

原子能知识丛书

放射性同位素和生命过程

5-3

放射性同位素和生命过程

原子能知识丛书

放射性同位素和
生命过程

〔美〕 W. E. 基西莱斯基
R. 贝西加
金 晔 译

原子能出版社

出版说明

一提到原子能，就要和不可捉摸的放射性联系在一起，一些人往往望而生畏，敬而远之，这说明原子科学领域对于许多人还是陌生的。其实原子能既不可怕，也不神秘，它在我们的生活中正在起着愈来愈大的作用。

为了介绍原子能的基本知识和应用情况，我们有选择地翻译出版美国当代原子能学者和专家编写的原子能知识丛书（Understanding the Atom Series）。这套丛书取材广泛、内容丰富、语言生动、深入浅出，具有中等文化水平的读者，花一些气力，读懂它是不成问题的。

随着科学技术的急速发展，书中引用的有些材料已经过时，但是这些材料对于理解基本概念还是有价值的。

放射性同位素和生命过程

〔美〕W. E. 基西莱斯基

R. 贝西加

金 晔 译

原子能出版社出版

（北京 2108 信箱）

国防科工委印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

★

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张 $1\frac{1}{8}$ ·字数34千字
1983年4月第一版·1983年4月第一次印刷
印数001—2,500 ·统一书号：15175·464

定价：0.24元

目 录

引言.....	1
细胞理论：DNA 是生命 的秘密	2
放射性同位素：生物指示剂.....	10
DNA 的合成：细胞的放射 自显影	15
RNA 的合成：如何把一种语言转译成 另一种语言	25
蛋白质的合成：造成生物差异的分子.....	35
细胞分裂周期与基因作用：生命的秘密是 DNA	38
同位素的应用：探索癌症.....	44
结论.....	46

引 言

只有实际地观察事物的产生和成长的过程，我们才能获得对该事物的深刻认识。

亚里斯多德 (Aristotle)

很早以前，人们对生命的本质就发生了极大的兴趣。那时候，虽然不清楚生命的本质是什么，但是生物与非生物之间的很多不同特性，早已为人们所熟知了。所有的生物体从单细胞生物到类似人的高等动物，其共同特征，都是由称作细胞的微小单位构成的。

细胞是有机体的最小单位，它具有使维持生命的物质与生物发生联系的特性。尽管生物的大小、形状和构造有很大的差别，但它们之间都有一共同之处，即它们都是由细胞构成的。而且每个活细胞都含有功能类似的成分。因此可以说，生命是单一的过程，所有生物都按照单一的方案发展。

在过去几年中，我们在了解控制生命系统功能的机理方面有了很大的进展。由于新的实验技术的发展，以及探测微小分子世界变化的仪器的完善，上述进展有了极大的可能。对生物学知识了解的突飞猛进，应当归功于一种新的方法，即把放射性同位素作为一种实验工具来使用。

在本书中，我们准备用化学术语描述构成生命物质的材料和了解物质代谢及维持生命的物质。为此目的，我们选择了近代生物学基础的三种分子加以描述：即脱氧核糖核酸

(DNA)、核糖核酸 (RNA) 和蛋白质。我们将证明如何利用放射性同位素探测这些物质内部的秘密。在认识这些重要分子的功能之前，我们必须复习一下细胞的结构及放射性同位素的物理性质。

细胞理论：DNA 是生命的秘密

我们都知道，所有的生物都是由本质上相同的部分组成的，那就是细胞，这些细胞的形成及生长，实质上都遵循同一法则。因此，我们可以断言这些生命过程必定由同样的作用力推动。

西奥多·施万 (Theodor Schwann)

一、生命单位

根据高等生物都是由较小的单位——细胞所组成的概念，1838年德国的两位生物学家：植物学家马赛厄斯-雅各布·施莱顿 (Mathias-Jacob Schleiden) 及解剖学家西奥多·施万提出了细胞理论。这个理论对研究生物学具有深远的意义。它提出：生物体都有一个共同的组织基础。当然，要想了解它的重要性，必须对细胞的结构及其机能有更精确的认识。

有一些有机体*都是由单细胞构成的，如变形虫，故称单

* 有机体是指一个完整的有生命的植物或动物。

细胞生物。高等动物是多细胞生物，这些细胞的聚集构成了组织和器官。以人为例，在人体内有数百万种很不同的细胞，执行着各种不同的功能。高等动物的一种细胞与另一种细胞，在大小、形状和机能上都有很大差别，它们都是专一化的细胞。

所有生物体的分子组成和新陈代谢*都有惊人的相似性，这种相似性意味着，在以前，生命的起源仅仅是一个特殊的化学组成所决定的生命的新陈代谢过程，这种结构和代谢通过复制传给后代生物，因此，所有各种改变都产生于偶然的突变，或是由于遗传上传递单位的性质的改变。在生命所有的属性中，机能和结构的最显著特点是复杂而有秩序的。

生物学家认为，生命的基本表现形式包括运动、呼吸、生长、应激性（对环境改变的反应）以及繁殖，并且所有的细胞都具有这些现象。前四种可以用新陈代谢一词来表示。可以说，生物有两种共同特性：细胞的新陈代谢和繁殖。我们研究生命过程，实际上是研究细胞的这两种过程。因为新陈代谢是在活机体中发生的综合生物化学反应，严格说来，

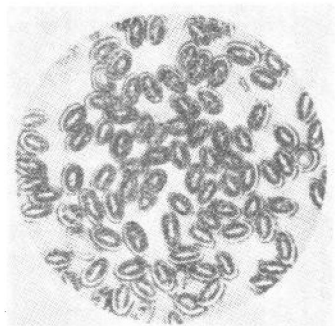


图1 早期显微镜下拍摄的细胞
这是显微镜下的鸽子的血液细胞〔美国陆军外科医生J. J. 伍德沃德（Woodward）在1871年拍摄的，早在1866年他曾拍摄了第一张细胞照片〕。

* 新陈代谢作用是活机体维持生命活动的总合，包括营养、能量的产生和合成新的生命物质。

它之所以属于生物化学的研究领域，是因为细胞可以用生物化学或形态学*技术研究。所以新陈代谢和细胞繁殖属于生物化学家及形态学家都要研究的范围。

二、细胞结构

图2是细胞的基本结构。每个细胞内部有一个较致密的细胞核，在细胞核周围有大量致密度较低的细胞浆。细胞浆和细胞核由双层的核膜分开，在核膜上有分散的小孔。细胞浆内有网状膜，膜上有无数小管和空泡的膜构成小的空腔，腔内充满称为核糖体的小体。这些膜状网叫做内质网，它和

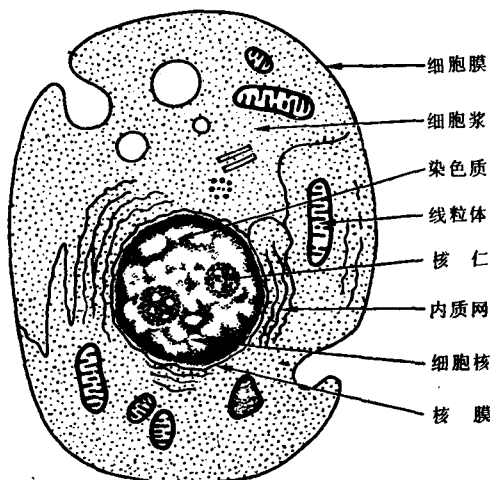


图2 细胞的基本结构图

图中标有细胞内的各种细胞器（小器官）的名称。

- * 形态学家是专门研究机体结构或整体的生物学家；生物学家则是专门研究生物物质化学反应的生物学家。

线粒体不同，后者是膜状的细胞器（小器官），在构造上与细胞浆的其它部分无任何关联。细胞的最外层叫细胞膜或胞浆膜，它构成了细胞的边界。

细胞核在很多细胞中是最大的部分且居细胞中央，具有特别重要的作用。它含有许多线状的染色体，染色体携带着细胞遗传的控制系统。它所含的颗粒物质叫染色质，而且染色质含有许多核酸——DNA（即脱氧核糖核酸）。染色体在细胞中通常是不易看到的，只有在细胞分裂过程中才能观察到。细胞核不分裂时看到的是球状的核仁（有些核内不只一个核仁）。当细胞核分裂时核仁消失。

并不是所有的细胞都有这些结构，比如，血液内的红细胞就没有细胞核，而其它细胞的内质网很少。大多数高级生物的细胞可用图 2 表示。

图 3 是用电子显微镜看到的细胞结构图。构成细胞结构

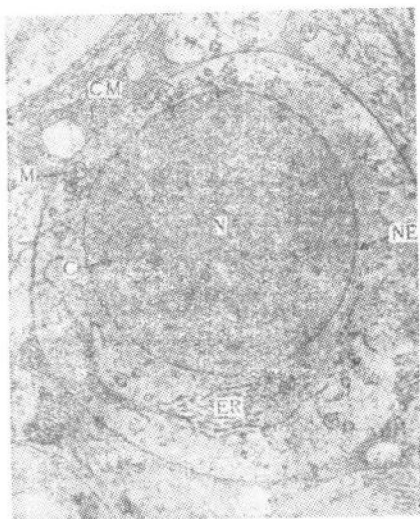


图 3 电子显微镜下的蚱蜢初级精原细胞
 N ——细胞核；ER——内质网；
 M ——线粒体；C ——染色质；
 NE——核膜；CM——细胞膜；
 I ——细胞间隙。
 此图放大 25000 倍。

的化学成分主要归属为碳水化合物（糖类）、类脂（脂肪）、蛋白质及核酸。当然细胞也含有水（约占细胞总重量的70%），以及其它有机物和无机物，如维生素和矿物质等。

碳水化合物在细胞内多半起着食品的作用。可用几种不同的有关形式贮存。另外，它在细胞外还有许多功用，特别是作为构造单位，因而使生物体在构造和机能上有了相互联系。

细胞内存在许多不同类型的类脂：乙醇、脂肪、类固醇、磷酸脂和乙醛。它们在细胞的各部分都有它们最重要的功能，这似乎是形成膜，使这些膜有特殊的渗透性。它们在化学能的贮存上也是很重要的，主要是以中性脂肪的形式存在。

存在于许多细胞结构中的蛋白质也有许多种，例如担任细胞新陈代谢过程中的催化剂酶，就是蛋白质。核酸有DNA和RNA，其功能是共同制造细胞的蛋白质。下面主要讨论蛋白质和核酸，在这里我们只强调这两种物质在功能上的相互关联，而且两者都很重要。

三、两种核酸

就像先有鸡还是先有鸡蛋的问题一样，讨论究竟是蛋白质重要还是核酸更重要，是没有意义的，因为它们总是息息相关的。近几年来，虽然我们对两者之间的关系有所认识，并对基本生命现象，如细胞的繁殖、突变和分化也有所了解，然而要完全认识它们还相距很远。如能真正了解其间的关系，那么对生命生长的本质——正常与不正常，便有了概略的认识，甚至可以说对生命本身的复杂性有了一定的认识。

绝大多数细胞的 DNA 几乎全都集中在细胞核内。另一方面, RNA 则分散在整个细胞之中: 有的在核内, 但大部分结合在细胞浆中的微小颗粒上, 这种微小颗粒叫微粒体。含 RNA 较多的微粒体又称核糖体, 核糖体比线粒体更小。

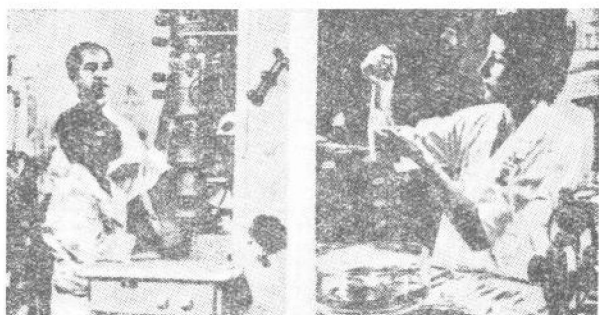


图 4 科学家们正在用电子显微镜
(左图) 和光学显微镜 (右图) 作基础生物化学研究。这两种仪器是研究生命过程的重要工具。



图 5 利用显微镜放大 1100 倍后拍摄的单细胞动物草履虫的照片

在图 3 中见到的许多细胞结构在这一照片中也能见到。本图是利用“干涉”显微镜摄制的, 所以物体在变动时仍能拍出。

四、有丝分裂

细胞最重要的特性之一是能生长和分裂，由细胞分裂出新细胞。细胞成长到一定阶段时就分裂成两部分（子细胞）。这两部分再经过一段生长期，又能分裂，通过这种方法，植物和动物能正常地生长；受伤的组织，也由细胞不断分裂而修复。当细胞内某些成分复制成两倍时细胞就引起分裂，变成两个大致相等的新的部分——子细胞，这一细胞分裂过程称为有丝分裂（见图6）。

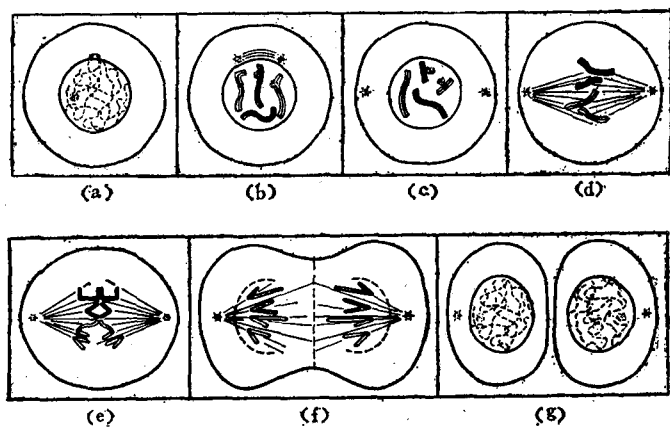


图6 假设有四个染色体的细胞的有丝分裂过程

a——间期；b——早前期；c——前期；
d——中期；e——后期；f——末期；
g——子细胞及其间期。

有丝分裂是一个连续的过程，为了便于叙述，把分裂过程称为下列各期。间期：细胞内进行旺盛的新陈代谢活动，

合成新的细胞物质，并通过合成自我复制新的染色体。前期：每个新的染色体由完全相同的两条染色单体组成，染色体因卷曲而缩短，并且核仁及核膜消失。中期：染色体排列在细胞赤道平面附近。后期：每个染色体的两条染色单体分开，每条单体向细胞两极（端）移动。末期：染色体伸直而消失，在细胞的两极又形成新的细胞核、核仁及核膜，这时在两个新的细胞核之间出现细胞分裂，形成两个新细胞。因此，每个子细胞获得一套染色体，因遗传基因存在于染色体中，所以每个子细胞有相同的遗传成分。

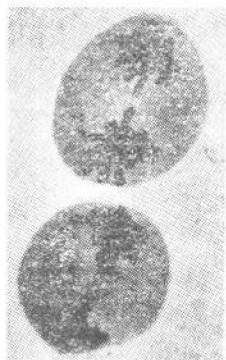


图7 延龄草细胞结构的显微照片

延龄草细胞在分裂后期有五个染色体。图中表示的是复制的染色体向细胞两极移动。

所有生命过程都要消耗能量，因此需要能量。线粒体在把糖转变为能量供给细胞活动的反应中起了重要的作用，因此生命活动的重要性是显而易见的。然而在本书中，我们主要讨论与核酸及蛋白质有关的生命过程，这是一个“基因-作用系统”。基因-作用系统是一系列的生物化学反应，它借助DNA内的遗传“信息”来调节和直接“复制”所有的生命过程。

放射性同位素：生物指示剂

人类……已经找到了许多增强官能的方法，……
这就是借助于各种仪器和技术，增加了一些原来天赋所未有的感觉能力。

西博格 (Glenn T. Seaborg)

一、原子结构

今天，人们对物质的原子结构已经非常熟悉。在我们的日常生活中，人们经常谈论原子能、核反应堆和放射性同位素。然而，为了正确理解放射性同位素如何应用于研究生命过程，我们首先必须了解它们的特性、制备及其局限性。因此，详细地讨论原子的结构是为了以后易于了解和应用。

根据目前的理论，原子是由原子核及围绕原子核的电子组成的，而原子核又是由质子和中子组成的。整个原子不带电，呈电中性。每个原子核内的质子数（质子带正电）等于核外的电子数（电子带负电），电子围绕原子核作同心运动。由于中子不带电，质子所带的正电荷和电子的负电荷相互抵消，所以整个原子不带电荷。每种原子都有它的原子序数和原子量。每一元素的原子序数由质子数或原子所带的正电荷数决定（或由围绕原子核的电子数决定）。原子量是一种原子与作为标准的碳原子相比较的重量。原子的重量（或质量）主要由质子和中子决定，因为电子质量小得可以忽略不计。

二、同 位 素

同一元素的原子具有相同的质子数和电子数，但是中子数不同，所以质量数也略有不同。元素的化学性质主要决定于电子的电荷，所以尽管中子数不同，但不会影响元素的化学性质，而只是改变原子的质量。所以我们就把具有同一原子序数不同原子量的原子称为同位素，如图 8 所示。

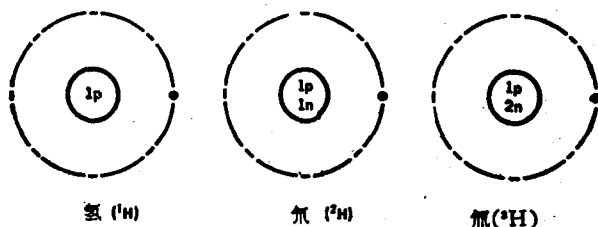


图 8 氢的三种同位素

氢原子有三种同位素： ${}^1\text{H}$ 为普通氢原子，它由含有一个质子（电荷为 1，质量为 1）的核和围绕核旋转的一个电子（电荷为 -1，质量可忽略不计）所组成； ${}^2\text{H}$ 称为氘，比氢增加了一个中子（中子不带电，质量为 1）； ${}^3\text{H}$ 称为氚，比氢多了两个中子。由于元素的化学性质取决于元素的电子数，所以这三种同位素虽然重量不同，但化学反应的行为完全相同。为了叙述方便起见，原子量通常写在元素符号的左上角，如 ${}^{14}\text{C}$ 是一个原子量为 14 的碳的同位素（普通原子量为 12 的碳同位素写成 ${}^{12}\text{C}$ ）。

一般来说，各种元素的同位素都不只一种。同位素又分为稳定同位素和放射性同位素两类。稳定同位素除了质量不同外，无其它特殊性质；放射性同位素不仅彼此质量不同，

而且由于核的不稳定还有特殊的性质。当原子核不稳定时，由于质子和中子数不平衡，因此迟早会发生重新分配，并且原子自发衰变和放出某种射线。因这些不同类型的射线对活机体的作用和效应基本一致，所以把它们统称为电离辐射。

所有放射性同位素都能放出一种、二种或三种射线。 α 射线或 α 粒子是带两个正电荷的氦原子核（ ${}^4\text{He}$ ，原子序数为2，质量为4）。许多重放射性元素，如镭（Ra）、铀（U）和钚（Pu）均能发射 α 粒子。 β 射线（或 β 粒子）可以是正电子也可以是负电子。负 β 粒子是高速电子，可以由很多种放射性元素发射。正 β 粒子是带正电的电子（称为正电子），它的寿命很短，是不重要的粒子。 γ 射线是一种电磁辐射（电磁辐射一词也用于叙述无线电波、红外线、可见光、紫外线及X射线）。 γ 射线通常是在 α 或 β 射线放出后才发射出来的。在我们研究的生命过程中，我们只对发射 γ 射线或 β 射线的放射性同位素感兴趣。

三、放射性同位素

放射性同位素在许多天然物质中仅占一小部分，它可以用分馏法浓缩制备。只有极少数的情况是在自然界中有较大量的放射性同位素，如镭和放射性铅。

目前所用的放射性同位素，大部分是利用核反应的方法人工制备。当高能粒子如质子、氘核、 α 粒子或中子与原子核碰撞时，就发生核反应形成新的不稳定化合物——一种人造的放射性同位素。

使用放射性同位素的最大优点，是可用独特的仪器进行探测和鉴定，关于这一点，后面还要详细讨论。生物化学家们早就认识到，如能对分子作某种适当的“标记”，就能得知分子参与反应的过程。因为放射性同位素放出的放射性可以用仪器探测和测量出来，所以我们能容易地用放射性原子来跟踪分子。

最早使用放射性同位素进行生物化学研究，是1924年乔治·赫维西（George de Hevesy）利用天然放射性同位素铅研究生命过程。然而，只有在第二次世界大战以后，能够容易地得到人工放射性同位素时，使用同位素示踪剂的技术才得到普及。

在我们研究的生命过程中，最常用的放射性同位素有三种：1. ^3H ，质量为3的氢原子；2. ^{14}C ，质量为14的碳原子；3. ^{32}P ，质量为32的磷原子。这三种放射性同位素很重要，因为在所有的细胞中都存在着相应的稳定同位素氢、碳和磷，这是维持生命的很重要的成分。因此，我们可以利用这三种放射性同位素来标记参与生命过程的分子。

氢-3为弱 β 发射体，也就是说它发出的 β 射线能量很低（能量为0.018MeV），射程也很短。虽然碳-14也发射 β 射线，但它具有较高的能量，因此射程比 ^3H 发射的 β 射线的射



图9 技术员正在实验室中制备含有生物样品的溶液，准备作放射性物质对生物体影响的试验

图右边放的是一台辐射探测仪器。