

细菌生理学纲要

蚌埠医学院微生物教研组

黄谷良 编

洪抡元 审

安徽省中等卫校微生物学校际教研组

1 9 8 0 年

前 言

1980年秋，我们邀请黄谷良教授为我省卫生厅举办的“微生物学师资班”讲授微生物学，为配合教学的需要，特将他编写的讲稿，经过选择汇集成册，并请蚌埠医学院院长洪抡元教授审阅，最后定稿并冠名为《细菌生理学纲要》付印出版。

本书简明地介绍了细菌生理学的一些基本原理与现代进展，内容主要放在探讨细菌表面与内部结构以及各结构的功能；细菌的染色特点及其在检查上的意义；细菌的生命活动规律与能量的获得和利用；理化、生物因素对细菌的损伤与在临床消毒、灭菌中的应用；以及细菌在理化因素作用下发生遗传特性上的改变等。我们希望本书对大专院校生物系、医学院校、中等卫校师生和科研工作人员以及从事医学卫生检验工作者能有一定的参考价值。

由于本书编辑和印刷的仓促，还由于我们缺乏在这方面的工作经验，因此错漏之处在所难免，仍希读者批评指正。

安徽省中等卫校微生物学校际教研组

1981年

目 录

第一章细菌的形态与构造.....	(1)
一、细菌的大小与形状.....	(1)
二、细菌的构造.....	(2)
三、细菌的 L 型.....	(19)
四、革兰氏染色法.....	(20)
五、显微镜.....	(23)
第二章细菌的生长与代谢.....	(25)
一、细菌的营养.....	(25)
二、细菌的代谢与能量的转换.....	(28)
三、细菌的个体生长.....	(38)
四、细菌的群体生长.....	(42)
第三章理化与生物因素对细菌的影响.....	(46)
一、物理因素的影响.....	(46)
二、化学因素的影响.....	(54)
三、生物因素的影响.....	(61)
第四章细菌的遗传与变异.....	(67)
一、DNA 与遗传	(67)
二、细菌变异的种类与机理.....	(71)
三、细菌的遗传工程.....	(83)
主要参考资料.....	(89)

第一章 细菌的形态与结构

细菌是一种单细胞生物。过去将生物分为植物与动物两大界，细菌属于植物界。近年来生物的分类已由三界、四界、五界以至六界。按六界分类可分为：病毒界、原核生物界、真核原生生物界、植物界、真菌界和动物界，细菌则属于原核生物界。原核生物细胞的细胞核比较原始，染色体不典型，无核膜，无细胞器，核糖体小（70S），有含胞壁酸的细胞壁，以二分裂繁殖。

细菌的大小与形状

测量细菌大小通常以微米（ μ 或 μm ）为单位。1微米等于1/1000毫米（表1-1）。常见的球菌平均直径约 $1.0\mu\text{m}$ ，杆菌约 $0.5-1\times 2-3\mu\text{m}$ 。不同种类细菌大小可以差别很多。测定细菌内部微细结构则以毫微米（ $\text{m}\mu$ ）为单位。1毫微米等于1/1000微米。

表1-1 微米与毫微米在米制中的地位

米（m）	丝米（ dmm ）= 10^{-4}m
分米（ dm ）= 10^{-1}m	忽米（ cmm ）= 10^{-5}m
厘米（ cm ）= 10^{-2}m	微米（ μ 或 μm ）= 10^{-6}m
毫米（ mm ）= 10^{-3}m	毫微米（ nm 或 $\text{m}\mu$ ）= 10^{-9}

同一种细菌在不同情况下大小也有差别，如干燥固定在玻片上的细菌比活菌小1/3。

表1-2

细菌的大小(μm)

菌 种	直 径	宽	长
葡 萄 球 菌	0.8~1.0		
链 球 菌	0.6~1.0		
流 感 杆 菌		0.2~0.3	0.5~ 2.0
鼠 疫 杆 菌		0.5~1.0	1.0~ 2.0
破 伤 风 杆 菌		0.3~0.4	3.0~ 5.0
炭 疽 杆 菌		1.0~1.3	3.0~10.0

细菌根据形态可分为球菌、杆菌与螺菌三大类。球菌由于分裂的平面不同,以及分裂后相互连接,有的细菌成双排列称双球菌,排列成链状称链球菌,聚集成堆称葡萄球菌。杆菌因种类不同可以大小差别很大,炭疽杆菌分裂相互连接成竹节状,白喉杆菌两端膨大成棒状。螺菌长而弯曲,仅一个弯者称弧菌,有几个弯者称螺菌。

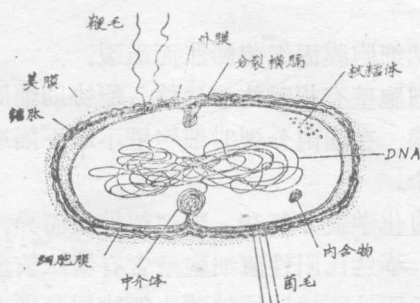
细菌的构造

细菌的结构可分表面结构、表面附件与内部结构三大部分。表面结构有细胞壁与粘着物,细胞壁比较坚硬,对细菌有保护作用,粘着物有荚膜或粘液层。表面附件有鞭毛与菌毛,鞭毛司运动的功能,菌毛有粘附作用。细菌的内部结构包括有细胞膜、细胞浆、核质以及细胞浆中的一些颗粒。有些细菌,如需氧芽胞杆菌与厌氧芽胞杆菌尚能产生芽胞(表1-3图1-1)。

一、细菌的表面结构

细胞壁

细胞壁(Cell wall)是细菌的最外层,厚度平均约10~25



细胞结构

表1-3

细菌的结构与功能

部 位	结 构	功 能
表面结构	细胞壁 荚 膜	保护细菌和维持细菌外形 保护细菌
表面附件	鞭 毛 菌毛 普通菌毛 性菌毛	运 动 吸 附 接 合
内部结构	细胞膜 细胞浆 核 质 芽 胞	呼吸、转运、合成 生命活动基础 遗 传 抵抗不良环境

nm, 紧贴在细胞膜之外, 坚硬而具有弹性, 能维持细菌外形与保护细菌的作用。

细菌的形态所以有球菌与杆菌, 主要靠细菌壁。用溶菌酶除去细菌的细胞壁。由于细胞膜柔软和细菌内部细胞浆表面张力的原因, 不论是球菌或是杆菌均变为圆珠状。细菌内部的渗透压很大, 革兰氏阳性菌有20~30个大气压, 革兰氏阴性菌有5~10个大气压。若无细胞壁的保护, 除非放在高渗的糖液或

盐液中，不然细胞膜因细菌膨胀而破裂。

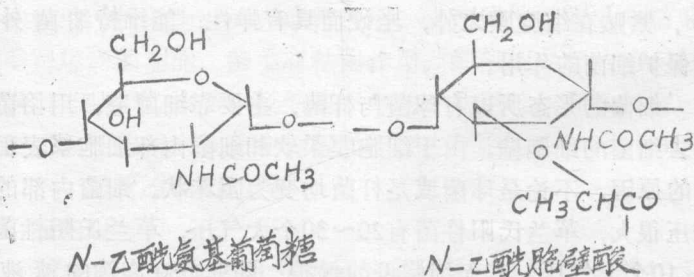
此外，细胞壁有相对的渗透性，能协助细胞膜完成细胞内外物质的交换。在细菌分裂时细胞壁不断下陷或形成横隔，使细菌分成二个。

细胞壁的化学成分复杂，因细菌种类而异。糖肽是细胞壁的主要成分。革兰氏阳性菌细胞壁含有糖肽较多，其他还有磷壁酸。革兰氏阴性菌糖肽层较薄，糖肽层外尚有大量脂多糖、外膜与脂蛋白。

1. 糖肽

糖肽 (Peptidoglycans) 是细胞壁的主要成分。细胞壁的所以坚硬带有弹性主要在于糖肽。革兰氏阳性菌中糖肽较厚，占细胞壁的绝大部分。按化学组成它与磷壁酸各占一半，磷壁酸参插在糖肽之间。革兰氏阴性菌糖肽层较薄，按化学组成仅占细胞壁的5~15%，外面尚有脂多糖、外膜与脂蛋白三层结构的复盖。

糖肽由肽链与多糖支柱组成。多糖是由N-乙酰胞壁酸与N-乙酰氨基葡萄糖间隔排列组成的支架。各种细菌细胞壁中的多糖链支柱是相似的。



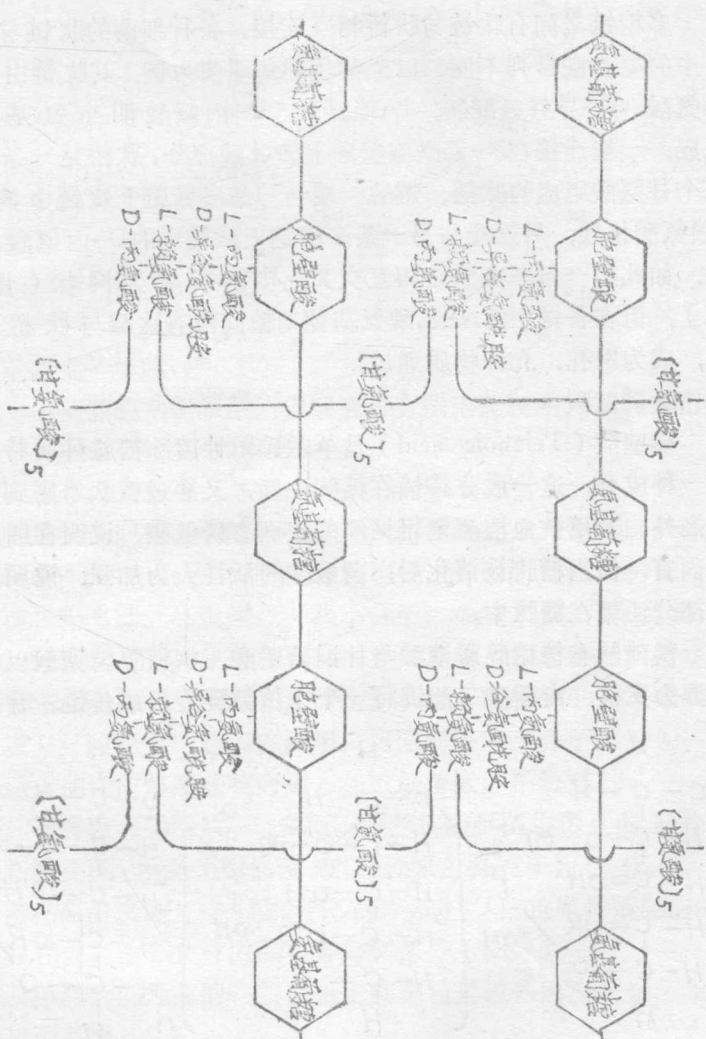


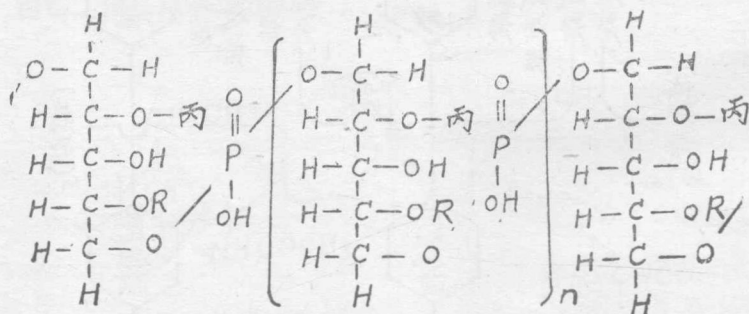
图1-2 金黄色葡萄球菌细胞壁糖肽结构

多糖链之间有肽链与肽桥相互连接。各种细菌的肽链与肽桥中的氨基酸排列不同。以金黄色葡萄球菌为例：其肽链由L-丙氨酸、D-异谷氨酰胺、L-赖氨酸、D-丙氨酸四个氨基酸组成，一端连接在N-乙酰胞壁酸上的乳酸部分。肽桥是一条由五个甘氨酸组成的肽链。链的一端与一条多糖链上肽链中的L-赖氨酸相连，另一端与另一条多糖链上肽链中的D-丙氨酸相连，如此将一条条多糖链相互交叉连接起来成为网状（图1-2），但在各链中的N-乙酰氨基葡萄糖间没有肽链与肽桥相连，成为网孔，允许物质通过。

2. 磷壁酸

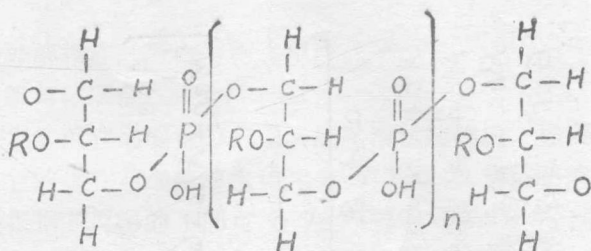
磷壁酸（Teichoic acid）是革兰氏阳性菌除糖肽外所特有的一种成分，这一成分掺插在糖肽中间，又穿过糖肽暴露到糖肽之外。若用抗血清测定可见细菌表面有磷壁酸，说明在细胞表面有。但当糖肽被消化后，磷酸壁的活性大为加强，说明主要部分还埋在糖肽中。

磷壁酸有核糖醇磷壁酸与甘油磷壁酸。核糖醇磷壁酸以核糖醇为支柱，由磷酸二酯键将一个个核糖醇连接成长链。甘油



核糖醇磷壁酸

金黄色葡萄球菌



甘油磷壁酸

干酪乳酸杆菌

磷壁酸也是如此。

磷壁酸的功能不明，磷壁酸带有阴电荷较多。革兰氏阳性菌带有阴电荷较多可能与之有关。

3. 外膜、脂蛋白与脂多糖。

革兰氏阴性菌中的糖肽较薄，而主要部分为这三层。外膜 (Outer membrane) 由脂质双层构成，外膜的里面接脂蛋白，外面接脂多糖。外膜能让一些小分子，如氨基酸、糖类等透过。通透性在于外膜中相嵌的一些蛋白质。这些蛋白质的作用似乎不在于与小分子结合，而是为小分子在膜中形成了亲水性通道。外膜也有一定屏障作用，可阻碍某些大分子的进入。故革兰氏阴性菌对某些抗菌素，如放线菌素，不敏感。

脂多糖包括脂质A与多糖。革兰氏阴性菌内毒素的毒性主要在脂质A。革兰氏阴性菌的O-抗原主要有多糖部分。革兰氏阴性菌的多糖分O-抗原与核心二部分。O-抗原暴露在外，核心在内。核心又分内层与外层两部分 (图1-3)。

革兰氏阴性菌的O-抗原由于其中糖类排列比较复杂，单独沙氏菌就有100多种。

脂蛋白的作用主要是将外膜与糖肽连接在一起。脂蛋白的

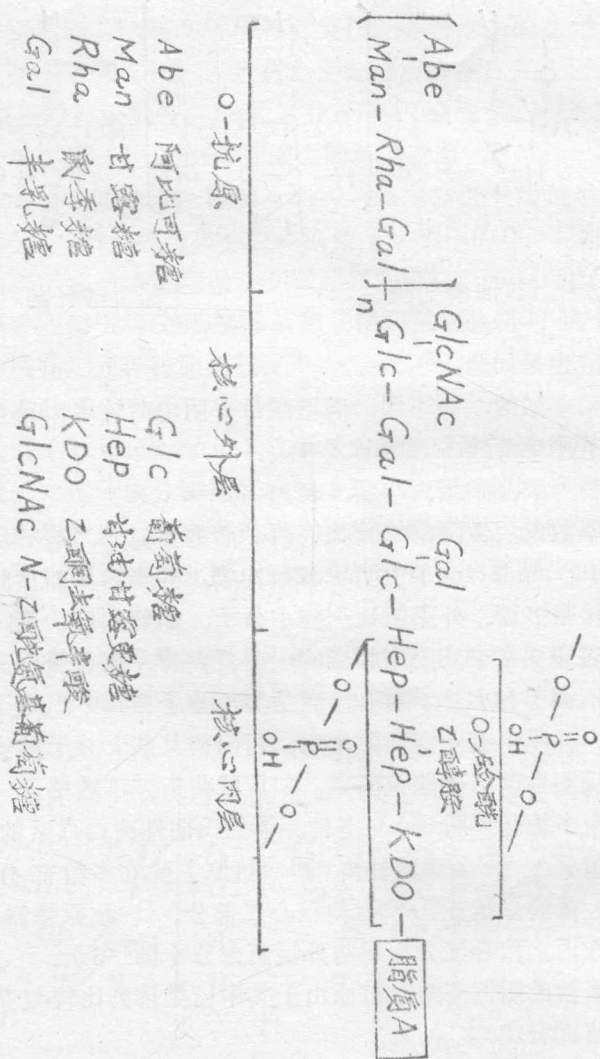


图1—3 大肠杆菌细胞壁的脂多糖

脂质与外膜相连，蛋白与糖肽相连。

荚膜与粘液层

许多细菌在细胞壁外包围一层粘液状的物质，称荚膜或粘液层。它的存在与细菌的生命无关。将其除去，细菌仍能存活。这一层根据其厚薄的不同可分为荚膜（Capsule）、微荚膜（Microcapsule）和粘液层（Slime layer）三类（图1-4）：

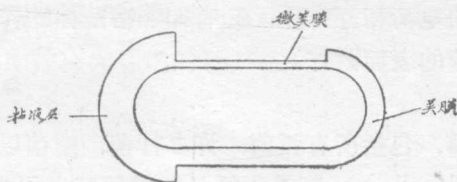


图1—4 细菌荚膜、微荚膜与粘液层

1. 荚膜 厚度超过 $0.2\mu\text{m}$ ，在普通显微镜下可见，折光率强，呈发亮的一圈，边缘有明显的界面。荚膜不易着色，染色后呈空白的一圈。

2. 微荚膜 厚度小于 $0.2\mu\text{m}$ 。在普通显微镜下不易看清，但能由血清反应测出。化脓性链球菌的M蛋白、伤寒杆菌的Vi抗原即属于微荚膜。有人将肠道杆菌的O-抗原归于微荚膜，但亦有不同的意见，认为O-抗原是革兰氏阴性菌细胞壁的一种成分。

3. 粘液层 粘液层呈胶状疏松地粘附于细胞表面，边缘界面在显微镜下不太明显，它容易被洗脱或溶解到培养基中。

大多细菌的荚膜由多糖组成，可以是同多糖（仅含有一种糖类）或杂多糖（由几种糖组成），炭疽杆菌的荚膜则由多肽组成。

荚膜的产生受环境因素的影响。从机体新分离的细菌有较厚的荚膜。在营养丰富的培养基上生长，能保持荚膜的产生。培养基中含有大量碳水化合物，可促进荚膜多糖的合成，在营养较差的培养基中多次传代，则荚膜逐渐消失。已经失去荚膜的细菌通过动物，又可使荚膜恢复。

荚膜的功能在于保护细菌抗拒吞噬，荚膜的抗吞噬作用在于：1. 比较滑使吞噬细胞不易捕获；2. 表面带有电荷，与吞噬细胞伪足上的电荷相互排斥；3. 有抑制溶酶体的作用。

二、细菌的表面附件

鞭毛

许多细菌，包括所有弧菌、许多杆菌、螺菌以及少数球菌均有鞭毛（Flagella），鞭毛为纤长的细丝突出于细菌之外，呈螺旋状弯曲。鞭毛是细菌的运动器官，除去鞭毛，运动能力即丧失。各种细菌鞭毛的螺纹有一定波长，但也有细菌同时有两种波长的鞭毛。

细菌根据鞭毛的数目与排列分为三类：

1. 单毛菌 只有一根鞭毛，位于菌体一端，如霍乱弧菌。

2. 丛毛菌 在细菌的一端或二端长有一束鞭毛，前者如产碱杆菌，后者如绿脓杆菌。

3. 周毛菌 鞭毛分布在菌体周围，如伤寒杆菌、变形杆菌等。

鞭毛的结构分丝状体、钩与基础颗粒三部分：

1. 丝状体 丝状体（Filament）突出在细菌菌体之外，由鞭毛蛋白构成，鞭毛蛋白与骨骼肌的肌纤蛋白相似，呈纤丝状，在电镜下可见鞭毛蛋白呈螺旋状排列在丝状体的周围，使

丝状体呈管状，丝状体可向一个方向不断转动。

2. 钩 钩 (Hook) 是丝状体与基础颗粒的连接点，也是鞭毛从菌体伸出之处。鞭毛从菌体伸出，突然弯曲。该处也比丝状体略粗。

3. 基础颗粒 (Basal granules) 位于鞭毛的根部，埋于菌体内。基础颗粒有两对环组成，远端的一对连接在革兰氏阴性菌的O-抗原上，近端的一对连接在细胞膜 (图1-5)。鞭毛的运动需要能量，细胞膜内有呼吸链，可以供给需要的能量。革兰氏阳性菌无远端的环。

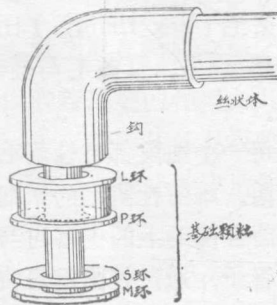


图1-5 鞭毛的基础颗粒

菌毛 菌毛或称纤毛 (Fimbria或Pili)，某些革兰氏阴性菌有。菌毛纤细，密布在菌体四围，在普通光学显微镜下不能看到，必须在电子显微镜下才能看到。菌毛有两种：

1. 普通菌毛 普通菌毛 (Common fimbria) 短而直，数量多，每一细菌约有150~500根。有的细菌的普通菌毛能吸附在动植物细胞上 (包括人的消化道、呼吸道和泌尿道的上皮

细胞)上。若吸附在动物的红细胞上则能引起红细胞凝集现象,菌毛根据形态、分布的数目、吸附特性、与抗原特性等可分为六型。肠道杆菌中最多见的是I型,其他仅见于少数细菌,I型有粘附与菌膜形成的特性。I型吸附各种动物红细胞的能力强弱次序为:

豚鼠>马>鼠及兔>人

但不吸附牛和羊的红细胞。

有认为菌毛与致病有关,菌毛吸附在肠壁上皮细胞上有助于细菌的侵入与致病,细菌在体外多次传代可以失去菌毛,同时也失去致病性,根据菌毛的吸附原理,检查细菌能否使红细胞凝集来测定细菌是否有菌毛。

2.性菌毛 性菌毛(Sex fimbria)比普通菌毛略粗而长。一般一个细菌不超过4条,性菌毛与鞭毛不同,鞭毛遇酸分解,性菌毛则不能。

一种细菌中不是每一个细菌都有性菌毛。有性菌毛者称雄菌,无性菌毛者称雌菌。雄菌性菌毛的末端有一个疙瘩,雌菌的表面上有受体,雄菌性菌毛上的疙瘩可与雌菌的受体结合,性菌毛是一个中空的管子,通过性菌毛可将雄菌中核质以外的遗传物质(质粒)传递给雌菌。雄菌中有一种质粒称性因子。大肠杆菌的性因子称F因子,研究较多。当雄菌将性因子传递给雌菌后,雌菌亦能长出性菌毛而转变为雄菌。

三、细菌的内部结构

细胞膜

细胞膜(Cell membrane)是一层柔软的薄膜紧贴在细胞壁内。细胞膜实际不是固态,而是由“液态相嵌脂质双层”构成,主要成分为磷脂与蛋白质。

磷脂的结构中有磷酸与长链脂肪酸。二者由甘油相连。故磷脂具有两端：脂肪酸的一端疏水；甘油与磷酸的一端亲水。细胞膜主要就是由两层磷脂构成，两层磷脂中的疏水端相对而亲水端相背，蛋白质颗粒则以不同程度相嵌在此“脂质双层”中（图1-6）

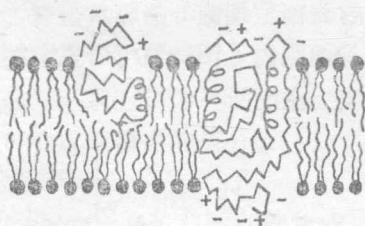


图1-6 细胞膜的结构折叠的肽链相嵌在脂质双层之中

细胞膜在细菌内起着重要的作用，其功能有：

一、渗透与转运 细菌从外界吸收营养物质与排出废物都必须经过此膜，此膜有选择性渗透作用，根据需要控制物质的输入与排出。

1. 主动转运 (Active transport) 细胞的吸收与排泄不能单靠简单的扩散。很少有物质可以透过脂质双层的膜由浓度高的一方向低的一方转运，目前知道在转运时膜中还需要有一种载体来携带物质，从膜的一边运向另一边。载体是一种蛋白质，当在转向膜的外边时有高亲和力，可与某种物质结合，而在转向膜的内边时则亲和力降低将物质放出。

单独载体只能协助与加速物质转运，称为易化扩散，并不能使物质逆浓度梯度转运，而事实上细胞有时尚能主动转运，将物质从浓度低的一边相反运向浓度高的一边。这就需要能

量的参与。所以除了需要有载体外，还需要有代谢能（氧化还原）的参加。

2. 基团移位 (Group translocation) 这是通过磷酸化来协助物质（主要是一些糖类）的转运。细胞膜内有一种耐热的蛋白质载体 (HPr)。首先将此载体磷酸化，而后此磷酸化的载体在细胞膜的表面使细胞外的糖磷酸化，并协助磷酸化的糖由细胞外转运到细胞内（图1-7）。基团移位分二步进行：

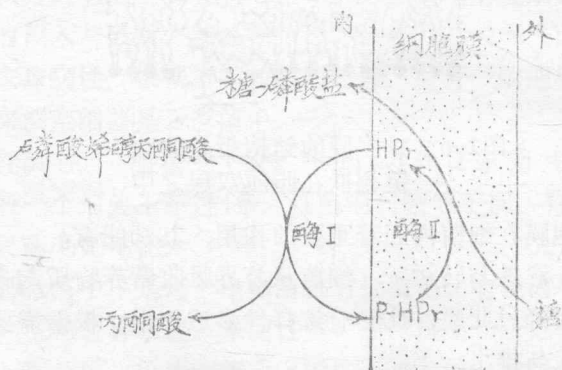


图1-7 基团移位转运

第一个反应



第二个反应



二、呼吸 真核细胞的呼吸链在线粒体中，细菌属原核细胞没有细胞器。呼吸链在细胞膜内，底物中脱下的氢和电子