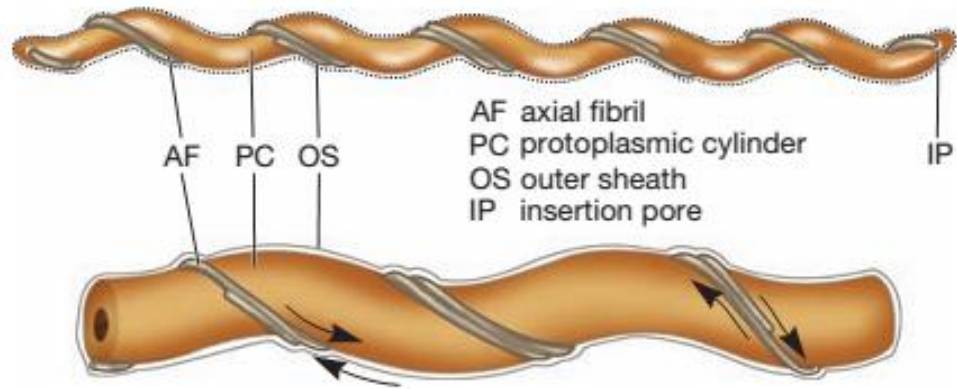


(b) *Spirillum*—lophotrichous flagellation





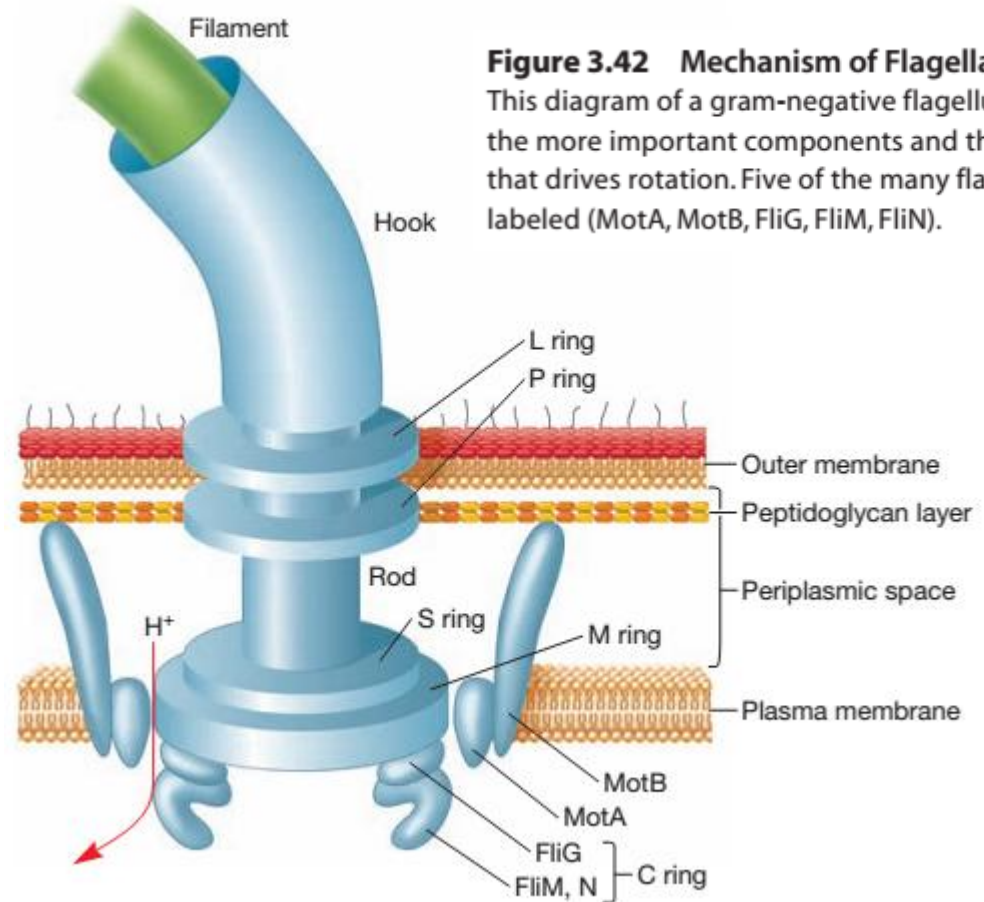
2. 细菌的细胞结构



(a1)



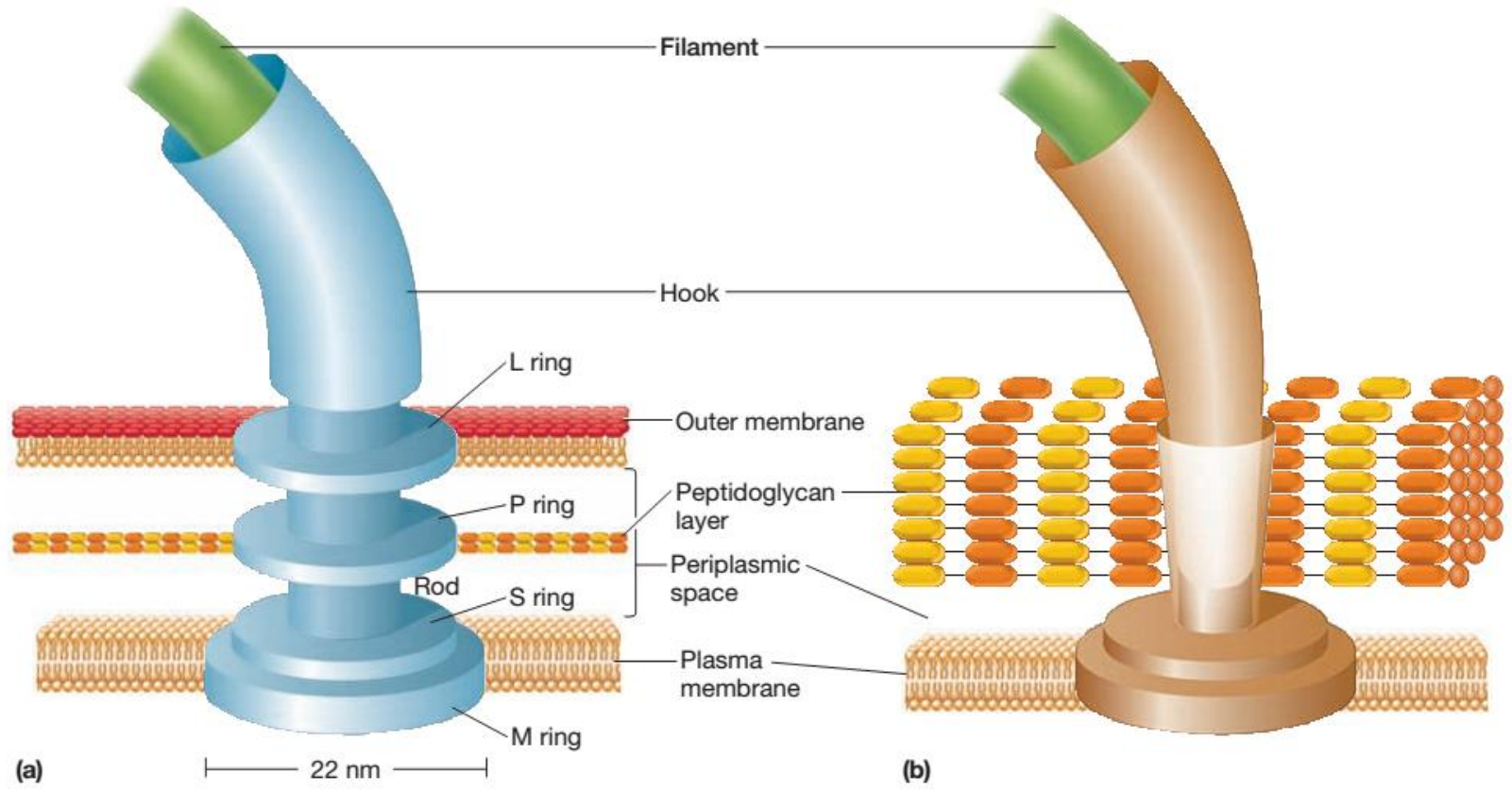
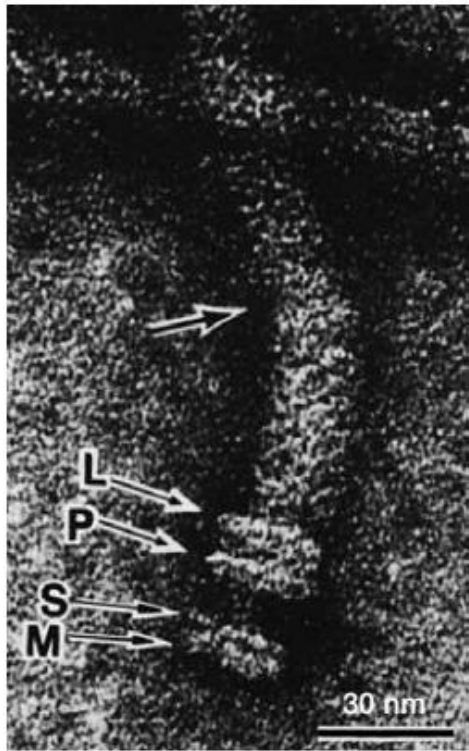
(a2)





2. 细菌的细胞结构

鞭毛的结构



革兰氏阴性菌

革兰氏阳性菌



2. 细菌的细胞结构

◆ 鞭毛的生长和菌体的运动

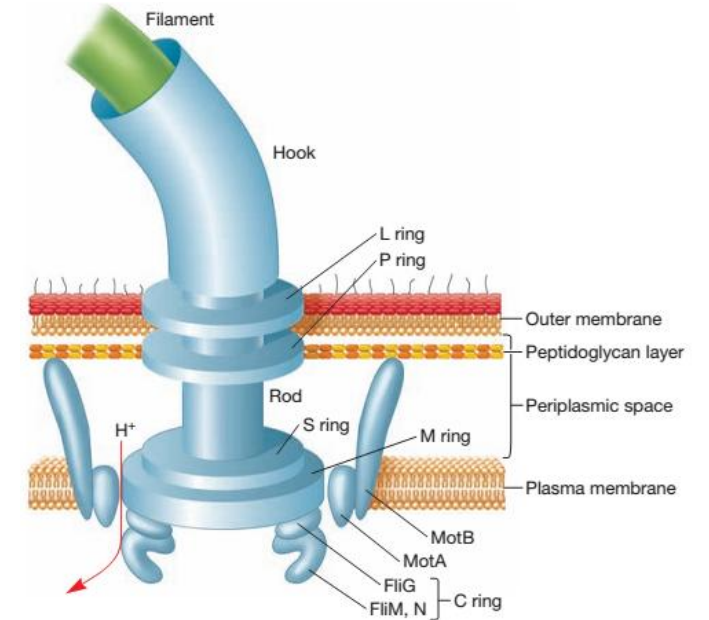
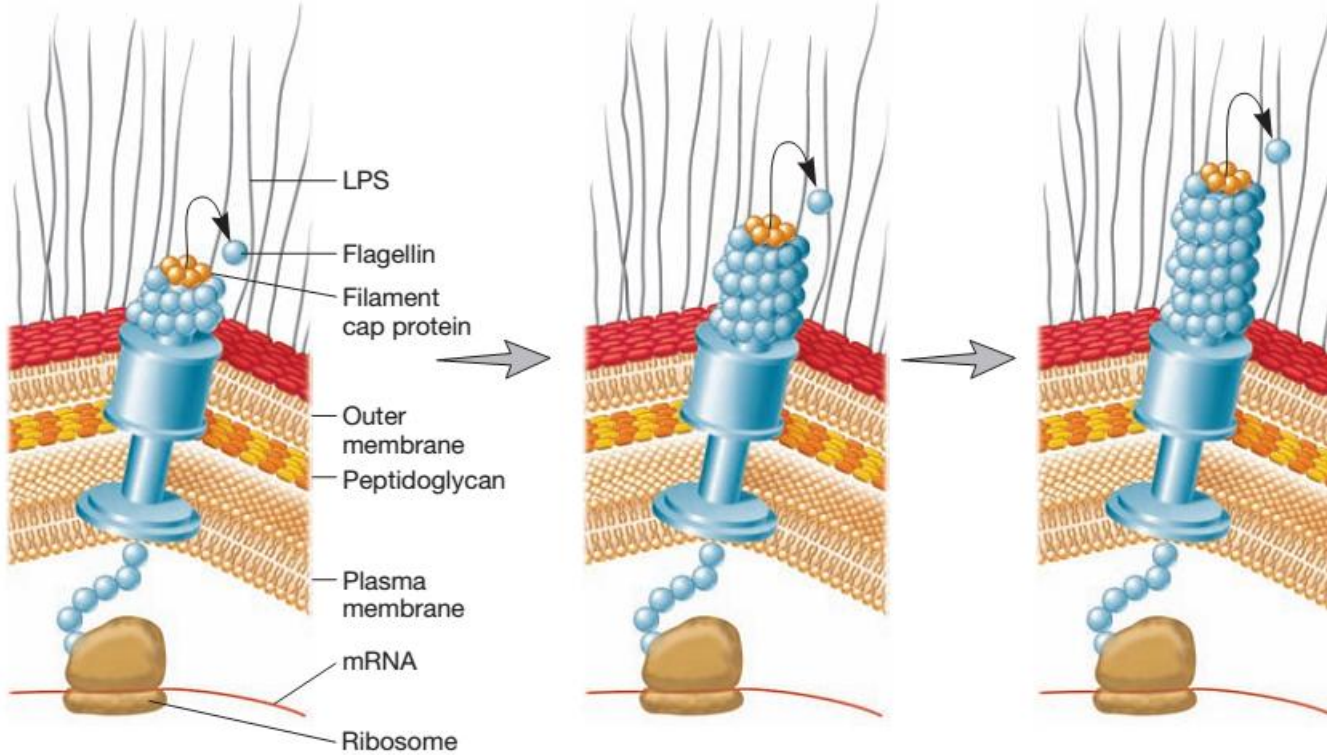


Figure 3.42 Mechanism of Flagellar Movement. This diagram of a gram-negative flagellum shows some of the more important components and the flow of protons that drives rotation. Five of the many flagellar proteins are labeled (MotA, MotB, FliG, FliM, FliN).



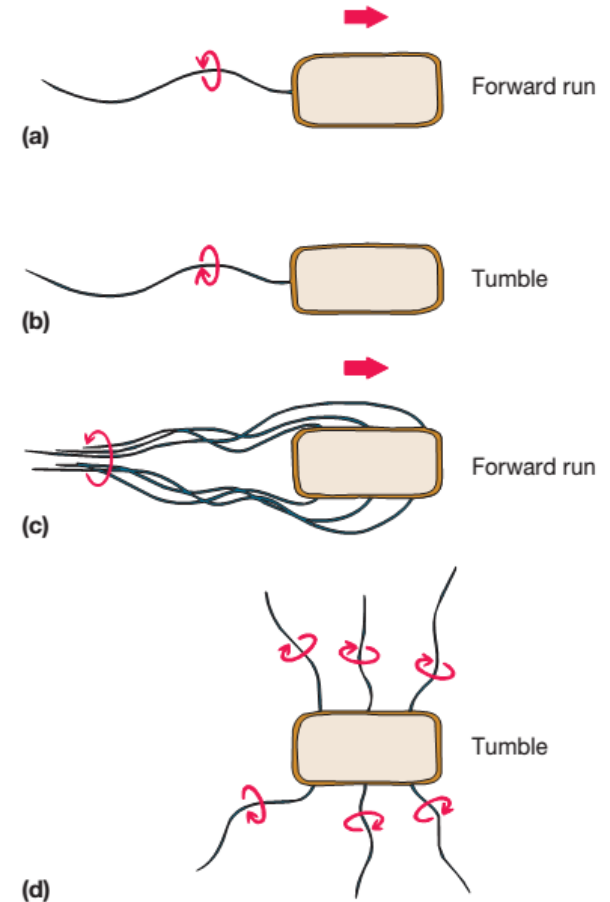
2. 细菌的细胞结构

◆ 鞭毛的特点

- 鞭毛蛋白由III型分泌蛋白系统转运并完成自我装配；
- 鞭毛的运动是旋转式，而不是摆动式；
- 鞭毛是弯曲的，突变的笔直的鞭毛则丧失了运动机能；
- 鞭毛的运动由质子泵来驱动，而非ATP的水解；
- 鞭毛逆时针转动则前进，相反则翻滚；

E. coli motor rotates 270 revolutions per second;

Vibrio alginolyticus averages 1,100 rps.

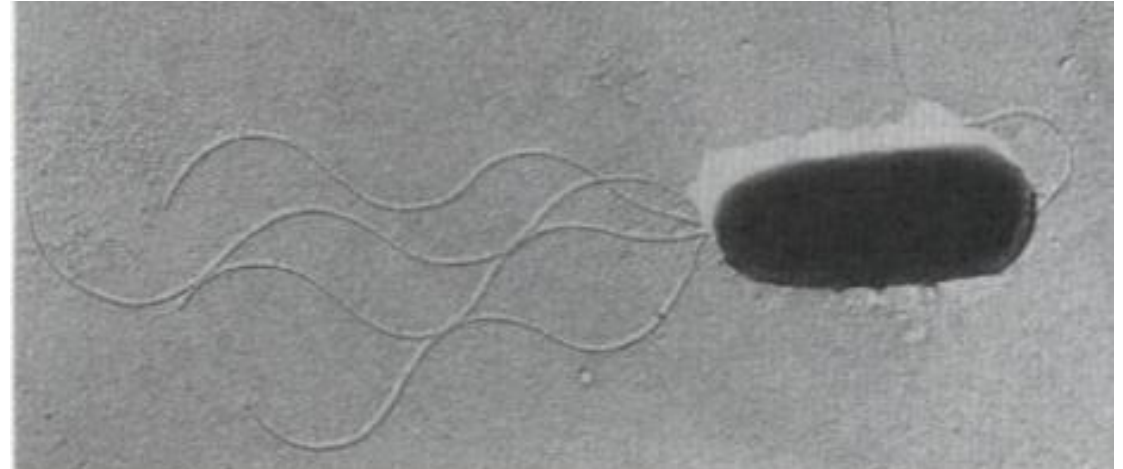




试看天下谁能敌？



VS



Usain Bolt: 百米记录: 9.58秒。身高: 1.9米, 最快速度: 5.5体长/秒

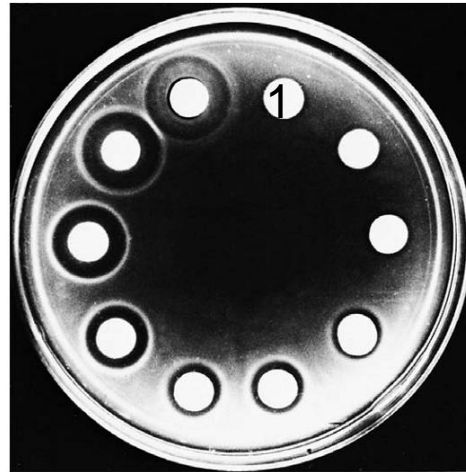
细菌: 最快速度 $90 \mu\text{m}/\text{second}$, 体长 $0.9 \mu\text{m}$, 最快速度: 100 体长/秒.



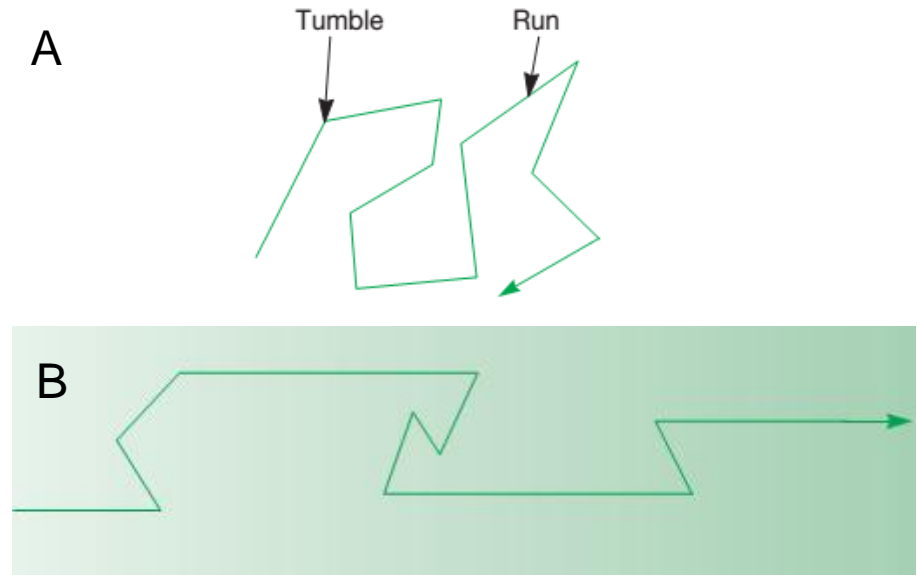
趋化性 (chemotaxis) :

指细菌趋向有利的生化环境或避开有害环境的生理行为特性。这些环境因子包括，碳源、pH、氧、渗透压、温度等。

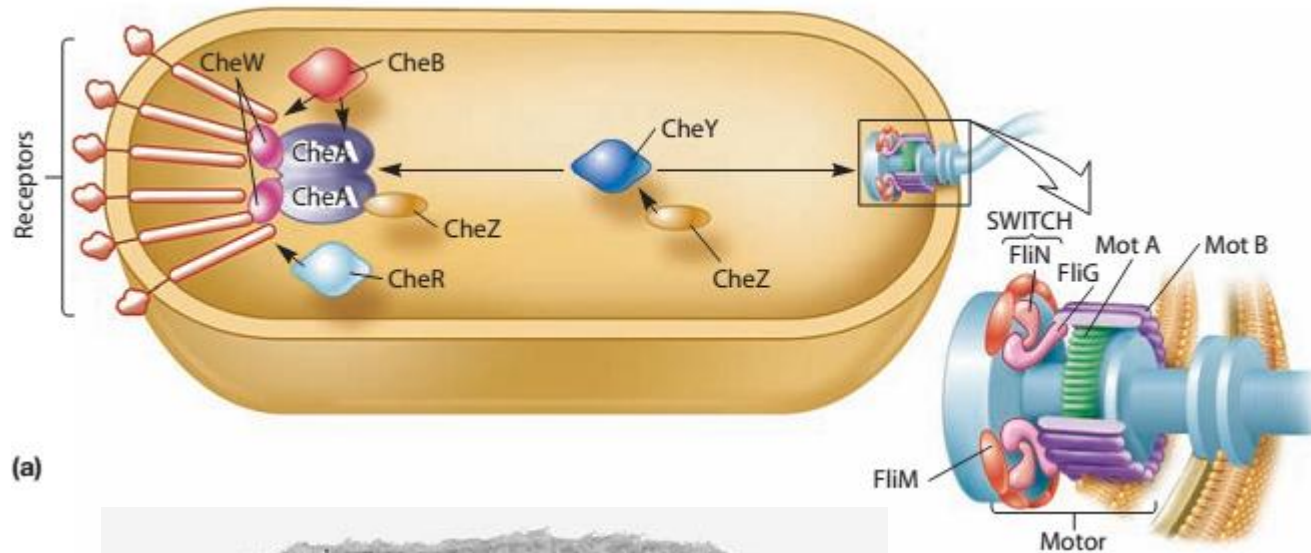
依赖鞭毛的旋转来实现趋化行为。有多个蛋白的参与和一套复杂的机制，包括感受器，信号传导，鞭毛的旋转，菌体运动。详细的机制还不完全清楚。



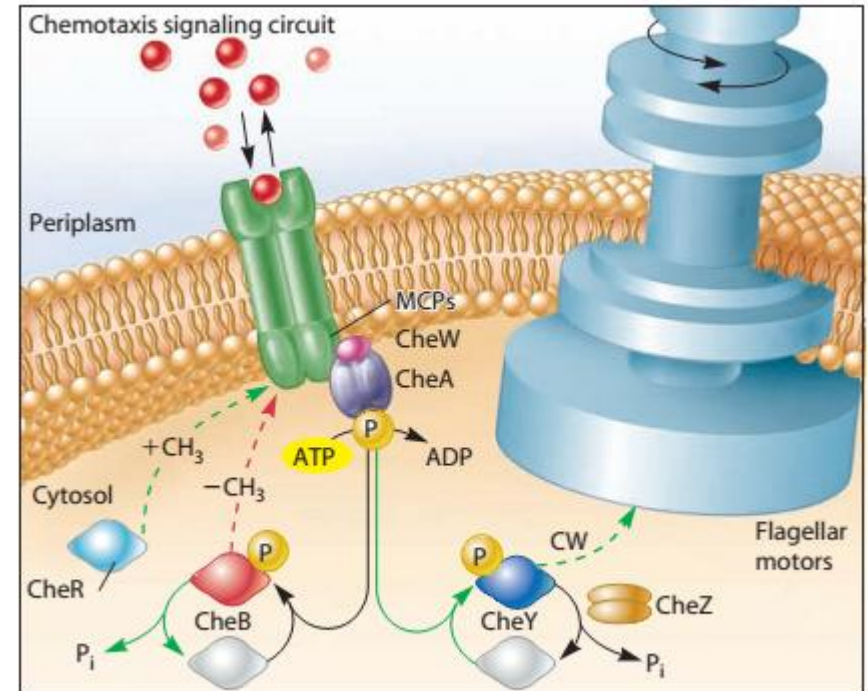
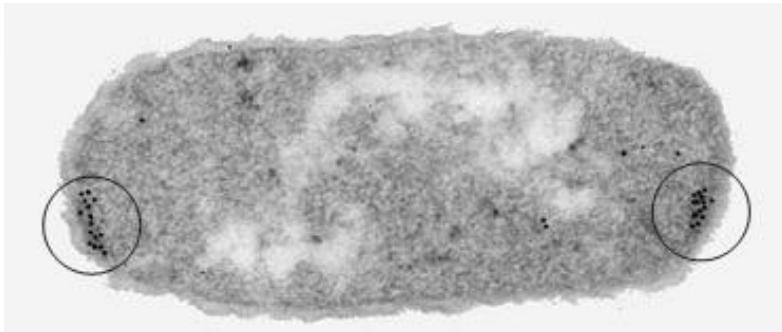
含有不同浓度的乙酸的圆片在大肠杆菌的平板，从1开始顺时针依次升高浓度，细菌逐渐远离。



A图和B图中翻滚和跑动频率和节奏有何区别？哪个图显示的是趋化性？



(a)



(c)

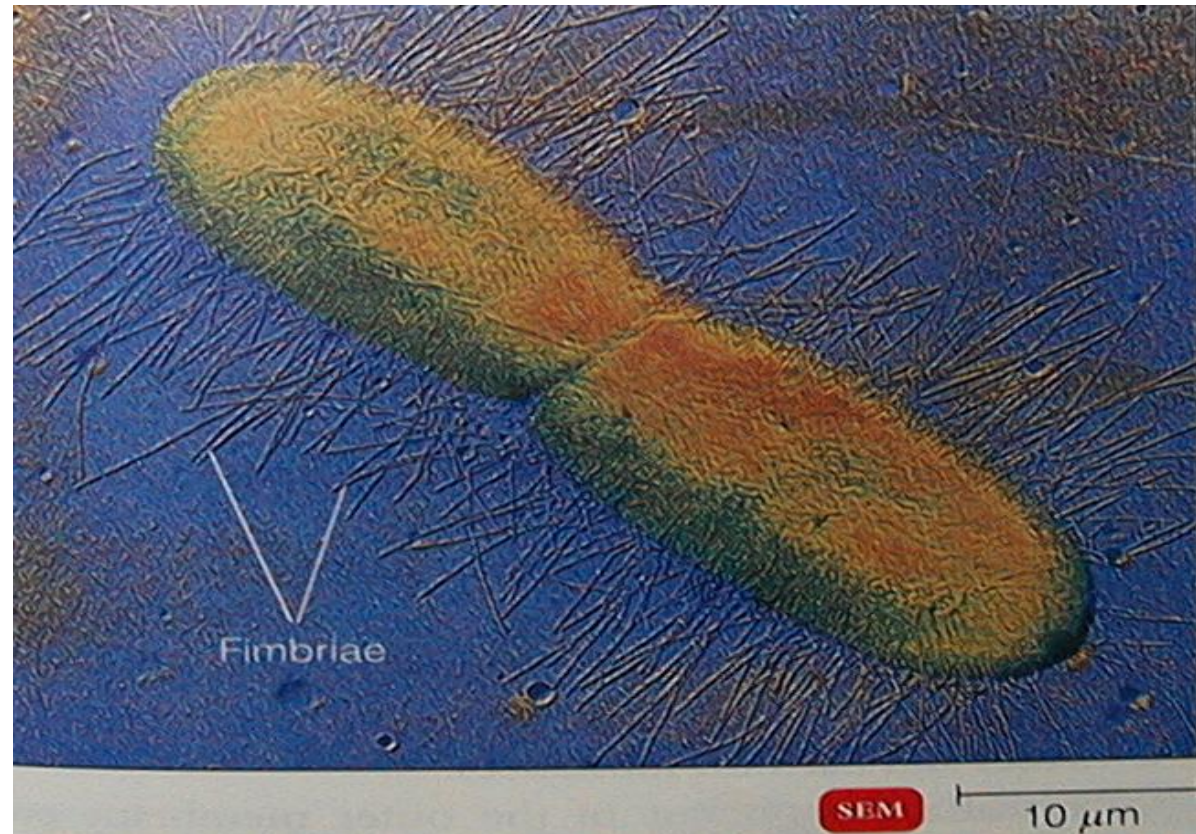


2. 细菌的细胞结构

8. 菌毛 (fimbriae)

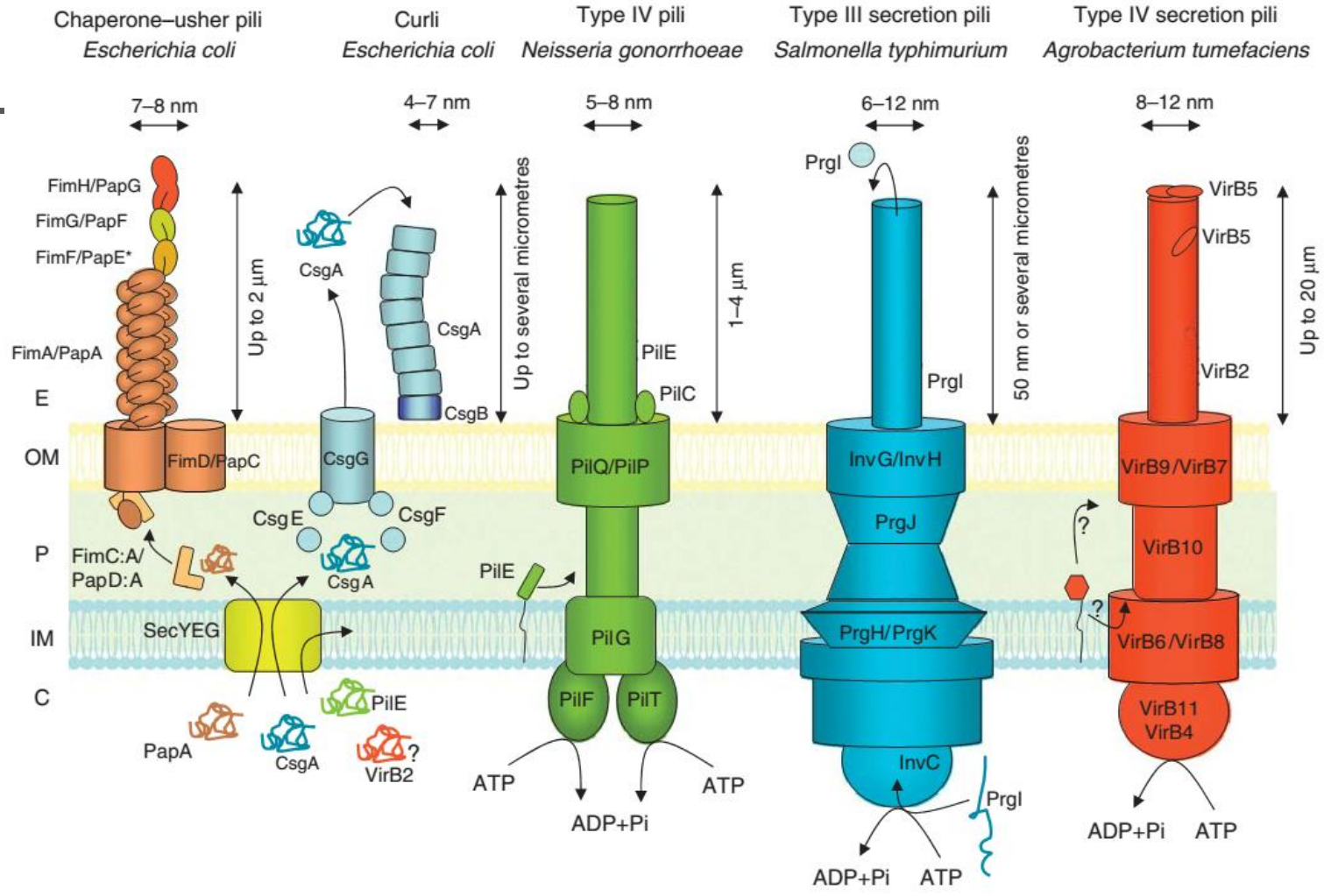
细菌体表纤细、中空、短而稠密的蛋白质类附属物，具有许多生物功能。

每个细菌约有250~300条菌毛。有菌毛菌一般以革兰氏阴性致病菌居多。借助菌毛可牢固地粘附于宿主的呼吸道、消化道、泌尿生殖道等的粘膜上，进一步定植和致病。此外，菌毛还参与微生物的侵入、生物膜的形成、DNA和蛋白的跨膜转运等事件。





革兰氏阴性菌常见菌毛的类型及装配机器



Pili and their assembly machineries in Gram-negative bacteria.



生命科学院
School of Life Science

Microbiology

拓展阅读

The EMBO Journal (2008) 27, 2271–2280 | © 2008 European Molecular Biology Organization | Some Rights Reserved 0261-4189/08
www.embojournal.org

THE
EMBO
JOURNAL

EMBO
open 

New EMBO Member's Review

Architectures and biogenesis of non-flagellar protein appendages in Gram-negative bacteria



2. 细菌的细胞结构

9. 性毛 (pilus)

- 构造和成分与菌毛相同，但比菌毛长，数量仅一至少数几根。
- 性毛镶嵌在IV型分泌系统的装置中；
- 一般见于革兰氏阴性细菌的雄性菌株（即供体菌）中，其功能是连接雌性菌株（即受体菌）。当两个菌被性毛连接后，性毛收缩，将两个菌拉近并最终接触，介导结合作用（conjugation）。
- 有的性毛还是RNA噬菌体的特异性吸附受体。

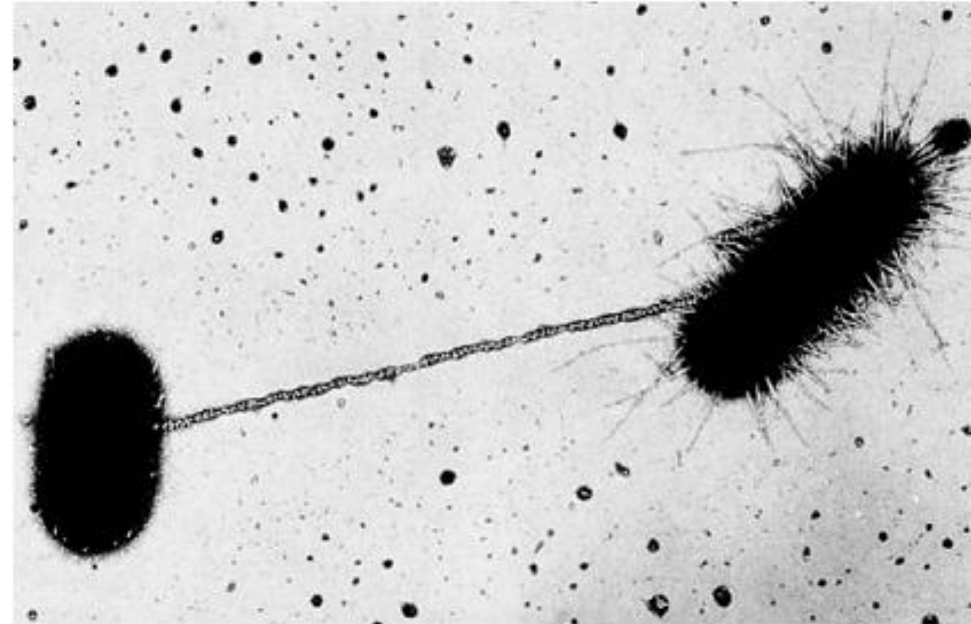
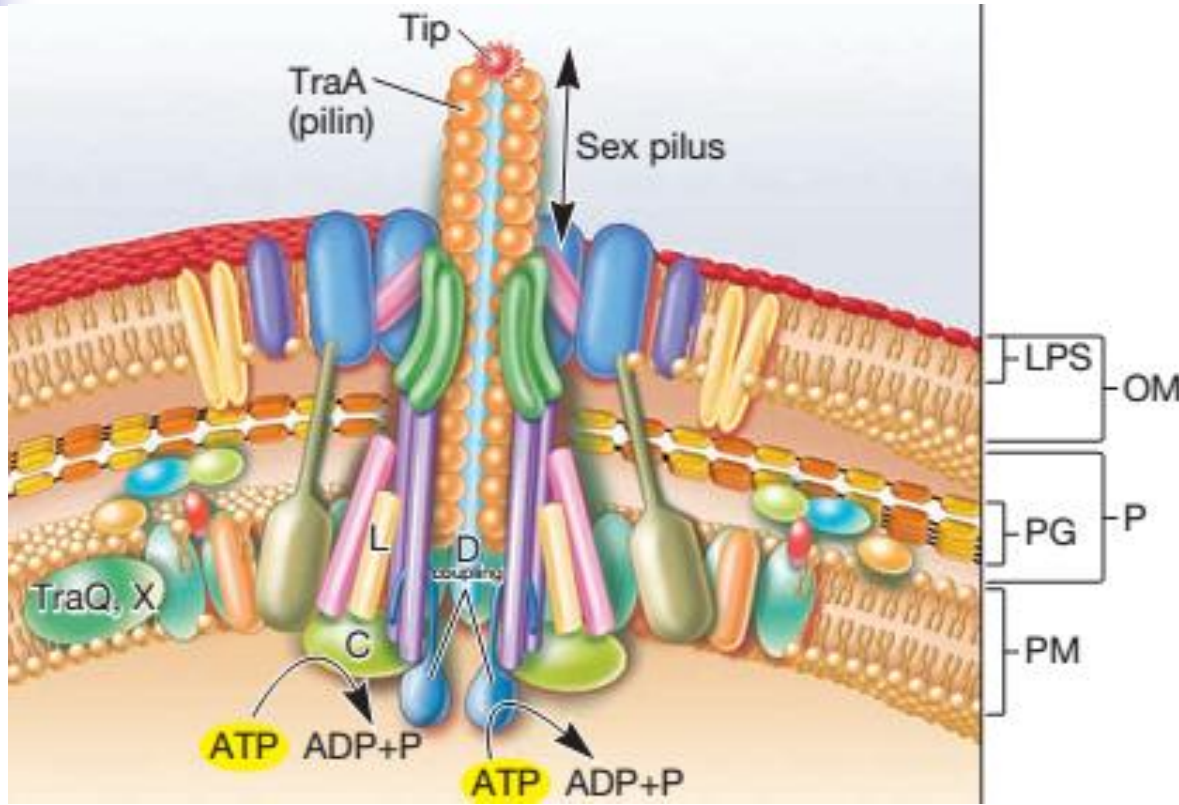


Figure 13.24 Bacterial Conjugation. An electron micrograph of two *E. coli* cells in an early stage of conjugation. The F^+ cell to the right is covered with small pili or fimbriae, and a sex pilus connects the two cells.

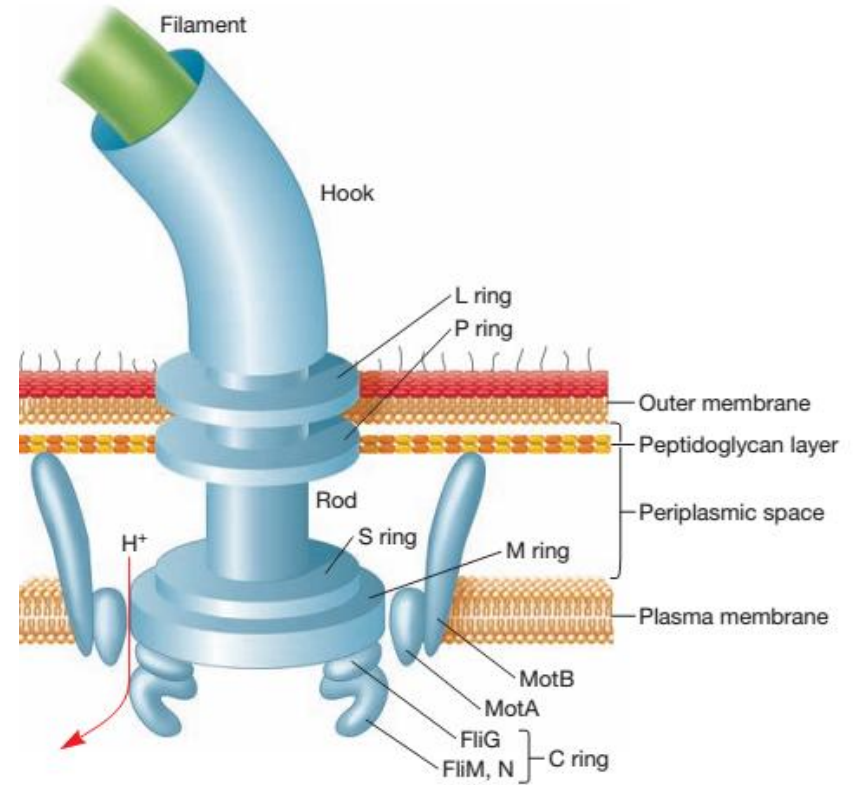


1.2 细菌的细胞结构

性毛和鞭毛的结构比较



性毛结构



鞭毛结构



1.3 细菌的分裂

细胞分裂是生物自我复制的极端重要的机制，是生命科学最基本的问题之一，认识和解读细胞分裂的奥秘，是生命科学重大的课题。

- ◆ 细菌的分裂有一套精确而严格的机制来提供保障，有严格的时间、空间的时位性，涉及到众多基因的参与和调控，是许多蛋白协调配合、精确合作的结果；
- ◆ 细菌的分裂首先涉及到DNA的复制和肽聚糖合成的引发，涉及到负调控因子的限制和分裂复合体（divisome）的装配，尤其是FtsZ蛋白在细胞中间形成Z环，是细菌分裂的标志性事件；
- ◆ Z环形成后，紧接着在众多蛋白的参与下，分裂复合体（divisome）的装配完成，然后间隔形成，Z环收缩，缢裂痕处肽聚糖水解，细胞分离，成为两个同样大小的子细胞。

大肠杆菌*E. coli*和枯草芽孢杆菌*B. subtilis*是研究细菌分裂的代表菌。



1.3 细菌的分裂

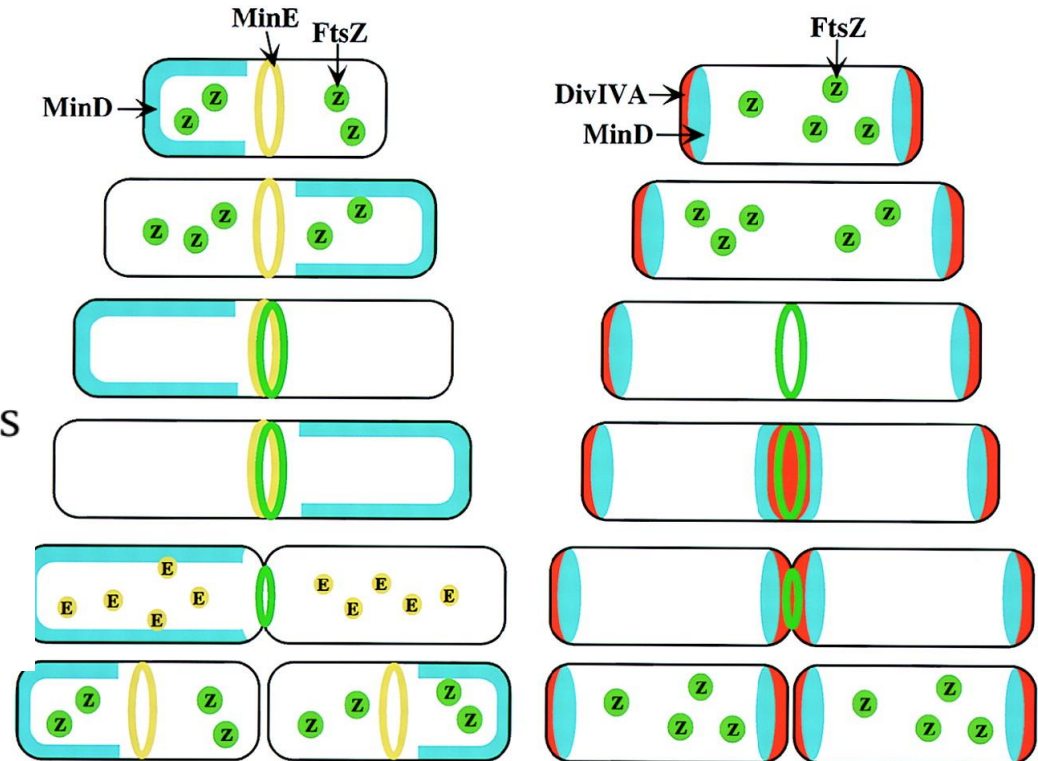
拓展阅读:

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <http://www.researchgate.net/publication/6699522>

Bacterial Cell Division: The Mechanism and Its Precision

ARTICLE in INTERNATIONAL REVIEW OF CYTOLOGY · FEBRUARY 2006

Impact Factor: 9 · DOI: 10.1016/S0074-7696(06)53002-5 · Source: PubMed



E. coli

B. subtilis

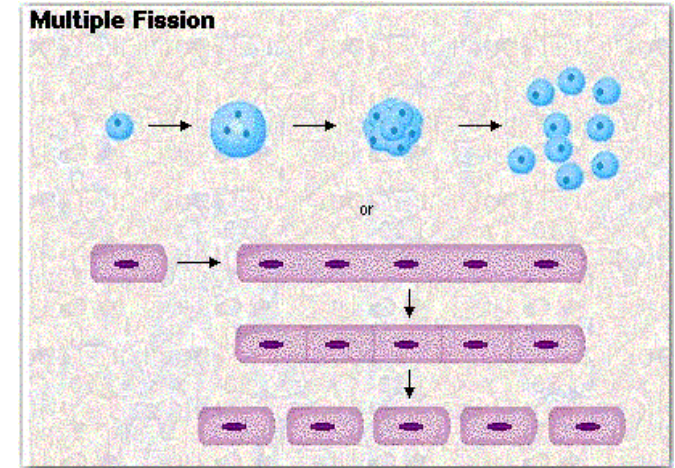
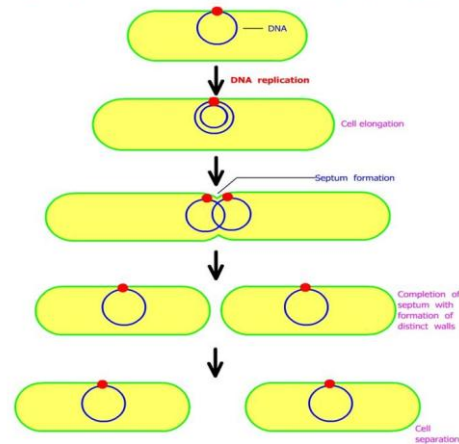


1.3 细菌的分裂

1. 裂殖 (fission) :指细菌通过无丝分裂产生两个子代细胞的过程

- 二分裂 (binary fission) : 细菌通过无丝分裂产生两个相同大小子代细胞的过程;
- 三分裂 (trinary fission) : 某些细菌在特定阶段, 细胞一分为三, 形成一个Y形细胞, 然后进行二分裂;
- 复分裂 (multiple fission) : 蛭弧菌在宿主体内生长时, 形成不规则盘曲长细胞, 然后多出同时发生均等长度的分裂, 产生弧形子细胞。

The general process of binary fission in a rod-shaped prokaryote





1.3 细菌的分裂

2. 芽殖 (budding)

某些细菌先在细胞表面长出一个突起，然后突起变大，直至与母体细胞相仿，然后分离成为独立的细胞。此类细菌称为芽生细菌 (budding bacteria)

出芽过程中，母细胞保留原有的细胞壁，而子细胞则合成新壁。子细胞形成后，母细胞仍然存在。一般不运动，但脱离母细胞的新生子细胞常以鞭毛运动。

大多数芽生细菌水栖，少数栖居在土壤中。

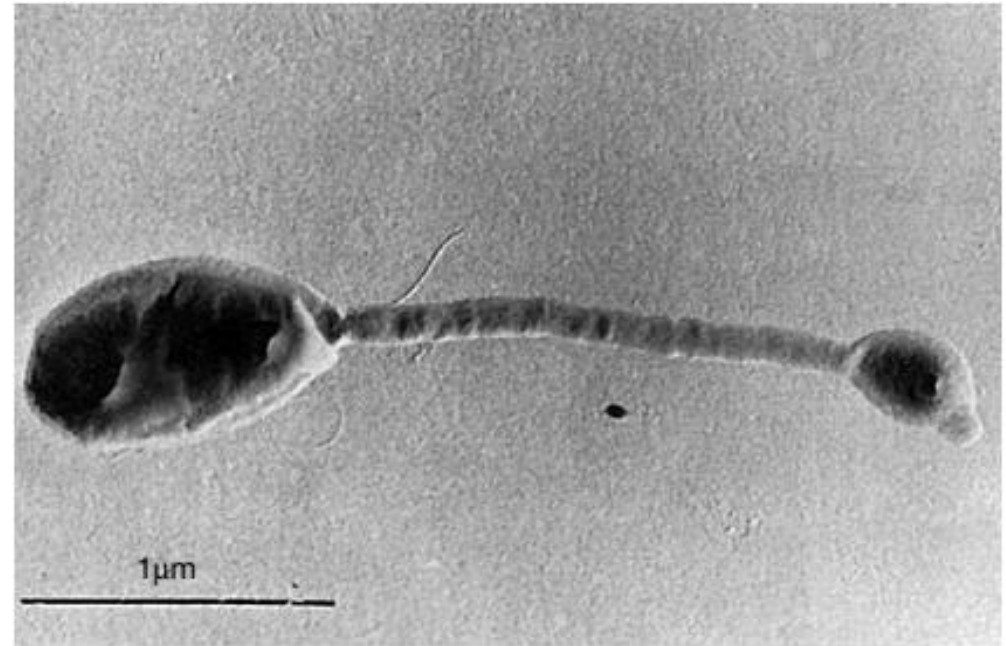
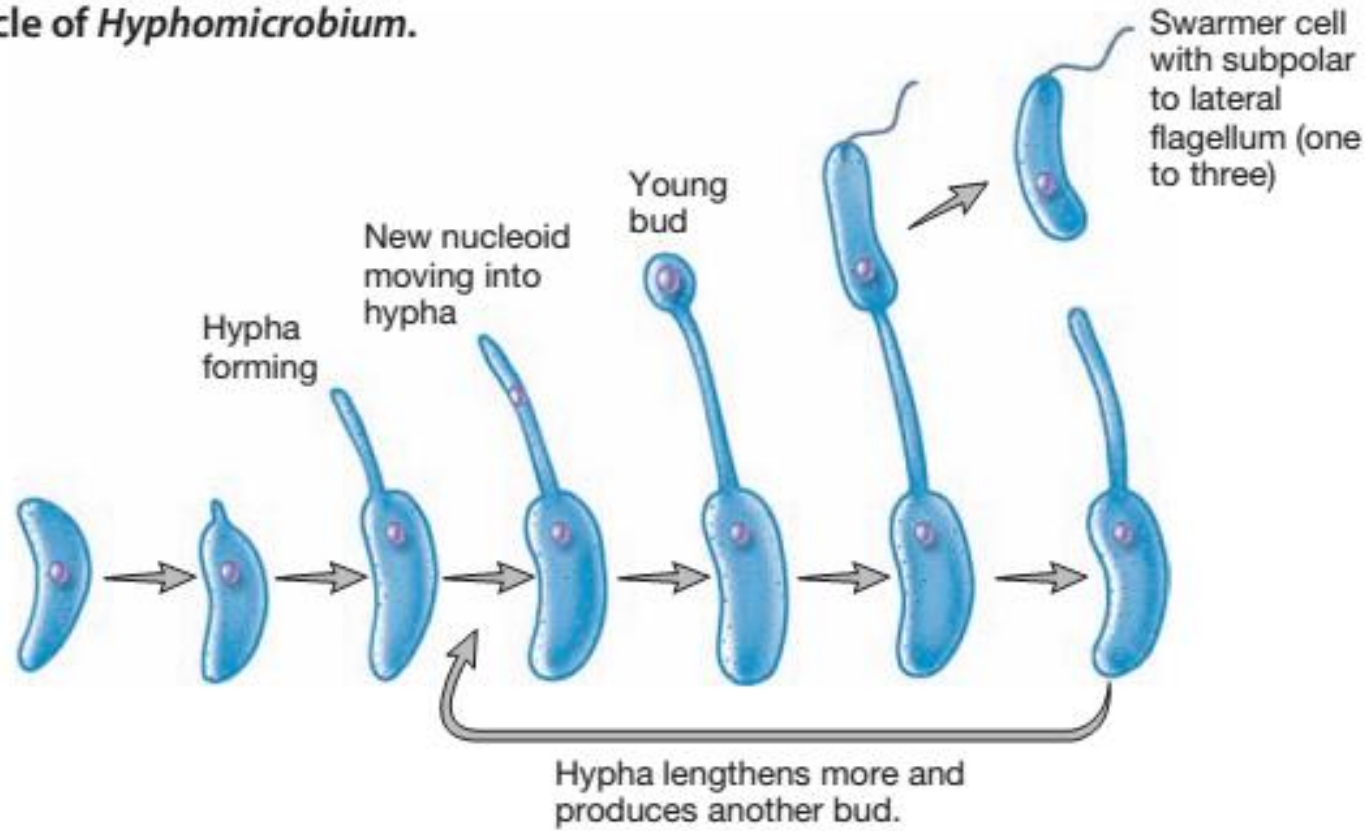


Figure 22.5 Prosthecate, Budding Bacteria. *Hyphomicrobium facilis* with hypha and young bud.

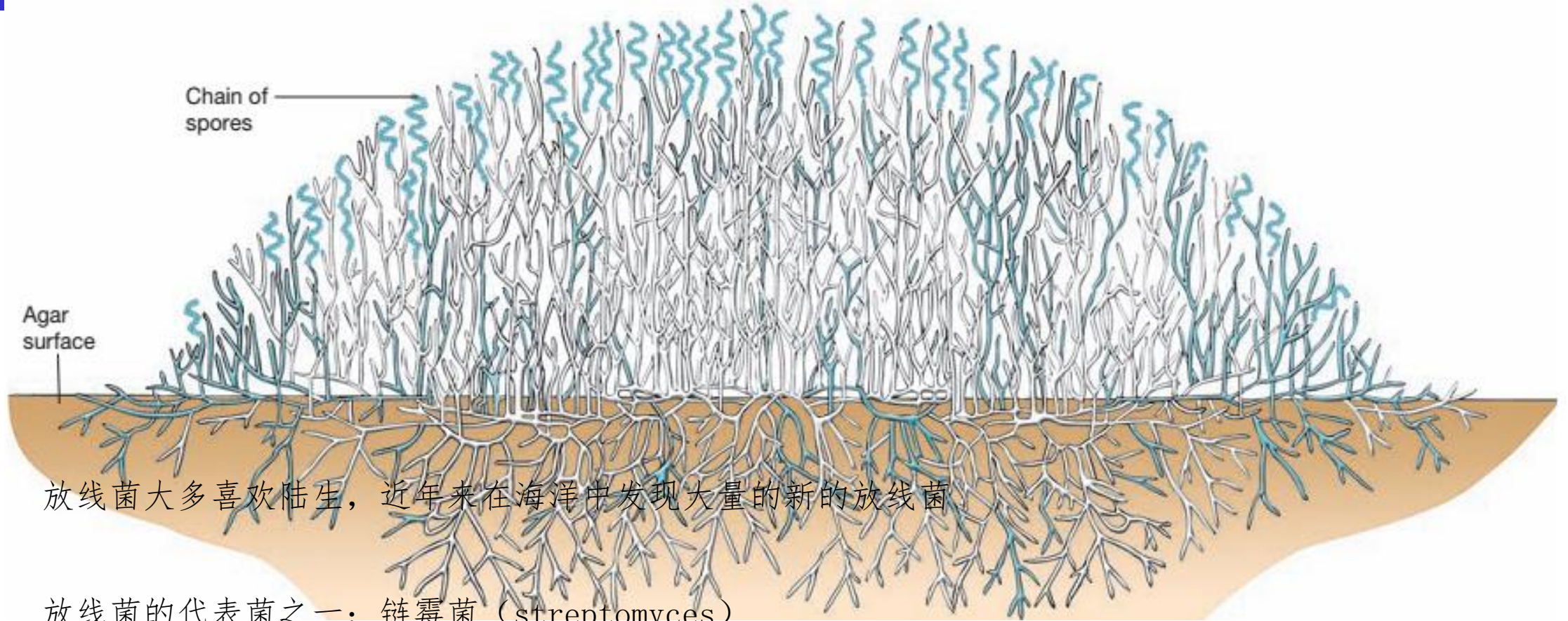


The Life Cycle of *Hyphomicrobium*.



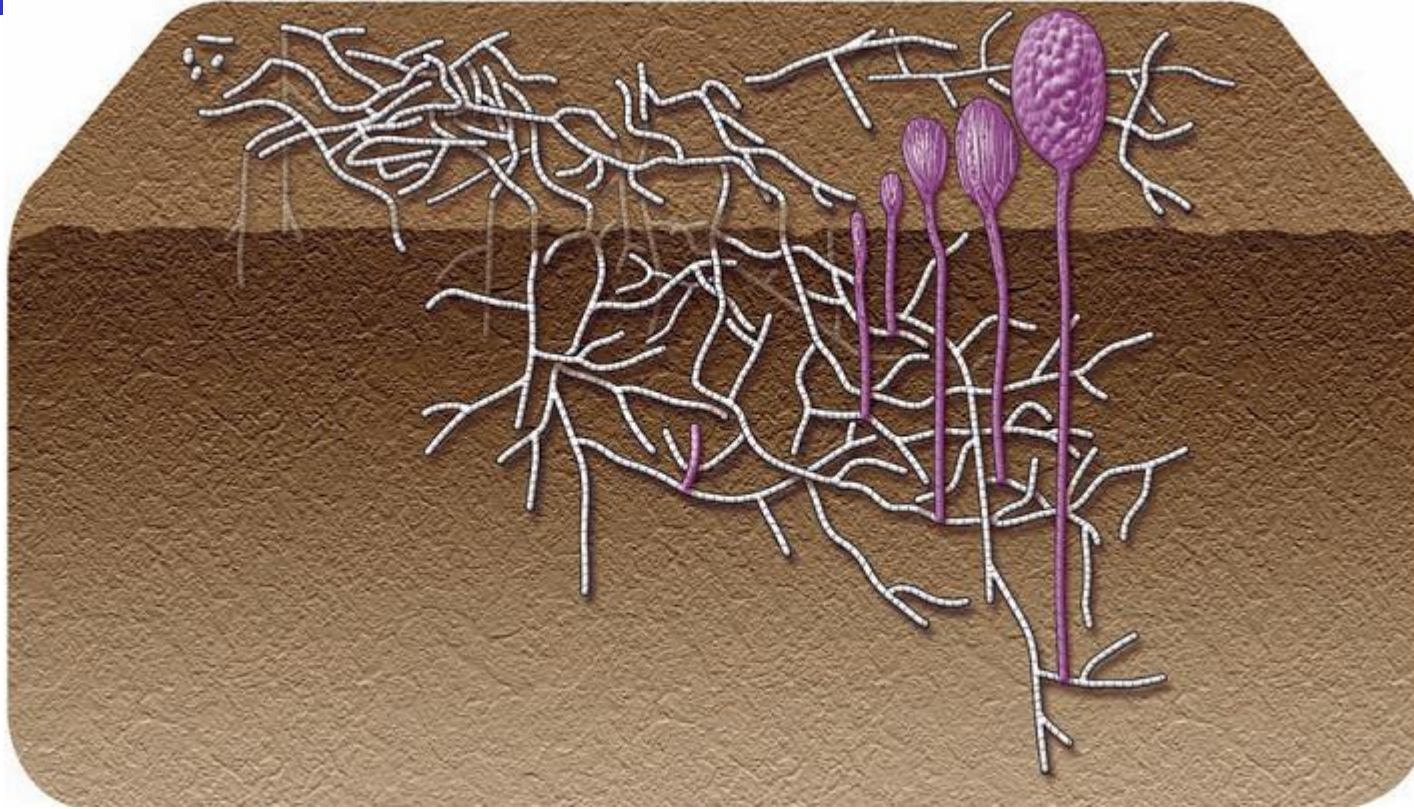


2. 原核微生物的类群





2. 原核微生物的类群



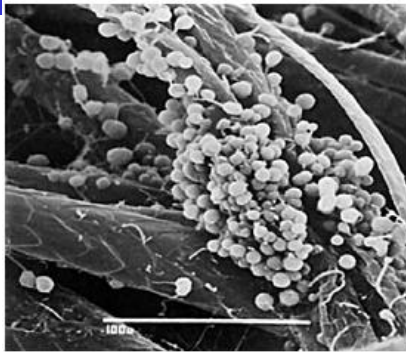
游动放线菌属 (Actinoplanete) 的孢子囊发育示意图.



不同的孢子丝的形态



2. 原核微生物的类群



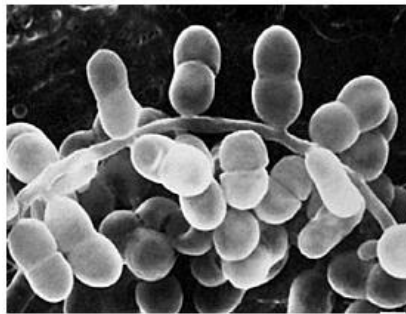
(a)



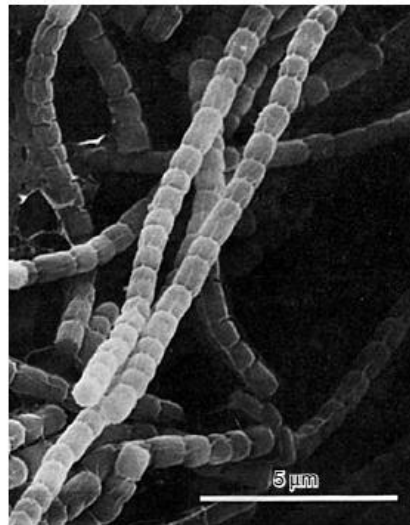
(b)



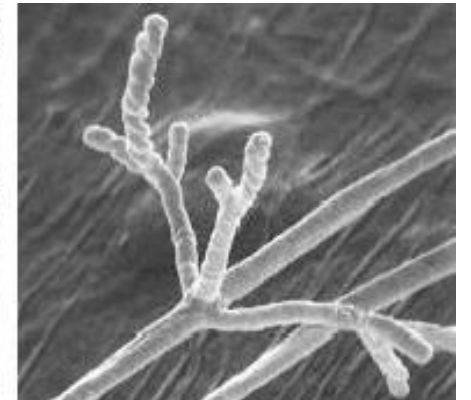
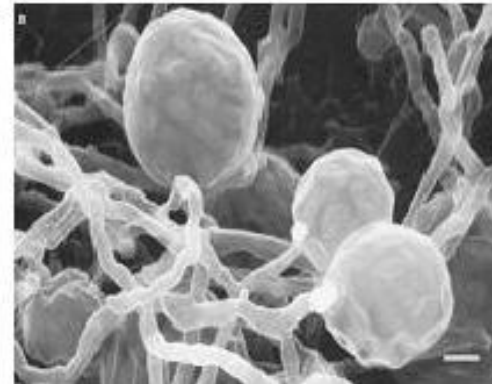
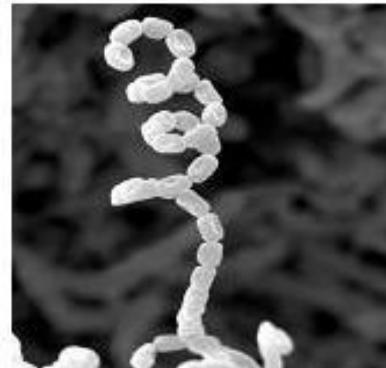
(c)



(d)



(e)





2. 原核微生物的类群

◆ 链霉菌 (*Streptomyces*)

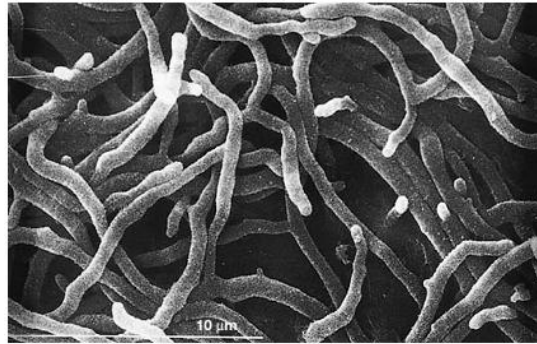
- 链霉菌属 (*Streptomyces*) 共约500多种，虽然一些链霉菌可见于淡水和海洋，但它主要生长在含水量较低、通气较好的土壤中，土壤中20%的微生物为链霉菌，是土壤中最多的微生物。链霉菌产生土嗅素 (geosmin) 赋予土壤以土腥味。
- 链霉菌有营养菌丝、气生菌丝和孢子丝，产分生孢子。固体培养有典型的三种菌丝，以孢子繁殖，光秃突变株不产孢；在液体生长一般只有营养菌丝，突变株也会产孢子。
- 链霉菌是重要的微生物的资源，在天然产物领域和医药领域，尤其在抗生素的生产方面，50%抗生素来源于链霉菌，典型的代表有氨基糖苷类的抗生素，大环内酯、安莎等。在抗癌、免疫抑制、降低胆固醇等方面有巨大的医药价值。链霉素的发现者Selman Waksman发明了抗生素“antibiotic”一词，本人获得1952年诺贝尔奖。
- 天蓝色链霉菌: *Streptomyces coelicolor* 是链霉菌研究重要的模式菌株



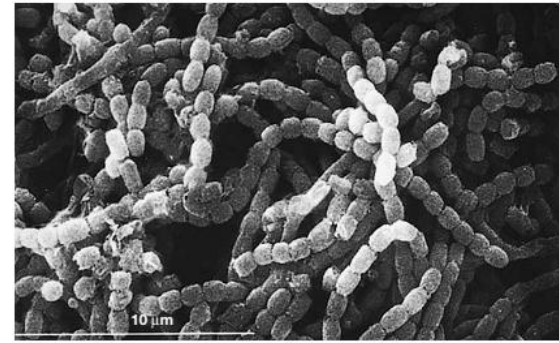
2. 原核微生物的类群



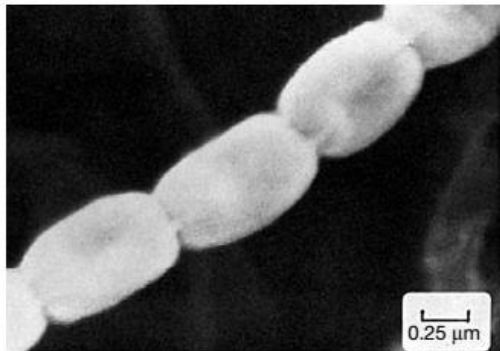
Growth of *Streptomyces coelicolor* on a solid substrate



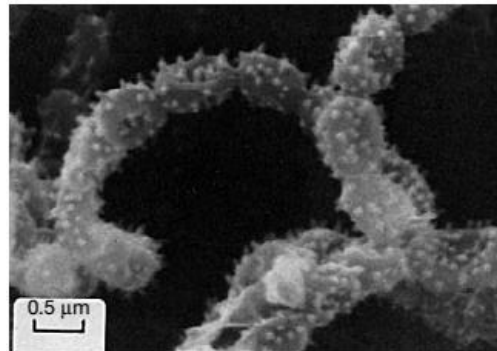
S. coelicolor vegetative hyphae



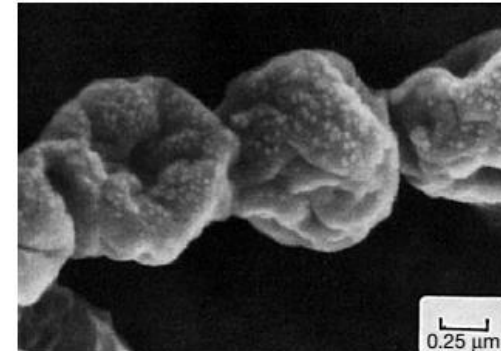
Chains of *S. coelicolor* spores



Smooth spores of *S. niveus*



Spiny spores of *S. viridochromogenes*.



Warty spores of *S. pulcher*



2. 原核微生物的类群

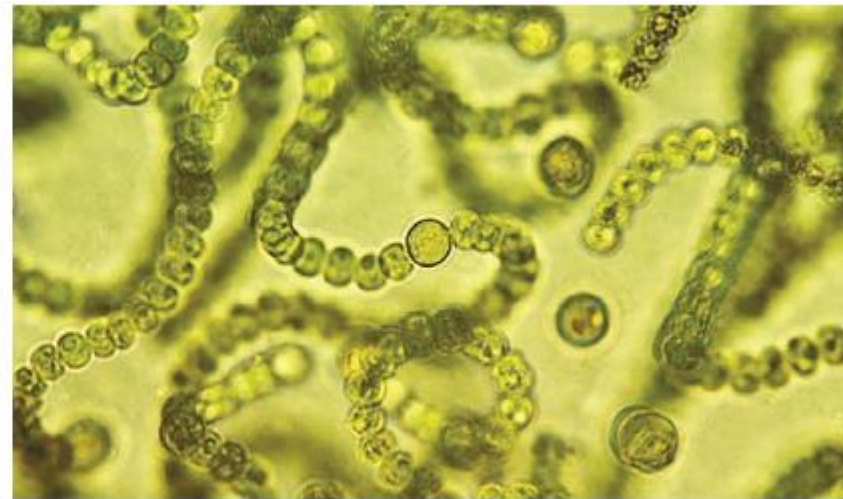
◆ 蓝细菌（Cyanobacteria）旧名蓝藻（blue algae）或蓝绿藻（blue-green algae）。

革兰氏染色阴性，无鞭毛，含叶绿素无叶绿体，可进行产氧光合作用的大型原核细菌；

- 古老的蓝细菌改变了大气的组成，为好氧生物的出现创造了条件，有“先锋生物”之美誉；
- 体积比一般细菌大，形态多样，分布广泛；
- 可引发赤潮和水华。



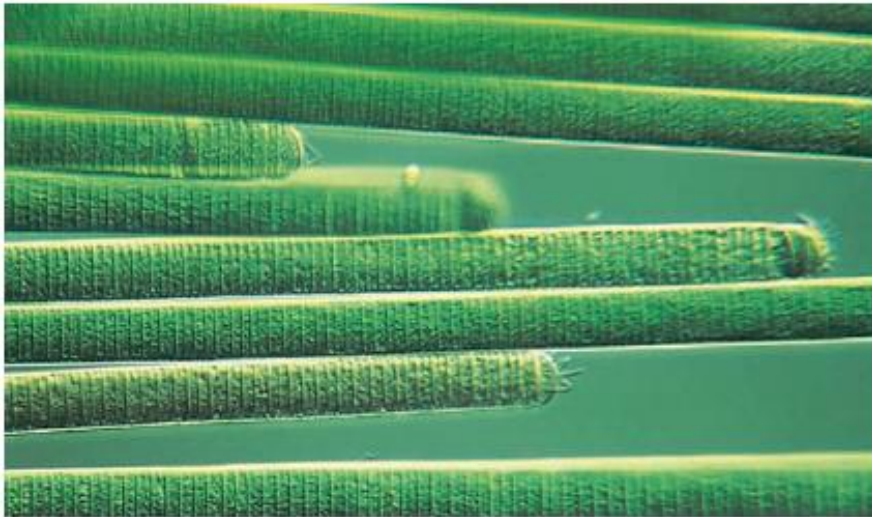
(a) *Chroococcus turgidus*



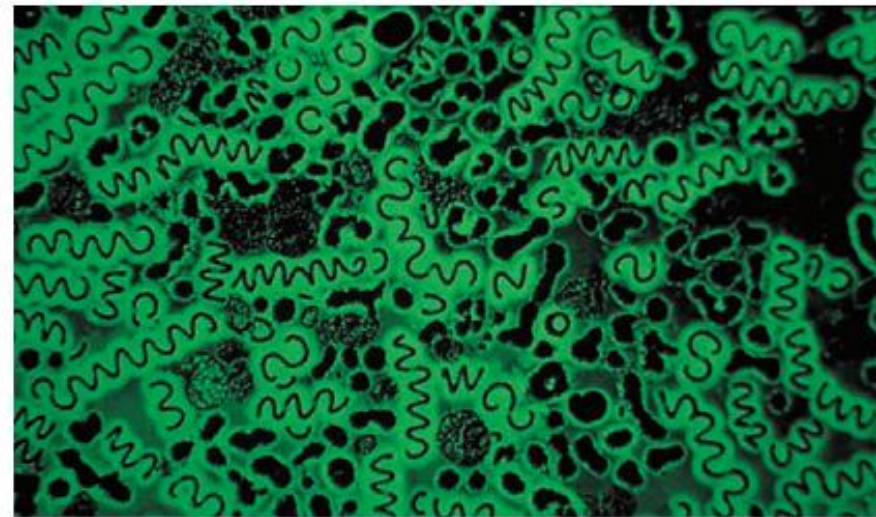
(b) *Nostoc*



2. 原核微生物的类群



(c) *Oscillatoria*



(d) *Anabaena spiroides* and *Microcystis aeruginosa*

Figure 21.8 Oxygenic Photosynthetic Bacteria. Representative cyanobacteria. (a) *Chroococcus turgidus*, two colonies of four cells each ($\times 600$). (b) *Nostoc* with heterocysts ($\times 550$). (c) *Oscillatoria* trichomes seen with Nomarski interference-contrast optics ($\times 250$). (d) The cyanobacteria *Anabaena spiroides* and *Microcystis aeruginosa*. The spiral *A. spiroides* is covered with a thick gelatinous sheath ($\times 1,000$).



2. 原核微生物的类群



Figure 21.11 Bloom of Cyanobacteria and Algae in a Eutrophic Pond.

蓝藻和真核藻类在富营养的池塘形成的水华 (bloom)。

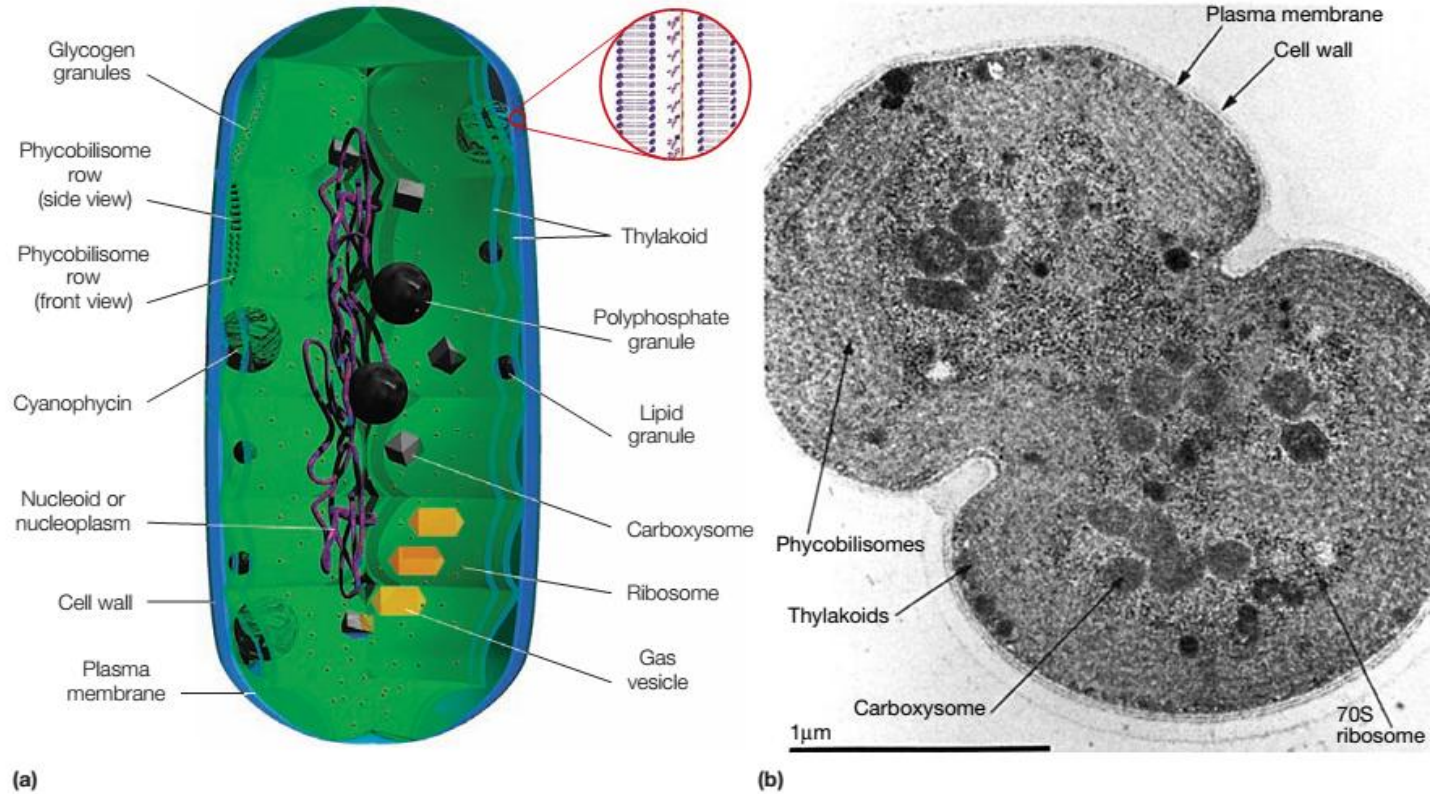
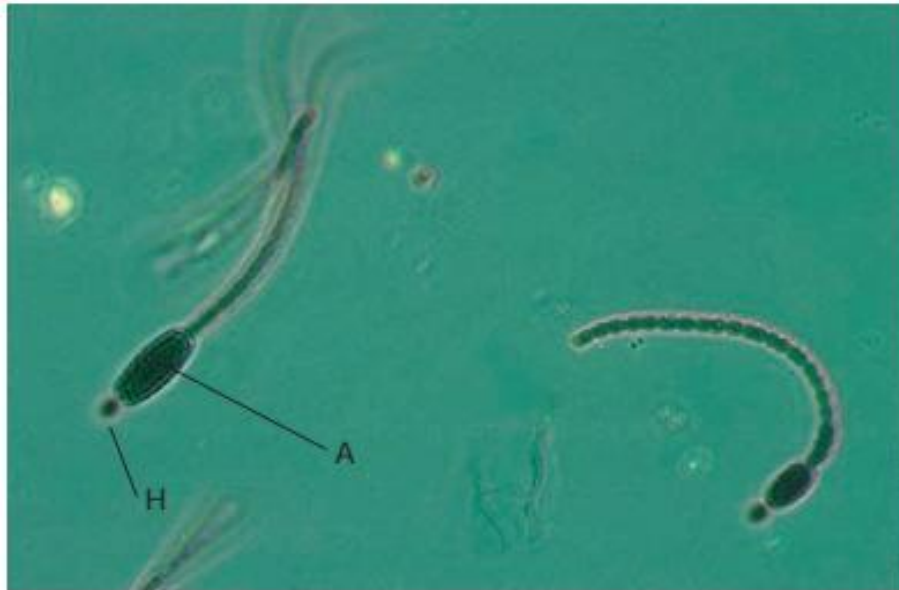


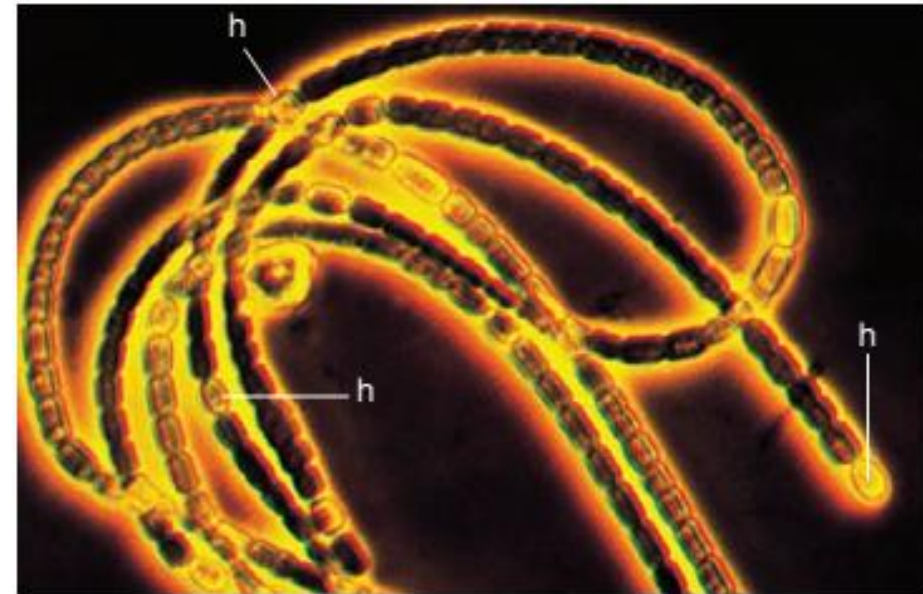
Figure 21.7 Cyanobacterial Cell Structure. (a) Schematic diagram of a vegetative cell. The insert shows an enlarged view of the envelope with its outer membrane and peptidoglycan. (b) Thin section of *Synechocystis* during division. Many structures are visible. (a) Illustration copyright © Hartwell T. Crim, 1998.



2. 原核微生物的类群



(a) *Cylindrospermum*



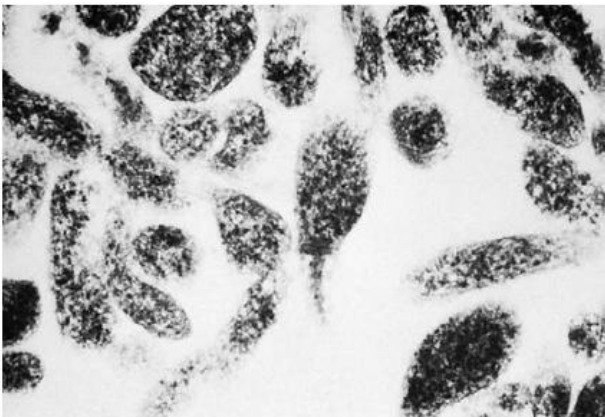
(b) *Anabaena*

Figure 21.9 Examples of Heterocysts and Akinetes.(a) *Cylindrospermum* 末端的异形胞 (heterocysts) (H)和次末端的静息孢子 (akinetes) (A) (X500). (b) *Anabaena* 的异形胞.

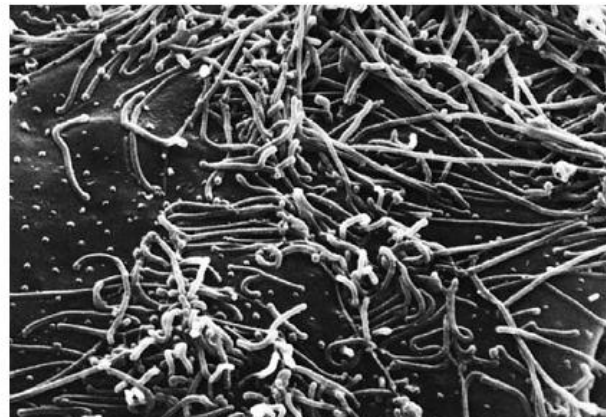


2. 原核微生物的类群

- ◆ 寄生性的细菌：革兰氏阴性，体积小，介于病毒与细菌之间，代谢能力差，需要宿主细胞提供营养或能量，属于软膜体纲（Mollicutes）。
- 支原体（**mycoplasma**）：无细胞壁，体积小；**细胞膜含甾醇**；对渗透压敏感；菌落小，以二分裂和出芽繁殖；基因组小，约为大肠杆菌的1/5；



(a)



(b)

Figure 23.3 The Mycoplasmas. Electron micrographs of *Mycoplasma pneumoniae* showing its pleomorphic nature. (a) A transmission electron micrograph of several cells ($\times 47,880$). The central cell appears flask or pear-shaped because of its terminal structure. (b) A scanning electron micrograph ($\times 26,000$).

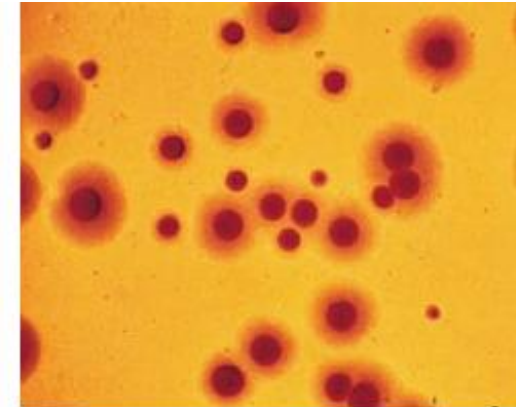


Figure 23.4 Mycoplasma Colonies. Note the "fried-egg" appearance, colonies stained before photographing ($\times 100$).



2.原核微生物的类群

◆ 生物特性

- 专性厌氧或兼性厌氧；
- 能合成生物大分子，生长需要维生素、脂肪酸、氨基酸、嘌呤和嘧啶，也需要甾醇；
- 没有完整的三羧酸循环途径，可通过磷酸戊糖途径和糖酵解途径产生ATP；
- 对四环素、红霉素和去污剂敏感。
- 经常污染哺乳动物细胞培养；
- 作为病原，在动物、植物和昆虫中经常寄生，可引起牛的牛传染性胸膜肺炎，鸡的慢性呼吸性疾病和猪肺炎等疾病；
- 目前鉴定的种有104种。

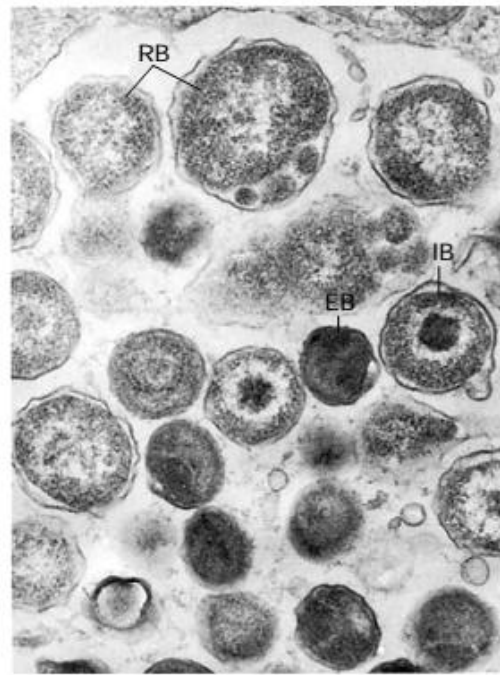


2. 原核微生物的类群

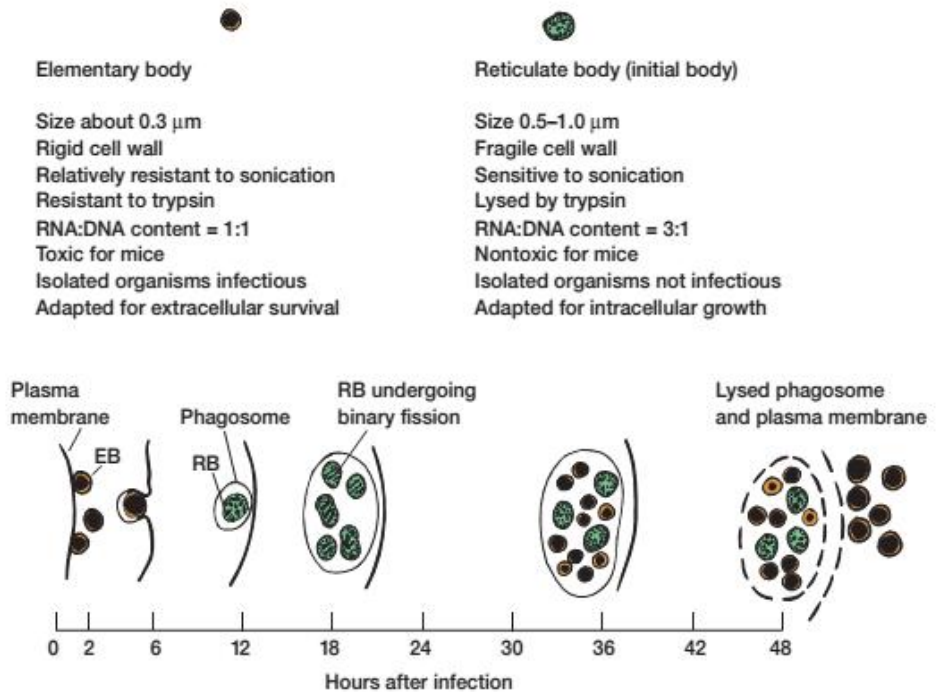
◆ 衣原体 (Chlamydiae) : 是一类专门在真核细胞内寄生的球状的小型革兰氏阴性细菌。

Figure 21.13 The Chlamydial Life Cycle.

- elementary bodies (EB), larger reticulate bodies (RB), and an intermediate body (IB) between EB and RB. The RBs accumulate high concentration of ribosomes.
- infectious cycle of chlamydiae.



(a)



(b)



2. 原核微生物的类群

值得中国人永远铭记的名字和学术史：汤非凡

◆ 生物特性：

- 有细胞构造；
- 有细胞壁，但无肽聚糖和磷壁酸；
- 缺乏产能系统，但能合成DNA、RNA、蛋白质和脂类；
- 革兰氏染色阴性，
- 对抑制细菌的抗生素和药物敏感；
- 有原体（elementary body）和始体（initial body）及中间体（intermediate body）
- 多数是病原，猫衣原体（*Chlamydia psittaci*）研究最为深入；
- 有较复杂的生活史。



汤非凡
(1897.7.23—1958.9.30)

1955年首次分离出沙眼衣原体（*Chlamydia trachomatis*）！



2.原核微生物的类群

- ◆ 立克次氏体 (**Rickettsia**)：是营专性的寄生性细菌，有细胞壁，无鞭毛，革兰氏阴性的细菌。

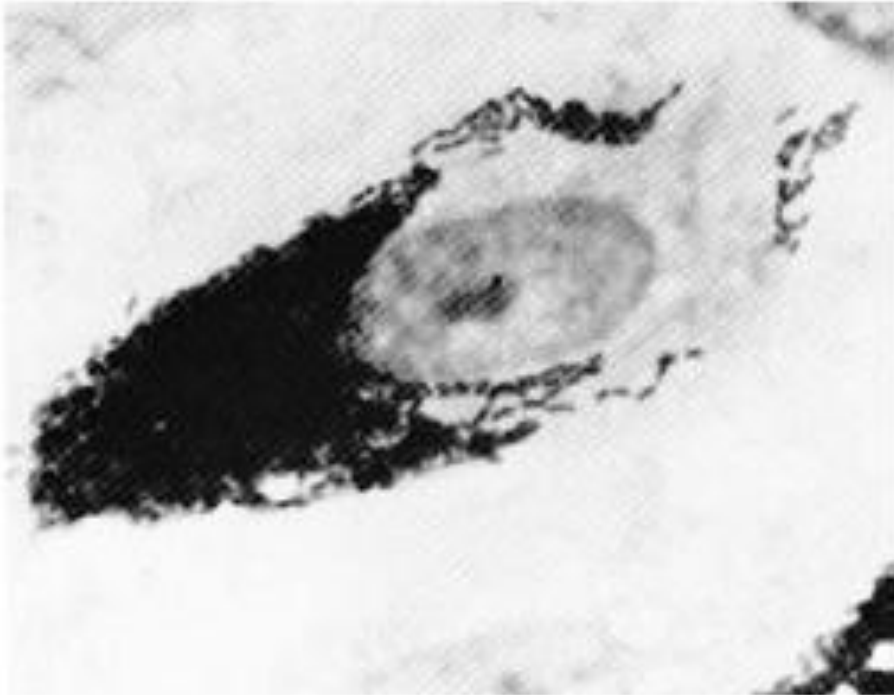
特点：

- 细胞较大，无滤过性；
- 形态多样，球形，杆状，双球状，杆状和丝状；
- 有细胞壁，LPS对宿主细胞有毒性；
- 以二分裂方式分裂，分裂一次8小时；
- 存在不完整的代谢途径，基因组相似线粒体的基因组；
- 对四环素和青霉素敏感；
- 对热敏感，56摄氏度30分钟可杀死；
- 培养在鸡胚和敏感动物或Hela细胞株。

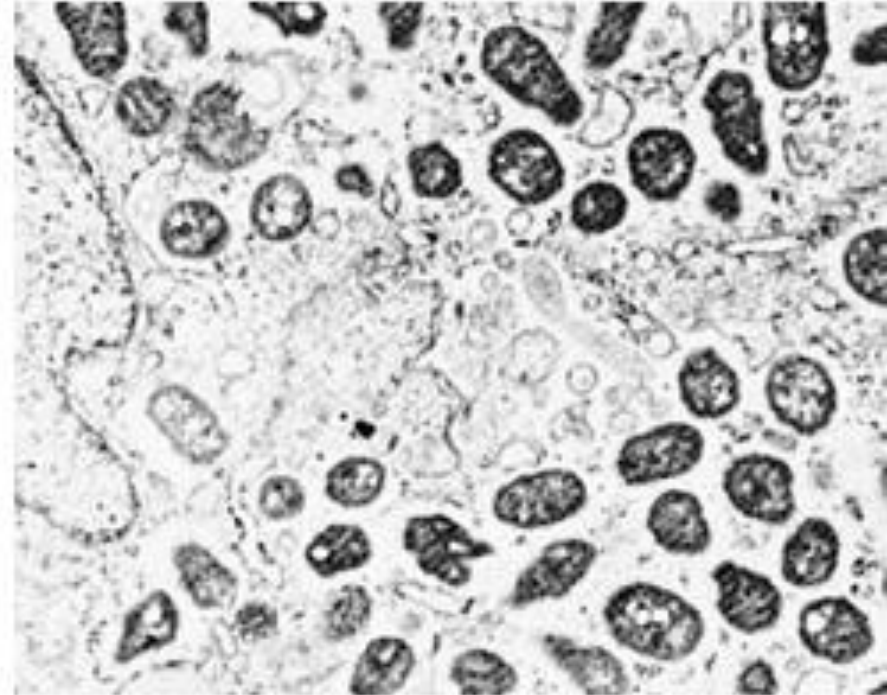
为纪念1910年为研究落基山斑疹伤寒 (Rocky Mountain typhus) 而献出生命的美国科学家H. T. Ricketts (1871-1910)，故名之。



2. 原核微生物的类群



(a)



(b)

Figure 22.4 *Rickettsia* *Rickettsial* morphology and reproduction. (a) A human fibroblast filled with *Rickettsia prowazekii* (x1,200). (b) A chicken embryo fibroblast late in infection with free cytoplasmic *R. prowazekii* (x13,600)



Thanks for your
attention!

