

83-56

# 吸引和排斥与生命物质运动

Q 78

## ——吸引和排斥是遗传和变异的动力

Q 10

吴丽芳 李红 余增亮

(中科院等离子体物理所离子束生物工程实验室 安徽合肥 230031)

**摘要** 从染色体、分子、原子水平探讨了吸引和排斥与生命物质运动的关系。遗传和变异是生物界最基本的运动形式,它们的运动与吸引和排斥的相互作用密切相关。吸引和排斥的相互作用是生物大分子存在的基石,是细胞分裂、维持细胞结构和细胞内各种运动所必需的。同时,吸引和排斥的作用还在基因调控、DNA 重组、突变和修复以及遗传工程中得到体现。

**关键词** 吸引和排斥,遗传,变异

生命物质运动

运动是物质的固有属性。物质为什么会运动?这个问题自希腊的德漠克利特提出以来,已有近 2500 年了,但至今仍未得到根本解决。伟大的思想家笛卡儿作为多门近代学科的最初启蒙思想奠基人,早在 17 世纪提出的物质“涡旋”形成理论,奠定了天文学、地学、物质学、化学等多门学科形成和发展的基础。尤其是在他的思想影响下的物种起源的研究,改变了旧约创世纪的历史,提出了生物是经自然演化形成的这一全新的生物进化理论。在笛卡儿、康德、黑格尔等人研究成果的基础上,恩格斯提出吸引和排斥是物质本身固有的属性,吸引和排斥的相互作用是物质运动的源泉的理论。在这一理论指导下,现代自然科学关于恒星演化中的吸引和排斥<sup>[1,2]</sup>、原子运动中吸引和排斥的相互作用原理均已得到阐明,原子核中吸引和排斥的相互作用处于探索阶段<sup>[3,4]</sup>,而生命物质运动中的吸引和排斥研究几乎是空白。

变异的矛盾运动是自然界最基本的运动,其运动的源泉来自吸引与排斥。生物要繁衍,就必须将种族特有的性状遗传下去。遗传的顺利进行,要求遗传信息的准确传递和表达。整个遗传过程是一个高度复杂的过程,需要生物体内各种活性生物大分子与遗传物质的协同作用,有序高效的运动来实现。因此,包括核酸在内的各种生物大分子的结构和活性都直接与遗传密切相关。

生命物质作为物质的一种,同样遵循物质运动的基本原理,即吸引和排斥是生命物质运动的动力和源泉。生物界的万物就是在引力与斥力的矛盾运动中诞生、成长、成熟,最后步入衰亡的。

### 1.1 吸引和排斥是生物大分子存在的基石

核酸和蛋白质是生物体中两种最重要的有机大分子。就生物大分子而言,可以说没有引力的存在,就没有 DNA、RNA 和蛋白质的存在。因为无论是核酸或蛋白质单链的诸多分子、原子间的连接,还是 DNA 双螺旋结构中两条 DNA 单链间分子和原子作用关系的维持,或是这些生物大分子高级结构的形成,都必须有引力来维持;当它们完成使命,引力与斥力的力量对比就会发生变化,斥力占绝对优势,从而导致其分解。

## 1 吸引和排斥是遗传的动力

遗传与变异是生命活动的基本特征之一,遗传与

### 1.1.1 DNA 和吸引与排斥

(1)DNA 复制过程中的吸引与排斥。DNA 是主要的遗传物质。新 DNA 形成靠复制来完成。复制前的模板 DNA 是双螺旋基础上的超螺旋结构,双链间形成相关螺旋,引力斥力保持平衡。在复制时,由于

需要 DNA 单链作模板,必须解开螺旋,露出单链,这就意味着两条模板链间的引力要被斥力取代。DNA 复制的过程是按照碱基配对的原则, A 与 T、G 与 C 分别相吸配对,随着冈崎片段的合成, DNA 链延伸,新链合成,由一对 DNA 模板链变为两股 DNA 双螺旋链,在打破了旧平衡的基础上,建立了新平衡。整个复制过程要经历平衡—斥力占优势—引力占优势—新平衡几个阶段。

(2) DNA 高级结构形成过程中的吸引与排斥。维持 DNA 一级结构的基础是磷酸二酯键,即氧原子与碳原子间的引力;维持二级结构的主要作用力是配对碱基原子间的引力——氢键。高温可导致 DNA 变性的原因是由于温度的升高,使 DNA 分子、原子运动加快,破坏了原有的引力-斥力平衡, DNA 由双链变为单链引起的。双螺旋 DNA 链与圆盘状的八聚体组蛋白结合,组成外径约 10nm 的核小体链,在引力的作用下,进一步螺旋化形成粗纤维,进而形成染色单体<sup>[5]</sup>。这一系列由低级到高级结构的形成过程都与 DNA 分子、原子间吸引和排斥作用密切相关。

#### 1.1.2 RNA 与吸引和排斥

(1) 转录过程中的吸引与排斥。RNA 合成的主要方式是转录。转录开始时,启动子对 DNA 特定部位的识别和结合与富含 AT 对的结构区域有关,其识别的基础是碱基配对;转录的过程也是按照碱基配对原则进行的;转录终止或与转录后 RNA 链内配对形成的“回文”结构有关,或与模板上富含 AT 对的区域相联系。所以,转录的起始、RNA 链的延伸及终止都与碱基配对有关,而配对的基础是分子、原子间的相互吸引。

(2) RNA 结构和吸引与排斥。RNA 大多是单链的,即使存在双螺旋也是局部的。然而,这些局部的双螺旋对于 RNA 的活性却是至关重要的。在 RNA 结构中,链内相邻原子间的作用、相距较远的原子间的吸引与排斥构成了活性 RNA 分子的结构基础。

#### 1.1.3 蛋白质和吸引与排斥

蛋白质翻译过程同样体现了吸引与排斥的相互作用对于蛋白质结构和功能的重要性。翻译进行之初,作为蛋白质合成场所的核糖体的形成需要大小亚基的相互吸引,聚合而成;翻译完成后,两亚基解聚。要保证翻译的顺利进行,无论是核糖体小亚基对信息 RNA(mRNA)的识别、起始复合物的形成,还是 tRNA 上反密码子对 mRNA 上密码子的识别,或是肽链的延长与终止都体现了引力与斥力的作用。在蛋白质

高级结构形成的过程中,维持一级结构的肽键,二级结构的  $\alpha$ -螺旋、 $\beta$ -折叠,维持三级结构的氢键、疏水键,四级结构的疏水键,都是为了保证有足够的引力使肽链完成盘旋折叠,形成有活性的蛋白质。当这些键渐渐减弱时,蛋白质就解体,失去活性。肽链的有些折叠在翻译完成前即可发生,很可能是肽链在核糖体上旋转折叠而成,这样的折叠在游离态时很难重现,这就是一些复杂蛋白质变性后很难复性的原因。由此看来,引力和斥力的作用对特定部位而言还有其时间特异性。

#### 1.2 吸引和排斥与细胞内运动

遗传作为一种基本的生命现象,是多种运动形式的综合体现,如染色体运动、纤毛和鞭毛的运动、物质和能量的运输等。其中最能体现遗传现象本质的是细胞分裂过程中的染色体运动。而吸引和排斥的相互作用引起遗传物质运动表现的最突出的是在有性生殖的配子形成过程中。

##### 1.2.1 染色体运动与吸引和排斥

有性生殖过程中配子的形成是通过减数分裂实现的,这一分裂过程要经历复杂的前期 I 的细线期、偶线期、粗线期、双线期等变化,经浓缩期进入中期 I、后期 I,而后经过第二次分裂形成四个子细胞。在细线期,染色体呈细线状散乱地分布在整个细胞中,此时染色体间及染色单体间斥力和引力基本平衡。进入偶线期,引力处于上升趋势,两个同源染色体从两端开始靠拢配对,染色质丝边配对边浓缩,直至粗线期完成配对时引力达最大值,斥力的作用最弱。粗线期以后,斥力开始由弱及强,双价体中的两条同源染色体开始分开,但由于在配对时发生了交换,故分开又不完全,除了在着丝粒处相连外,还在若干发生了交换的地方交叉相连。随着同源染色体间斥力的增强,交叉由着丝粒开始向两端移动,发生交叉端化,这一端化过程一直持续到中期 I。中期 I 时,交叉一般都移向端部,在纺锤丝的牵引下,两条同源染色体上的着丝粒逐渐远离,双价体开始分离,但仍在集中于双价体端部的交叉结处联系着。进入后期 I,同源染色体间的斥力达到最高值,同源染色体彻底分开,分别移向两极,原有的组合瓦解,分解成两个子细胞,再经一次有丝分裂形成四个子细胞。

由此可见,引力与斥力的相互作用对于染色体准确分离是必须的。关于染色体如何知道在细胞分裂过程中应向何处去,我们知道是由于附着在着丝粒处的纺锤丝的牵引。但是,着丝粒在纺锤丝上的附着只

有在张力作用下才是稳定的,如果没有纺锤丝牵拉的力,着丝粒就会脱离纺锤体,这种力的产生是由于姐妹染色单体结合在一起(引力)。如果染色体未被复制或一对姐妹染色单体中有一条丧失,剩下的那个不成对的染色单体便不能附着在有丝分裂的纺锤体上,这就是单倍体在细胞分裂中是随机分离的原因<sup>[6]</sup>。

### 1.2.2 细胞骨架运动和吸引与排斥

细胞骨架是细胞质内蛋白质纤维组成的网状结构,在真核细胞内普遍存在。细胞骨架主要有三种:微管、微丝、中等纤维。中等纤维主要起支撑作用,而微管和微丝除了作为细胞骨架维持细胞形状外,还与细胞内的各种运动有关。微管引起运动的原因是由于微管壁上的组分可以与细胞内的颗粒交联,当微管蛋白在微管上进行聚合-解聚这一动态平衡时,微管蛋白亚单位在微管上进行“履带式”运动,从而带动颗粒移动,这就是微管束是细胞内颗粒在细胞内长距离运输通道的原因。纺锤丝是由微管组成的,所以它能引起染色体运动。微丝引起细胞内运动的原因是由于微丝一端(B端)的肌球蛋白在肌动蛋白丝上的聚合快于另一端(P端),因而当肌动蛋白丝总长不变时,必然一端聚合,一端解聚,于是带动颗粒流动,而微管和微丝的聚合-解聚动态平衡的动力源于蛋白亚单位间的吸引和排斥作用。

### 1.2.3 质膜的运动和吸引与排斥

质膜是维持细胞内外环境稳定性的决定因素,由脂质双分子层和蛋白质构成。磷脂双分子层靠疏水键的作用,使磷脂分子尾尾相吸,形成膜的基本结构。质膜是一个动态膜,膜分子内和分子间都在不停地运动着,这些运动保证了膜结构的稳定性、质膜的物质运输及为各种生理过程提供能量的钠-钾泵的运转等生理过程,而膜分子运动的源泉就是吸引与排斥。

### 1.3 基因表达调控与吸引和排斥

控制不同性状的基因除了有功能特异性外,还有时间特异性,有些基因只有在生物发育到一定阶段才能表达,并不是在整个生命周期中都会表达的,这就是基因表达的调控作用。基因表达的调控对于遗传也是至关重要的,它就像一个控制生物发育的总开关。没有它,生物的生长和发育就会杂乱无章,根本不能保证遗传的顺利进行。基因表达调控研究得较为清楚的是原核生物。原核生物基因调控无论是正调控或负调控系统,大都是通过蛋白与DNA上特异部位的结合或分离而实现调控的。真核生物的主要调控方式是转录水平的调控。正在转录部位的染色

质常有组蛋白与DNA分离、解螺旋等现象。基因表达调控过程中的核酸和蛋白分子间的结合和分离体现了引力与斥力的变化。

## 2 吸引与排斥是变异的动力

与遗传现象同样普遍地存在于生物界中的另一种现象是变异。变异是由于遗传物质的重组或突变引起的。重组只是祖先原有性状的重新组合,产生的并非真正的“新”性状,但它却是造成变异的重要原因。突变是由于基因分子的量子跃迁引起的,或者说基因从一种构型转变为另一种构型<sup>[7]</sup>。

### 2.1 重组过程中的吸引与排斥

重组是遗传学的一个基本现象。一方面,它是遗传分析的一种主要手段,在遗传学研究中被广泛应用;另一方面,根据遗传重组的原理,可以打破不利基因的连锁,将优良基因组合在一起,选育优良品种。由于重组的重要性,遗传学家们对其机理进行了详细的研究,然而重组至今仍然是了解得很少的遗传学现象之一。

1931年, Belling 提出“模写选择模型”来解释重组的机理。这个模型认为:重组是复制的直接结果。但这个模型不能解释DNA半保留复制的原因,所以未得到广泛的赞同。于是,1937年Darlington提出了“染色体断裂融合模型”。这个模型能说明一些实验现象,但不能说明非交互重组现象,所以也是一个不够完全的模型。为了说明与重组有关的众多实验事实,许多学者进一步提出了很多模型,其中Holliday提出的异源杂种DNA模型(heteroduplex or hybrid DNA model)受到多数学者的支持。这个模型认为重组过程是这样发生的:核酸内切酶分别认出非姐妹染色单体DNA链上的相应断裂点,并在每一双链DNA分子的一条链上造成缺口,于是DNA链的双螺旋放松,然后在连接酶的作用下,断裂点以交替方式重接,形成一个交联桥(crossbridge)或Holliday中间体(Holliday intermediate),交联桥是一个动态桥,左右移动后留下较大片段的异源双链,从而产生重组。

从以上三种模型的分析可以看出:不管是从染色体水平还是从分子水平提出的假设,重组的过程都与染色体、染色单体或DNA分子间的引力和斥力相互作用关系的变化密切相关。

### 2.2 突变与吸引和排斥

基因突变有自发的,也有诱发的。以诱变机理研究得较为清楚的化学诱变剂为例,其诱变机理大部分

是由于碱基被修饰后,结构发生改变,破坏了原有的配对关系,造成转换、颠换;另一些碱基则由于结构的改变,无法配对,以致从DNA链上脱落,造成缺口,影响复制,或者使核苷酸序列缩短,造成移码突变;也有一部分诱变剂能结合到DNA分子上,与DNA分子作用,使DNA链排列参差不齐,在遗传移码重组时,会发生不等交换,使交换双方一条链碱基增加,另一条链碱基减少,导致移码突变。由此可见:变异是由于外来的理化等诱变因素的作用,改变了生物分子的结构,破坏了核酸分子内和分子间原有的平衡关系,导致引力和斥力的作用关系发生变化引起的。

在生物界中,自然或人工诱发的突变,并不是都能够遗传下来的。部分突变可以由于生物体的修复系统的作用而得到修复。据研究,由于自发的DNA分解,人体每个细胞在体温条件下一天大约会失去1万多个碱基<sup>[6]</sup>,加之细胞分裂时DNA复制带来的错误,环境中紫外线、电离辐射、致癌化学物质造成的损伤,DNA处于致变因素的包围之中,若不是有修复系统的存在,DNA将很快突变降解,根本不能完成其担负的携带遗传信息、控制性状表达的使命。由此推知,修复系统与吸引和排斥也是有“缘”的。

### 3 遗传工程中的吸引与排斥

在遗传工程中,目的基因与载体的连接是关键步骤之一。具有粘性末端的载体与目的基因的连接即是利用目的基因和载体链的末端碱基可以相互吸引配对,再用连接酶连接成一个完整的DNA重组体。而转化的成功,还依赖于目的基因与受体基因组的重组、整合,否则,目的基因即使能表达,也是短暂的。而二者的重组,与引

力和斥力的作用是分不开的。这一点在通过远缘杂交导入外源基因时表现得较为突出。

关于生命物质的运动与吸引和排斥的关系,以上只是从细胞水平、染色体水平及分子和原子水平作了一些简单的描述,希望能抛砖引玉,引起更多的人关心这一领域的研究。虽然,世界上所有物质运动的动力都来自吸引和排斥的相互作用,但是,生命物质毕竟不同于纯物理意义上的无生命的物质,生物体是一个高度复杂、有序的有机体(仅细胞构成的原理及演化方式就可以用几十个数学模型来描述),组成生物体的诸多分子原子是如何在引力与斥力的作用下,进行新陈代谢等各种生命运动,实现遗传和变异以及生物的进化,是一个需要长时间艰苦研究的课题,是所有生物物理领域的科学家的神圣使命。

### 参考文献

- 1 康德. 宇宙发展史概论. 上海:上海人民出版社, 1972
- 2 Alexander Vilenkiu. 科学美国人(中文版), 1988(4):26-33
- 3 张庆营. 物理, 1981(10):623-631, 1981(12):746-752
- 4 侯逸民, 郑玉明. 物理, 1984(9):521-523
- 5 刘凌云. 遗传, 1997, 19(增刊):11-13
- 6 Andrew W. Murran, Jack W. Szostak. 科学美国人(中文版), 1988(3):17-24
- 7 E. 薛定谔. 生命是什么. 上海:上海人民出版社, 1973
- 8 王勳昆, 黄照泰. 生物工程进展, 1998, 18(1):45-50

ATTRACTION, EXCLUSION AND LIFE MOTION  
- Attraction and Exclusion are the Impetus of Heredity and Variation  
*Wu Lifang Li Hong Yu Zengliang*  
(Ion Beam Bioengineering Lab, Institute of Plasma  
Physics, Academic Sinica, Hefei Anhui 230031)

**Abstract** The relation between attraction, exclusion and life motion is described at the level of chromosome, molecule and atom. Heredity and variation are two basic motion forms of living nature. They are closely related with attraction and exclusion. Attraction and exclusion are the basis of big biological molecules. They are necessary for cell splitting, cell structure keeping and all kinds of motion in cells. At the same time, they also play an important role in gene control, DNA recombination, mutation and repair as well as genetic engineering.

**Key words** attraction and exclusion, heredity, variation

〔作者简介〕 吴丽芳,女,中国科学院等离子体物理所生物物理专业博士。

(收稿日期: 1998-12-04)

责任编辑 赵 钢