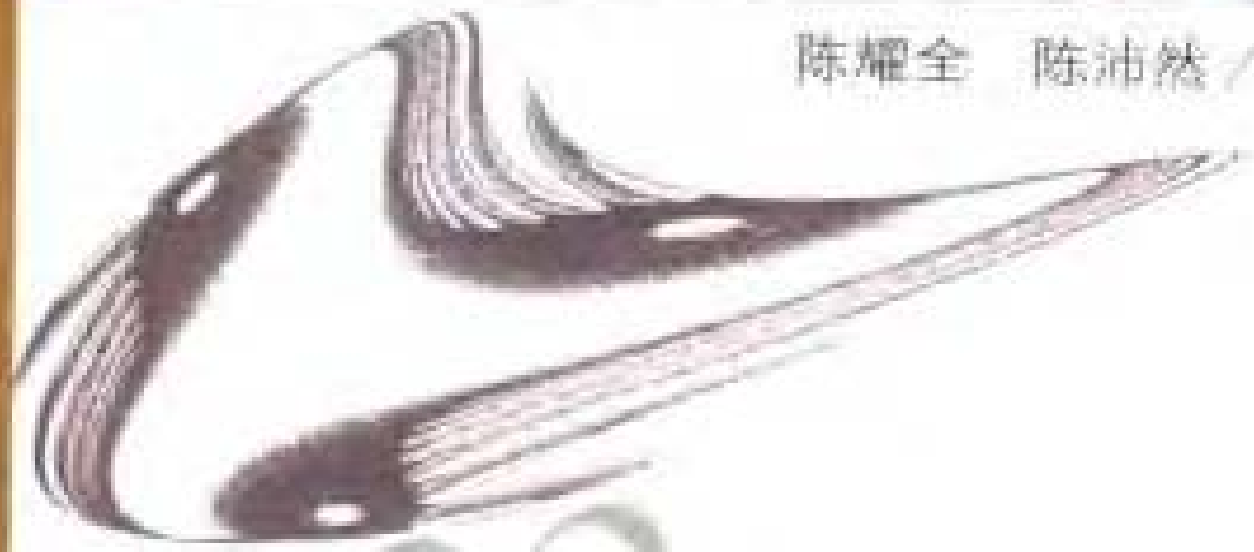


诺贝尔奖百年鉴

新陈代谢

物质代谢与光合作用

陈耀全　陈沛然／著



上海科技教育出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com



陈耀全　陈沛然／著

诺贝尔奖百年鉴

物质代谢与光合作用

新陈代谢



上海科技教育出版社

诺贝尔奖百年鉴

物质代谢与光合作用
新陈代谢

陈耀全　陈沛然　著
丛书策划　卞毓麟　匡志强
责任编辑　匡志强
装帧设计　桑吉芳

出版　上海科技教育出版社
　　上海冠生园路 393 号
邮政编码　200235
发行　上海科技教育出版社
经销　各地新华书店
印刷　常熟市印刷八厂
开本　787 × 960　1/32
印张　5.375
字数　97 000
版次　2001 年 9 月第 1 版
印次　2001 年 9 月第 1 次印刷
印数　1 – 5 000
书号　ISBN 7 – 5428 – 2566 – 6/N·419
定价　8.00 元

策划语

从1901年开始颁发的诺贝尔奖，可以说是20世纪物理学、化学和生命科学发展的缩影。它记录了百年来这三大学科的几乎所有重大成就，对世界科学事业的发展起了很大的促进作用，被公认为科学界的最高荣誉。人们崇敬诺贝尔奖，赞叹诺贝尔奖得主们的科学贡献，并已出版了许多相关书籍。

那么，我们为什么还要策划出版这套《诺贝尔奖百年鉴》丛书呢？

这是因为，有许多热爱科学的读者，很希望有这样一套书，它以具体的科学内容为基础，使社会公众也能对科学家们的成就有一定的感性认识；它以学科发展的传承性为主线，让读者领略科学进步的永无止境；它还是简明扼要、通俗易懂的，令读者能轻松阅读，愉快受益。

基于这种考虑，本丛书将百年来三大学科的全部诺贝尔奖按具体获奖内容分为26个领域，每个领域写成一卷8万字左右的小书，以该领域的进展为脉络，以相关的诺贝尔奖获奖项目为重点，读者将不但能了解这些诺贝尔奖成果的科学内容，更能知道这个领域的发展历

程。丛书的分卷不局限于一级学科的分类，以体现现代科学之间的交融。此外，丛书还另设了3卷综述，便于读者对这三大学科的全貌有一个宏观认识。丛书29卷内容如下：

20世纪物理学革命
20世纪化学纵览
20世纪生命科学进展
X射线与显微术
核物理与放射化学
量子物理学
基本粒子探测
场论与粒子物理
粒子磁矩与固体磁性
超导超流与相变
测量技术与精密计量
天体物理学
物理学与技术
热力学与反应动力学
物质代谢与光合作用
现代有机化学
无机物与胶体
材料物理与化学
现代分析技术
生物分子结构
量子与理论化学
蛋白质核酸与酶
遗传与基因
细胞生物学
生理现象及机制
内分泌与免疫
临床医学与药物
传染病与病毒
神经与脑科学

在丛书策划基本成形后，我们曾到上海、北京、南京等地的许多著名高校及中国科学院、中国医学科学院等科研院所征求专家们的意见，得到了他们的大力支持。许多学者不顾事务繁忙，慨然为丛书撰稿。我们谨向他们表达由衷的感谢和深深的敬意。

2000年12月10日

需要全本请访问 www.ertongbook.com

作 者 简 介

陈耀全，男，1936 年生。1963 年北京大学化学系毕业，1967 年中国科学院上海有机化学研究所研究生毕业。中国科学院上海有机化学研究所研究员。中国化学会第 22、23 届理事会理事，上海市生物化学与分子生物学学会第 7 届理事会理事。

陈沛然，男，1973 年生。1995 年华东理工大学精细化工系毕业。现为中国科学院上海有机化学研究所博士研究生。

图书在版编目(CIP)数据

新陈代谢：物质代谢与光合作用/陈耀全，陈沛然著．
—上海：上海科技教育出版社，2001.9
(诺贝尔奖百年鉴)
ISBN 7-5428-2566-6

Ⅰ.新…
Ⅱ.①陈…　②陈…
Ⅲ.新陈代谢-普及读物
Ⅳ.Q493-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 033311 号

目录

1 平话“代谢”/1

代谢中的能量/1

分解与合成/4

化学语言/8

2 简单分子开始的接力赛/11

他跑了三次“第一棒”/11

从“尿酸”开始的核酸化学/14

糖，甜蜜的糖/16

蛋白质化学的基石/21

3 糖类的结构与代谢/25

单糖、双糖和多糖/25

糖原——动物体内的葡萄糖仓库/31

动物怎样制造多糖/39

脂质中间体/47

4 糖的酒精发酵/53
关于糖水发酵的争论/53
布赫纳的贡献/57
承前启后的研究者/63
发酵与酶/68
辅酶——酶的左膀右臂/72
5 食物怎样转化成能量/77
三羧酸循环的建立/77
神秘的二碳化合物/82
辅酶 A 和乙酰辅酶 A/85
6 奇妙的小分子化合物/91
性激素/91
生物碱/94
维生素及其他/98
7 叶绿素和血红素/107
绿叶的秘密/107
花儿为什么这样红/113
血红之谜/116
自然母亲的孪生子/119
8 光合作用和生物能/123
地球上最重要的化学反应/123
光合作用中的碳循环/128
生命活动的能量/136

9 生物固氮和蛋白质生产/145
生态农业与维尔塔宁/145
生物固氮/148
造福无穷的 AIV 方法/150
10 结束语/155
本卷大事记/159

1

平话“代谢”

代谢中的能量

我们所生活的这个世界，万物竞茂，生生不息。而任何一个生命，都一定要进行物质和能量的吸收与转化，这就是“新陈代谢”，简称“代谢”。

“代谢”（metabolism）一词源自希腊语，原义为“变化”。生物体中进行着数目惊人的化学反应，即使在像大肠杆菌那样简单的生命中，进行的化学反应也超过千个。“代谢”就是生物体内的活细胞中所有化学反应的总称。它使生物得以生长、维持其本性、繁殖以及与环境进行物质和能量的交换。代谢中的化学反应数目虽多，但类型相对较少。这些反应高度组织，形成代谢反应通路。在反应通路上有序地进行着化学反应，不时有中间产物从岔道离开一个通路，进入另一个通路。这种情景，倒有点像行驶着汽车的高速公路。

活细胞代谢的各种反应都由酶来催化。激素



需要全本请访问 www.ertongbook.com



(如胰岛素、肾上腺素等)对代谢的调节起重要的作用。一旦代谢的某一环节失调,就会引起疾病,如糖尿病等。

自由能变化是判断一个化学反应能否发生的指标。如果一个反应的自由能变化是负值,这个反应能自发发生;反之,就不能发生。代谢中有些反应在能量上是不利的,单独地看似乎不能发生。但代谢的反应是偶联反应,如果第一个反应的自由能变化是正值,但与它偶联的下一个反应的自由能变化是负值,而且两个反应的自由能变化相加还是负值,则第一个反应还是能够发生。这就像一位精明的商人,赔本的生意他是不做的。但是,第一笔赔本的交易如果能为他带来取得更大盈利的第二笔交易,这生意他是一定要做的。

生物体需要不断摄取自由能,以满足三项需求:(1)肌肉收缩和别的细胞运动作机械功;(2)分子和离子的活性运输;(3)从简单的前体化合物合成大分子和其他复杂分子。这些生命活动需要一种通用的自由能载体,作为能量"通货",这就是 ATP。ATP 是腺苷三磷酸的英文名字的缩写,它由腺嘌呤、核糖和三磷酸三个部分构成。它的结构可以用图 1 来表示。为了简明起见,其中与碳原子直接相连的氢原子没有画出。

ATP 之所以富含能量,是因为它的三磷酸部分含有两个高能磷酸酐键。当 1 摩尔 ATP 水解为 1 摩尔腺苷二磷酸(ADP)和 1 摩尔无机磷酸,或者 1 摩尔

腺苷一磷酸(AMP)和 1 摩尔焦磷酸时,都会释放出 7.3 千卡(1 卡 = 4.18 焦耳)能量。ATP、AMP 和 ADP 之间是可以互相转化的,这一转化由一种称为"腺苷酸激酶"的酶催化。ATP – ADP 循环是生物体系能量变化的基本模式。生物体系里 ATP 在能量交换中的中心作用是在 1941 年由李普曼(Fritz Albert Lipmann)和卡尔卡(H.Kalckar)发现的。

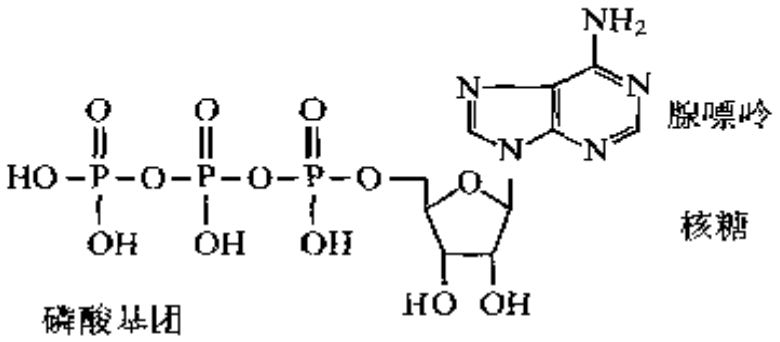


图 1　ATP 的结构

ATP 不断形成又不断消耗。在生物体系中,ATP 主要是作为即时的自由能供体而不是自由能的长期储存形式。它的更新率极高。例如,一个静息中的人在 24 小时内要消耗约 40 千克 ATP。而在激烈的运动中,ATP 的利用率可高达每分钟 0.5 千克。

根据获得能量的途径的不同,我们地球上的生物可以分成"化养生物"(也称异养生物)和"光养生物"(也称自养生物)两大类。光养生物包括绿色植物和光合微生物,它们通过俘获光能得到能量,在光合作用的过程中制造有机化合物并产生 ATP;化养生物包括动物和需要从外界汲取养分的微生物,它们通过食物的氧化得到能量。所以,地球上所有生



物的能量都直接或间接地来自太阳光。

分解与合成

活细胞的代谢由“分解代谢”和“合成代谢”偶联而成。分解代谢指结构复杂的食物分子分解为结构简单的分子。它的作用是为在合成代谢中合成新的结构复杂的分子提供“构件”,或在分解以后被氧化,为细胞及器官的活动提供能量,在温血动物的情况下,该能量部分转化为热量,以维持体温。合成代谢指从简单的构件分子合成结构复杂的分子,如由单糖合成多糖、由氨基酸合成蛋白质、由核苷酸合成核酸等,这是个消耗能量的过程。

食物通过氧化产生能量的过程分为3个阶段。首先,食物中的大分子水解成各自的小分子组成单元,如蛋白质水解成氨基酸、多糖水解成葡萄糖、脂肪水解成脂肪酸和甘油。这一阶段产生的能量较少,而且多以热能形式释放,不能被细胞利用。在第二阶段中,这些小分子组成单元进行不完全氧化,其最终产物除了二氧化碳和水外,主要是以乙酰辅酶A的形式出现的乙酸盐。乙酰辅酶A是在代谢过程中形成的又一个高能化合物,每摩尔乙酰辅酶A水解时释放出7.5千卡自由能。这一阶段会产生一些ATP(例如,每分子葡萄糖经不完全氧化,最后生成2分子丙酮酸并净得2分子ATP),但对于能量的产生而言,第三阶段是最重要的。在这一阶段,不完全氧

化的产物进入三羧酸循环而被完全氧化，最终产物是二氧化碳和水，营养物中全部可用的化学能都转化为 ATP。每分子乙酰辅酶 A 经过三羧酸循环可净产生 12 分子 ATP。细胞中只有 46% 的化学能能够转化为 ATP，其余的作为热能而丢失。

食物氧化产生能量涉及一系列电子转移过程。在需氧生物中，氧是最终的电子受体。但是，电子并非直接从食物分子转移给氧分子，而是转移给一些特殊的电子载体。这些载体在化学上属于吡啶核苷酸或黄素化合物。这些载体的还原形式然后通过位于线粒体内膜上的电子转移链把它们的高电位电子转移给氧。这一电子流动的结果是从 ADP 和无机磷酸生成了 ATP。这些电子还被用于还原性的生物合成。

烟酰胺腺嘌呤二核苷酸(NAD^+)是食物氧化中主要的电子受体。接受 2 个电子后，NAD^+ 转化为还原形态 NADH。食物氧化的另一种电子受体是黄素腺嘌呤二核苷酸(FAD)，它的还原形态是 $FADH_2$。在还原性的生物合成中，烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸(NADP)的还原形态(NADPH)是主要的电子供体。在大多数生物合成中，前体比产物具有更高的氧化态。因此，除了 ATP 外，还需要电子。例如，在脂肪酸的生物合成中，加入的酮基经过几步被还原成次甲基，这一系列反应净需 4 个电子。

从 NAD^+、NADH、FAD 和 $FADH_2$ 的结构式中我们可以看到，代谢过程的许多中心分子是核糖核苷



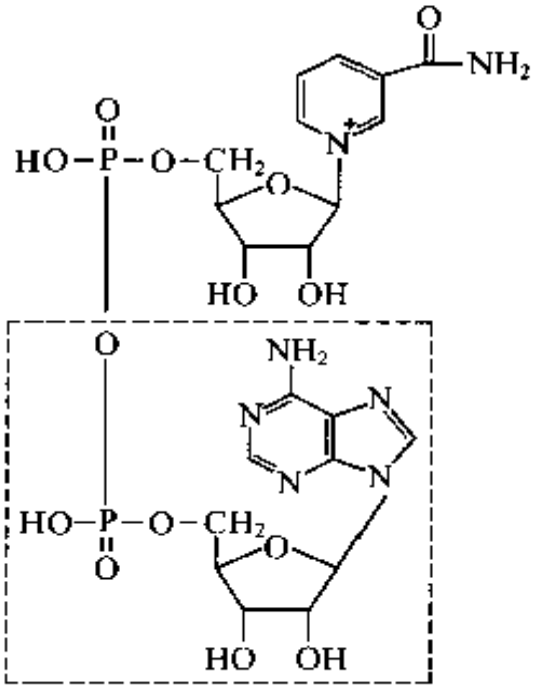


图 2　NAD^+ 的化学结构

酸。图 2 是 NAD^+ 的化学结构，图中虚线方框内的部分就是核糖核苷酸。为什么活化载体如 ATP、NADH、$FADH_2$和辅酶 A 都含有腺核苷酸单元？一个可能的解释是，在进化中核糖核酸(RNA)先于蛋白质和脱氧核糖核酸(DNA)出现。最早的催化剂很可能是 RNA 分子，它把一些非 RNA 成分(如异咯嗪)结合在它的分子中作为辅酶，用作活化的电子载体。我们可以想象 $FADH_2$的腺嘌呤环和有催化活性的 RNA 中的尿嘧啶基通过碱基配对而发挥作用。当蛋白质取代了 RNA 作为主要的催化剂后，核糖核苷酸辅酶由于已经很适应于在代谢中的作用而基本上保持不变。代谢中的分子和基元在所有生命形态中都是共同的，这证明了它们有共同的起源，通过数十亿年的进化，依然保持着它们起作用的模式。

与分解代谢产生能量不同，合成代谢是耗能的，需要消耗 ATP。合成代谢有两个主要步骤，第一，由分解代谢产生的中间产物生成生物大分子的前体；第二，由这些前体合成蛋白质、核酸、多糖和脂类化合物。合成前体的材料除了由分解代谢提供外，还来自一些维持三羧酸循环的辅助反应。葡萄糖以核苷二磷酸葡萄糖的形式参与各种多糖和非葡萄糖单糖的合成；脂类的前体甘油和脂肪酸以及磷脂合成中的丝氨酸、肌醇和 α-磷酸甘油均由酵解和三羧酸循环的中间产物合成，再由它们合成各类脂肪；蛋白质的前体氨基酸在高等植物中可由氨和硝酸盐合成，脊椎动物和一些细菌只能合成部分氨基酸，其余的必须由食物补充，合成蛋白质时各氨基酸的装配顺序受遗传信息支配；许多生物能合成嘌呤和嘧啶核苷酸，由它们合成 DNA 和 RNA，DNA 合成时用细胞中已有的 DNA 作模板，以保证生物遗传的忠实性，RNA 的合成也以 DNA 为模板，以确保遗传信息的正确转录。

在细胞中分解代谢和合成代谢既通过磷酸转移反应和电子传递体系发生联系，又通过多种方式而能同时起作用。这是因为：合成与分解常在细胞的不同区间内进行；催化两类代谢的酶也存在于不同的细胞组分中；催化两种代谢中相同步骤的酶有不同的性质；合成某一成分的起始物常常不是该成分的分解产物；两类代谢途径的机理亦不相同。所有这些使得活细胞中的两种代谢过程得到调节，使食



需要全本请访问 www.ertongbook.com