

# 细胞生理学 与生物化学

---

[美]W. D. 麦克尔罗伊 著

科学出版社

# 细胞生理学与生物化学

[美] W. D. 麦克尔罗伊 著

杨松榆 梁 康 译

科 学 出 版 社

1 9 7 8

## 内 容 简 介

本书简明地介绍了细胞生理学与生物化学的基本知识与现代进展，重点在于探讨细胞的结构与功能的相互关系以及奠定细胞生命活动基础的各种基本过程。内容包括：细胞结构与功能，基本的生物物理化学知识，细胞内容物的化学，能量代谢，糖、脂肪、氨基酸的代谢，光合作用来和光生物学过程，遗传化学与蛋白质生物合成，细胞代谢控制等。全书共分十一章，附有参考书目。

本书可供细胞学，生物化学，遗传学，植物生理学工作者以及大专院校生物系和医学系师生参考。

W. D. McELROY  
**CELL PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY**  
3rd edition 1971  
PRENTICE-HALL, INC.

## 细胞生理学与生物化学

【美】W. D. 麦克尔罗伊 著  
杨松榆 梁 康 译

\*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

天津市第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1974年8月第一版 开本：787×1092 1/82  
1978年8月第二次印刷 印张：5 7/8  
印数：11,151—53,550 字数：131,000

统一书号：3031·225

本社书号：375·13—6

定 价： 0.60 元

## 译 者 的 话

本书是麦克尔罗伊 (W. D. McElroy) 和斯旺森 (G. P. Swanson) 主编的“现代生物学基础丛书”中的一册。鉴于细胞是除病毒、类病毒、立克次体外所有现存生物的基本组成单位，细胞的各种复杂的生物化学过程则是其生长、分化、繁殖和实现各种生理功能的物质基础，因之，本书所探讨的问题在生物学上有一定的意义。本书在扼要阐述细胞生理学与生物化学上的重要发现的过程中，介绍学科领域内的知识概貌和现代进展，注意反映出生物科学与物理学、化学、数学等其他学科之间的联系。书中广泛采用图解，配合正文深入浅出地说明各种比较复杂的机理。

对于本书内容，“如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。”

中译本免去原序而添加了一个略语表，并对原书内容中某些在专业上显系笔误或者描述不够清楚的地方稍予补正，还择写了若干新的注释，以期使这本书所介绍的基本知识较为完备。但是，限于我们的学识水平，译文中不妥之处在所难免，敬希广大读者批评指正。

杨松榆 梁 康

一九七三年十月

# 目 录

译者的话	iv
引言	1
第一章 细胞	3
细胞结构与功能	3
细胞膜和渗透环境	3
主动运输	10
胞饮现象和吞噬现象	12
第二章 细胞内容物的化学：光与分子的相互作用	14
光是什么？	14
分子结构与光的吸收	17
分子结构与旋光作用	20
第三章 细胞内容物的化学：蛋白质	24
蛋白质的组成	25
酸与碱	28
蛋白质的酸碱性质	29
蛋白质的分离	31
纯度的标准	33
蛋白质的结构	38
蛋白质的二级和三级结构	44
第四章 细胞内容物的化学：酶	47
酶的命名	48
温度对反应速度的影响	48
酶-作用物复合物	51

酶的抑制物	54
维生素和无机元素与酶功能的关系	58
酶的用途	59
<b>第五章 代谢的能量问题</b>	60
氧化作用与能量	63
高能键	66
<b>第六章 生醇发酵</b>	70
糖化学	71
葡萄糖的磷酸化作用	74
3-磷酸甘油醛的氧化	77
3-磷酸甘油酸的代谢	80
<b>第七章 酵解作用</b>	83
酵解作用的开始几步	87
其他氧化剂使还原型 DPN 氧化	93
二氧化碳与生成各种电子接受体	97
<b>第八章 氧化性代谢</b>	100
丙酮酸的氧化	100
脂类	106
脂肪酸的氧化	109
酶复合体	113
氨基酸代谢	114
糖代谢的其他途径	123
总结	125
<b>第九章 能量转换方面的特殊问题</b>	128
光合作用	128
光合作用和大气	133
叶绿素的产生	133
光合作用作为能源	134

视觉	135
生物发光	137
光对生物学过程的效应	139
<b>第十章 蛋白质合成的控制</b>	<b>143</b>
遗传物质的化学	145
DNA 的功能	149
DNA 和 RNA 之间的关系	152
蛋白质合成	153
<b>第十一章 细胞代谢的控制</b>	<b>164</b>
产物与酶活性的反馈抑制	166
酶合成：诱导和阻遏	168
蛋白质亚单位与活性的控制——激素的效应	171
膜活性的控制	174
<b>参考书目</b>	<b>177</b>
<b>略语表</b>	<b>179</b>

## 引 言

我们必须通过放大镜或显微镜来窥视，方能观察单个细胞的各种生动的性质。多年来，生物学家们曾对原生质在细胞内的流动、细胞的大小和形状的不断变化、细胞缓慢地趋光或避光的运动等等特性感到惊异。然而，在超越显微镜的解象力之外存在着更为微观的物质领域，即，组成一切物质的最终结构的分子和原子的世界。生物学家们承认细胞的各可见部分的重要性，但是他们也知道原生质的亚显微分子模式的知识对我们理解细胞的结构与功能是同样必不可缺的。因此，为着弄懂基本的生物学现象，今日的生物学家必须熟悉化学和物理学方面的最新发展。

生物化学家的主要目的是要描述和分析机体内所发生的各种化学变化。对有生命体系的化学所进行的各种研究已经证明，无论植物的、动物的或者微生物的各个个别的细胞，不管结构上的种种巨大差别，但在生活机能上基本相似。细胞生理学家们正在力求依次阐明：机体和细胞对其周围环境的反应；细胞生长、复制和繁殖的机理；细胞从环境中摄取营养物的能力；机体的代谢机器的功能与其管制的方法。生物化学是一门仍处于其幼年时期的科学；它由于迄今所得之发现，已经在各种生物影响到农学、医学、营养学以及其他较古老学科的时候，广泛地说明了动植物的机能的各个方面。生物化学知识在解决各种实际问题上的效力，取决于我们精通生命化学基本原理的程度。在生物化学学科与其他科学领域中有越来越多的年青科学家正在把他们的注意力转向某些主要的社



会性问题。在边缘学科对大气和水的污染、人口增长以及世界食品供应等问题进行探讨时，生物化学家们可以作出重要的贡献。

因此，生物化学不只包括有机化学家们对于细胞的工作零件的结构解析。生物化学家和细胞生理学家们必须搞清楚结构和功能之间的关系，从而使我们最终将能够用化学和物理学术语去解释许多至今仍然面对着我们的难解之谜：细胞周围环境的本质和细胞对该环境的各种变动的抵抗及适应能力；细胞核、线粒体(与其酶的排列)、微粒体<sup>1)</sup>、以及调节物质输入或运出细胞的细胞膜等的机能意义；各种营养需要的意义和维生素、无机离子、蛋白质、脂类及糖在细胞代谢中的重要性；最后，细胞利用化学物质中贮存的或潜在的能量并因此使机体能活动、说话、思维与生殖的能力。

以上所述是生物化学和细胞生理学的若干努力目标。虽然在最近三十年期间我们的知识以空前的速度增长了，许多有趣的和必需的工作却仍有待于我们去完成。在这本简洁的书中，我们将把生物化学和细胞生理学的最重要的各个方面介绍给读者并讨论它们怎样奠定了生命的各种基本过程的基础。

---

1) 微粒体是破碎细胞后用离心技术分离出的一种亚细胞部分。它是由脂蛋白膜形成的囊泡，在膜上附有核蛋白体。完整细胞中有内质网，但不存在微粒体。微粒体是内质网的碎片——译者注。

# 第一章 细 胞

## 细胞结构与功能

细胞的大小、结构和功能虽然是在这部丛书的另一册中予以详细的讨论\*，我们仍有必要简洁地复习一下主要的细胞器以及它们在细胞机能中所起的作用。各种细胞的大小和形状差别悬殊，但绝大多数却均有相同的细胞内的组织体制，即：含有围以核膜的细胞核(细菌及蓝绿藻中无细胞核)和包裹在细胞膜内的细胞质(图 1-1)。细胞核和细胞质中还有许多较细微的结构，如细胞核内有核仁、染色质(遗传物质)，细胞质内有线粒体、内质网、溶酶体、核蛋白体等；我们在全书中将探讨它们对于细胞机能的重要性。若干在细胞生理学和生物化学上用到的细胞类型列示于表 1-1 中。

## 细胞膜和渗透环境

当把细胞置于适宜的营养环境中时，细胞即增长并繁殖，分裂为两个与其母细胞显然相似的子细胞。但是，因为物质必须首先穿过细胞膜而进入至合成细胞组分的机构中，机体外的营养物即便近在手边也不意味着机体一定能够利用它。细胞的全部食物和代谢废物都必须穿过这层膜，为此，凡透过的物质必定是在某种程度上可溶于细胞外液或细胞原生质中的。既然不是所有的溶解物质都能以同等的速度透过膜，我们

---

\* 参看：C. P. Swanson, *The Cell*, 3rd ed. (Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1969).

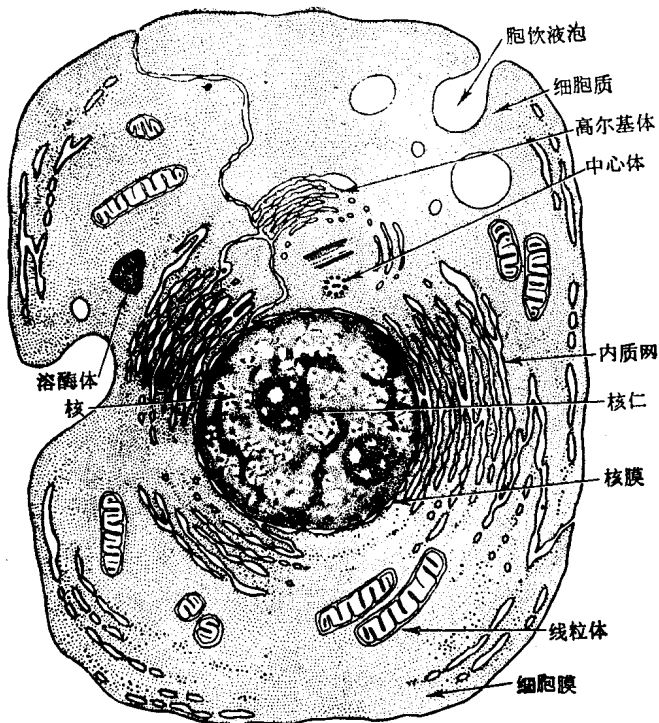


图 1-1 再造的细胞,展现了电子显微镜显示的一般细胞的各种组分。

就把膜称作有选择性的,而这种选择性对于维持细胞的生命是极为重要的。虽然细胞膜是细胞内环境的首要决定因子,其他细胞内单位——核、线粒体、微粒体等等——也有管制其自身内环境的选择性膜。若干因素,包括激素、离子环境、代谢能量、酸度、以及温度,影响所有这些膜的渗透性。

两个不同的溶液被选择性地可渗透的膜一隔开,便建立了一个渗透系统。每个细胞就代表一个渗透单位,因为选择性膜总是夹在内部的原生质和外部的溶液之间,并且大量的水和较少量的溶解的物质不断地穿过膜而进出细胞。然而,

表 1-1 细胞类型(按 Giese 氏略加修改)

名称	典型形状	范 例	通过每一型研究的现象
上皮	立方形或 砖形	动植物表皮	细胞膜的渗透性
肌肉	纺锤形	平滑肌和横纹肌 细胞	应激性——电冲动的传导
血液	圆盘形或 阿米巴形	红血细胞和白血 细胞	渗透性, 阿米巴运动
卵	通常球形	海胆卵, 蛙卵	原生质结构, 渗透性, 核的 功能
精子	通常有鞭毛	海胆精子	机动性, 核蛋白的功能
原虫	形状不一	阿米巴, 草履虫	阿米巴和纤毛运动, 核的功能
单细胞藻类	形状不一	小球藻	光合作用
单细胞真菌	形状不一	酵母	发酵及一般代谢
丝状真菌	细长形	链孢霉, 面 包霉	细胞代谢控制, 生物合成途 径, 一般代谢和核酸的功能
细菌	形状不一	大肠杆菌	
病毒	形状不一	烟草斑纹病毒, 噬菌体	核蛋白的结构与功能

在考虑复杂的渗透过程以前, 让我们先 审察一下在单一溶液范围之内的分子自发移动。

任何溶解的物质若浓集于溶液的某一部分, 它必将逐渐扩展而直至其分子均匀地分布于整个溶液的各处。这个过程称为扩散, 乃是由构成溶液的所有分子的无规则运动所引起的(图 1-2)。这类运动是分子动能的一种表现, 某一粒子在任一特定瞬间所取的运动方向是完全不可预测的, 因为其方向取决于它和其他粒子或器壁的偶然的碰撞。然而, 对溶液中存在的每类粒子的总体运动则能在统计学基础上精确地加以预测, 因为这种运动受扩散基本定律的支配, 该定律指出溶液中每种不同物质的粒子会从浓度较大的区域扩散至浓度较小的区域。扩散将继续进行, 直到每一组分在溶液各处均达到同

样的浓度。

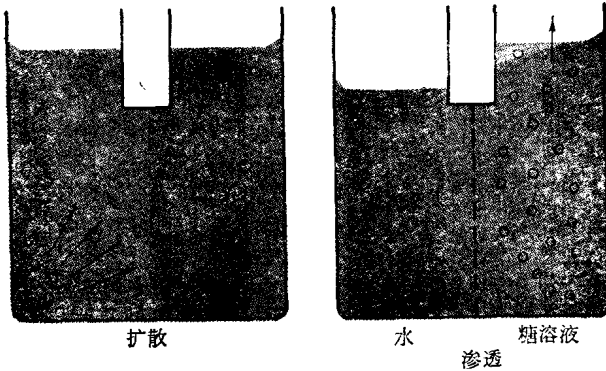


图 1-2 扩散和渗透。

溶液中每种物质的相对浓度（单位体积溶液中各种粒子的数目）在确定该种物质的扩散方向上是决定性的。两个分子既然不能在同一时间占据同一空间，溶液中某一物质浓度的增加就必然排代等当量的一切其他组分。因此，每逢总溶质浓度高时，溶剂浓度一定是低的；而且，某种溶质的浓度一增加，则任何别的溶质及（或）溶剂的浓度就必然发生相应的减少。

扩散速度由若干因素所确定。整个过程既然取决于温度，在较热的溶液中就更迅速地达到平衡，分子在热溶液中的运动活力较高。当浓度差别大时，粒子有较大的脱离浓密区域的趋势。大粒子要比小粒子扩散得慢些；而且，介质越粘滞，扩散就越慢。当所涉及的是肉眼可见的距离时，达到平衡很慢；但在显微的或亚显微的范围内，则浓度几乎立即可以变为相等。

在生物学中，水性的溶液为主，因而渗透可被定义为原生质和细胞周围的溶液之间水的交换。试设其溶剂为水的简单渗透系统，用选择性地可渗透的膜使水和糖溶液隔开（参看图

1-2)。在此种情况下，溶质和溶剂两者均同样被迫扩散，各自离开其原有的高浓度区域。在完美的系统中，膜于其间阻止糖逸走，只有水能够透过，并且，两个溶液仅由于水从一个溶液转移至另一个溶液中而能达到平衡。

既然膜两边的水浓度不同，水分子就会穿过膜进入糖溶液而增加那里水的体积，直到水柱作用于膜上的压力最终抵偿了水的流入。溶液所施的压力称为渗透压。早年的研究曾经指出，以这样的膜和水隔开的一克分子浓度（一克分子溶解在一升溶液中）的糖溶液，在 $0^{\circ}\text{C}$ 时具有约为22.4个大气压的渗透压。可以将此种压力和气体定律联系起来，因为一克分子量的气体在一个大气压的压力下占有22.4升的体积，而当将这气体压缩至一升的体积时它就产生22.4个大气压的压力。因此，我们能利用下述关系计算溶液的渗透压：渗透压 $=CRT$ ；式中 $C$ 是克分子浓度， $R$ 是气体常数(0.082)， $T$ 是绝对温度( $273 + ^{\circ}\text{C}$ )，这样求得的结果以大气压为单位表示之。于是，一克分子浓度的糖溶液在 $0^{\circ}\text{C}$ 时的渗透压是： $\text{O.P.} = 1 \times 0.082 \times 273 = 22.4$  大气压。

各种气体定律既然由理想气体推导出来，它们就不严格地适合于溶液，但是它们却令人满意地用于计算细胞的等渗溶液（即，具有与细胞内容物同样渗透压的溶液）。

浓度和渗透压之间的此种关系只符合非电解质溶液的情况。就各种电解质（在溶液中分子会离解成两个或两个以上粒子的那些化合物）而言，因为渗透压是由粒子的数目决定的，它们的渗透压便要比同样克分子浓度的非电解质溶液大得多。例如，假定 $\text{NaCl}$ 在水中是百分之百离解，它的渗透压就会是蔗糖克分子溶液的两倍。所以，计算电解质溶液的渗透压时，必须乘以离解度。

细胞很显然不是一个完美的渗透系统。不但水而且很多

种通常存在于原生质内与原生质周围的被溶解的物质能够相当大量地透过细胞膜，以致细胞和其环境间水的交换总伴有其他物质的交换。氧和二氧化碳容易进出细胞。这复杂的细胞膜的渗透性不仅仰赖环境中粒子的本质，而且取决于细胞内外的变化着的状况。

在不同的细胞中渗透性虽然不同，有时在同一细胞膜的两侧也互异，我们仍可载明某些一般的通则。例如，我们知道水迅速渗透绝大多数细胞。诸如二氧化碳、氧和氮等气体，以及乙醇、乙醚和氯仿这类脂溶性化合物容易透过一切细胞膜。象葡萄糖、氨基酸、甘油、脂肪酸等这样一些有机物质渗透稍慢；而强电解质（无机盐、酸和碱），与式糖分子（蔗糖、麦芽糖和半乳糖）则更慢。某些细胞能摄入各种很大的、复杂的化合物，但是几乎没有细胞能吸收蛋白质、多糖或磷脂。

对这些概括的陈述，有许多例外。所有存在于原生质里的溶质之中的大部分，包括蛋白质和大多数糖及无机盐，即便能透过细胞膜的话也是很慢的。反之，作为溶剂的水进出细胞很快，再联系到水要比所有别的结合组分在量上更为充裕的事实，这就意味着水一定承担着在细胞和环境溶液间建立渗透平衡的责任。如果把细胞置于一种和其原生质中的水浓度相差悬殊的溶液中，大量的水将进入或离开细胞而使之遭到破坏。但是，植物和微生物中的细胞壁通常是坚硬的，它足以在水涌入时阻止细胞的膨胀。

在等渗溶液中，水的浓度和原生质中的相同；而这种情况只有在溶液中溶质粒子的总浓度等于原生质中的时候才会出现。因为不断离开细胞的水分子与同等数目的进入细胞的水分子相抵销，就造成了这种水平衡。所以，真正的等渗溶液其所含的非渗透的或很慢渗透的溶质分子的浓度必定接近于原生质中的非渗透溶质的总浓度。否则，不可能在细胞内外存

有相同的水浓度。

因为钠、钾、钙、镁常是维持细胞膜的正常渗透性所必需的离子，在制备等渗溶液时以适宜的比例包含这些离子的盐混合物者便获得各种最佳的结果。低渗溶液，与它所包围的细胞的原生质相比，含有较低浓度的非渗透溶质，因而它的水浓度是相对地高的。于是，按照渗透和扩散作用的基本定律，置于低渗溶液中的细胞有吸水而膨胀的倾向。倘若外面的溶质浓度很低，膨胀过程就将一直继续进行到使细胞膜破裂。把人红血细胞置于仅含 0.2% NaCl 的溶液而非通常的 0.9% NaCl 的等渗溶液中时，我们甚至还未能在显微镜下看到它们以前，红血细胞就胀破了。

反之，置于高渗溶液中的细胞有皱缩的倾向，因为溶液含有比原生质更高的溶质分子浓度。在植物细胞中，坚硬的壁保持了细胞的原来形状，因而原生质皱缩脱离胞壁。然而，动物细胞当置于高渗溶液中时则剧烈缩拢，使我们无法辨认细胞的原来形状。例如，红血细胞被置于浓的蔗糖溶液中时，它失水皱缩。假使这个过程进行得不是太久，它是可逆的。因此，如果我们把植物细胞放入一个溶质粒子会缓慢渗透的高渗溶液中，植物细胞膜将皱缩而和细胞壁脱离接触（质壁分离），但是，随后因溶质粒子慢慢地渗入，水就会回去而细胞将恢复其原有的大小（质壁分离复原）（图 1-3）。观察质壁分离复原过程，我们能测定溶质粒子进入植物细胞的渗透速率，因为质壁分离复原的速度显然与溶质粒子渗透的速率相平行。

倘若我们除去细菌或植物细胞的坚硬的细胞壁，我们发现它象动物细胞一样不再能保持其形状。例如，在低渗溶液中，细胞将胀破。但是，在正常有细胞壁的情况下，水由低渗溶液进入植物细胞直到迫使植物细胞的原生质向外挤压僵硬的细胞壁。当产生了足够高的内部压力（胀压）时——常常达



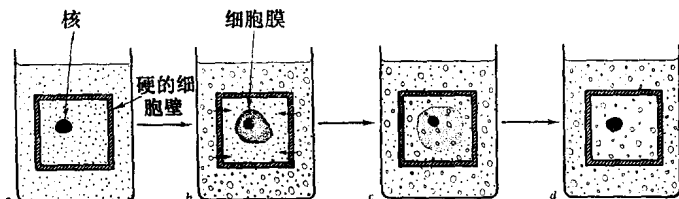


图 1-3 质壁分离。当把植物细胞(a)置于溶质会缓慢渗透的高渗溶液中时(b),细胞迅速地发生脱水,而细胞膜使收缩脱离细胞壁。因为溶质慢慢地渗入(c)和(d),所以水亦重新进入,使细胞膨胀而恢复其原有的大小(d)。

到几个大气压,就不再有水能进入细胞。

我们通过把细胞放在不同浓度的糖溶液中的方法,可以推算出细胞内的渗透活性粒子的数目。如果我们将植物细胞浸在 0.5 克分子浓度的糖溶液中而细胞既不缩也不胀,我们就知道细胞含有相当于 0.5 克分子浓度的渗透活性粒子(电解质和非电解质两者皆在内),它们实际上施加 12 个大气压的压力。许多植物细胞,包括细菌,在内部具有上述浓度的渗透活性粒子。诸如其细胞壁已被人除去的各种细菌这类细胞当置于水中时便会因此而膨胀破裂,因为它们经受不住 12 个大气压的压力。青霉素由于阻止新细胞壁的合成,借以把细菌暴露于真正使之爆裂的低渗溶液中而杀死生长的细菌。为了保存这些没有细胞壁的细菌(称为原生质体),我们增加溶质的浓度——通常 0.4 至 0.5 克分子浓度的蔗糖。

### 主动运输

我们不想留下选择性膜是被动的以及简单的扩散和渗透作用说明了细胞与周围溶液间的一切交换的这种印象,因为许多细胞能够逆扩散的自然趋势来蓄积某些物质和排除另一些物质。例如,许多种海藻积聚碘达到比海水中高出一百万倍的浓度。细胞的胞质同周围的汁液或者淋巴相比是突出地钾