

辐射遗传学问题

〔苏联〕H. II. 杜比宁著 复旦大学遗传学研究所译



上海科学技术出版社

輻射遺傳學問題

〔苏联〕H. II. 杜比宁 著

复旦大学遺傳學研究所 譯

上海科學技術出版社

ПРОБЛЕМЫ РАДИАЦИОННОЙ
ГЕНЕТИКИ

Н. П. Дубинин

Госатомиздат 1961

輻射遗传学问题

复旦大学遗传学研究所 譯

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路 450 号)

上海市书刊出版业营业許可証出 093 号

商务印书館上海厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 850×1168 1/32 印張 16 8/32 插頁 5 排版字数 430,000

1964 年 3 月第 1 版 1964 年 3 月第 1 次印刷

印数 1—1,700

統一书号 13119·196 定价(十二) 2.85 元

(内部发行)

序 言

和平利用原子能的工作现在已经全面展开。原子能正日益成为一个重要因素影响全人类以及地球上的整个有机界。因而生物学便面临着一项新的、必须解决的任务，即电离辐射在人类、动物、植物、微生物和病毒的遗传性上有着怎么样的影响。这一课题正是辐射遗传学这一门新的学科要加以研究解决的。

人工辐射的本底开始增高是本世纪的一个特征。在这些造成辐射本底增高的因素中，无法消除的而且影响着全球生物圈的电离辐射源具有特殊的意义。

必须了解，低剂量辐射与高剂量辐射是怎样影响着人类的遗传的。只有在掌握了这些资料以后，才有可能就辐射本底的增高对人类所产生的后果进行预测，并利用这种预测作为研究防护遗传性免受辐射危害的方法的基础。现在已有可能对原子弹和氢弹爆炸给人类后代带来的遗传损害进行估计了。

整个植物界、动物界、微生物界以及在病毒中，目前都已在某种程度上产生了一些新的进化类型，这些都与辐射本底的增高有关。这种进化是怎样实现的？如何才能使这类进化朝着我们所希望的方向进行？哪些新类型应该在农作物与家畜的育种工作中采用？应用辐射来作为微生物、植物和动物育种的新方法，将产生怎样的结果？所有这些问题，都需要由辐射遗传学作出解答。

由于建立了新的科学部门——宇宙遗传学（各种生物材料在苏联卫星式飞船上所作的多次飞行奠定了这门科学的基础），在辐射遗传学面前又出现了更为广阔的天地。随着人类宇宙飞行（这已由苏联的宇宙航行者于1961年4月11日予以实现）的成功，这类问题的意义也更为重大。

宇宙綫是一种高能的粒子,它們的生物学效应目前还不清楚。当苏联的宇宙飞船在向着金星、火星等行星的遥远航路上运行的时候,宇宙航行員們和伴随他們一起飞行的一些生物(小球藻,微生物等等),将会碰到强度虽然微弱但却是长期起作用的宇宙綫流。本門科学應該闡明:这种綫流对生物体的遗传結構将产生怎样的影响,并探索防护遗传性免受高能粒子影响的化学防护方法。

輻射遗传学問題的研究是和揭发遗传现象的理化基础的研究分不开的。只有在揭露了遗传的分子基础以及它們与細胞构型以及代謝有关的生物学上的专一性以后,輻射对遗传性作用的实质問題才能为本身的发展获得牢固可靠的基础。现在已經发现遗传的分子基础就是过去提出的、以蛋白质与去氧核糖核酸(DNA)化合物形式存在的核蛋白結構。

苏联的宇宙航行員在月球、金星和其他行星上降陆的时刻已为时不远了。在这些星球上有沒有生命存在?它們的組織結構又是怎样的?去氧核糖核酸和蛋白质是不是也和地球上的生物一样,是实现生命与遗传的共同化学基础?輻射在有机界的进化中所起的作用又是如何?

輻射遗传学應該就輻射对人类遗传的影响作出估計,并研究在遙远的宇宙飞行条件下的防护方法,以保障人类及其他生物的安全;还应该探討植物、微生物和动物育种的新方法,并探討宇宙中的生命形态的結構問題。

为了解决这些任务,必須在整个代謝过程的背景上来对电离輻射与构成遗传結構的物质之間的相互作用,进行深入的理論分析。在完成这些任务以后,本門科学就将能够在这一重要領域內成为世界上先进的一門科学。

作者在本书中試圖闡明輻射遗传学的一些主要問題。这是一項困难的任务,衷心希望讀者們对本书多多提出批評。

Н. П. 杜比宁

內 容 提 要

本书全面系統地討論了遺传的結構、物理和化学的基础,輻射生物学效应的物理本性,电离輻射和紫外綫对动植物、微生物和病毒的作用,可见光的輻射遺传学效应、哺乳动物的輻射遺传学,电离輻射与人类的遗传性,植物及微生物的輻射育种等問題,其中特別着重对輻射的遺传效应的机制和防护問題进行探討。

本书可供遺传学工作者,放射生物学工作者閱讀参考,并可作为高等院校生物系遺传学专业和生物物理学专业的教学参考书。

目 录

序 言

引 論	1
-----	---

第 1 章 遗传性的結構、物理和化学的基础	6
-----------------------	---

§1 細胞是遗传和发育的基础	6
----------------	---

§2 細胞的有絲分裂	22
------------	----

§3 减数分裂	31
---------	----

§4 受精和遗传性	37
-----------	----

§5 遗传結構变化的基本类型	43
----------------	----

§6 染色体的构型,由輻射作用所引起的染色体畸变的基本类型 和性质	46
--------------------------------------	----

§7 在遗传結構构型中的不連續性和連續性	60
----------------------	----

第 2 章 輻射生物学效应的物理学本性	93
---------------------	----

§1 物质的原子本性	93
------------	----

§2 质量与能量	97
----------	----

§3 各种射綫的性质与特点	98
---------------	----

§4 射綫和物质的相互作用	101
---------------	-----

§5 放射性	124
--------	-----

§6 輻射剂量的概念,剂量单位	127
-----------------	-----

第 3 章 电离輻射对动物、植物、微生物和病毒遗传性的影 响	131
-----------------------------------	-----

§1 电离輻射对活細胞的影响	131
----------------	-----

§2 在輻射遗传效应中的点突变	175
-----------------	-----

§3 在輻射遗传效应中发生的染色体結構的畸变	206
------------------------	-----

§4 在电离輻射作用下能够导致发生細胞遗传学变化过程的一般 图式	241
-------------------------------------	-----

第 4 章 紫外綫对动物、植物、微生物和病毒遗传性的影响	252
§1 紫外綫和物质相互作用的主要原則	252
§2 在紫外綫作用下所发生的基因突变和染色体畸变	257
§3 在紫外綫作用下导致出现細胞遗传学变化过程的一般图式	271
第 5 章 可见光的輻射遗传效应	280
§1 概論	280
§2 光动力学效应所产生的点突变和染色体畸变	281
§3 可见光的光子, 螢光色素吸色体和遗传物质在活細胞內相互 作用的基本原則	288
§4 可见光輻射遗传效应的防护机制	295
§5 論可见光的后效作用的遗传效应	298
§6 在光敏化氧化的誘变作用中所发生的基本过程的图式; 它和 电离輻射及紫外綫的原发輻射遗传学机制的比較	304
第 6 章 哺乳动物的輻射遗传	311
§1 哺乳动物輻射遗传学的早期研究	311
§2 发育时期不同生殖細胞的輻射敏感性	314
§3 輻射突变的基本类型	317
§4 輻射效应的定量測定	319
§5 突变率与輻射强度的关系	329
§6 各种哺乳动物輻射遗传敏感性的比較	333
第 7 章 电离輻射和人类的遗传性	337
§1 人类遗传性变异的基本类型	337
§2 电离輻射和人类的突变	349
§3 使自然突变数目加倍所需的輻射剂量值	353
§4 地球上輻射本底提高对人类遗传性的危害	363
第 8 章 植物和微生物的輻射育种	370
§1 輻射育种的历史	370
§2 輻射敏感性問題与植物輻射育种	373
§3 抗生菌的輻射育种	389
§4 植物的輻射育种	393
§5 植物輻射育种工作的方法和原理	410
§6 輻射育种与植物的远緣杂交	425
§7 結論	427

第9章 結語	428
§1 哺乳类与人类輻射遗传学的新任务	428
§2 輻射对染色体作用的原发机制	441
§3 輻射的遗传学效应与防护, 以及通过消除未完成的輻射损伤 来使染色体恢复正常結構的問題	449
§4 輻射突变显现过程的矛盾性	458
§5 关于輻射本底增高后的遗传效应	461
§6 电离輻射对人类遗传性危害的定量估价	468
参考文献	477

引 論

在现代物理学获得了巨大进展的时代里，由于原子能的秘密已被人类所揭示，因而在地球上就出现了一种对生物有很大影响的因素，这就是人工辐射源所产生的电离辐射。

原子能带来了技术革命，并为生物学、医学和农学开辟了一个新天地。然而原子武器和氢武器的试验，却在地球上造成了一种新的、异常的辐射本底；此外，还使人类面临着核战争的威胁。

辐射遗传学当前的任务是要了解辐射对机体的作用机制。电离辐射对人类的遗传性损伤效应的问题在这类研究中占有重要的地位。同时，辐射和育种学结合起来，也是一项新的培育微生物、病毒、植物和动物新类型的有效方法。

重要的是，研究原子能对遗传性的作用问题已经在辐射遗传学的研究中被认真地加以酝酿了。辐射遗传学是一门近三十年来才发展起来的学科，在这个领域中开展的工作与分析，早就知道电离辐射源（X射线和镭蜕变产物）对遗传性的影响有关，也同样对研究细胞中和机体的遗传性有关的那些物质的结构单位的生物学、物理学和化学的本性有关。

Г. А. Надсон 和 Г. С. Филиппов^[14]于1925年，Muller^[618]于1927年，以及 Stadler^[781]于1928年先后指出穿入到细胞内的电离辐射能使生物的遗传性发生深刻的变化以后，辐射遗传学问题便成为一门和细胞学、遗传学及放射生物学分界的独立的科学部门了。

现在，由于辐射遗传学的问题特别迫切需要解决，所以它就变

成了一門重要的、正在迅速发展着的学科。在許多生物学的研究机构中以及在所有主要的原子能研究中心都正在进行着輻射遗传学的研究工作。

輻射遗传学新的发展阶段在很大程度上是使得研究遗传性的科学(遗传学)和整个生物学象目前这样令人瞩目的重要因素。这个时期的标志是揭露了与遗传性现象有关的細胞核結構的化学和物理学本性。已經肯定,染色体乃是細胞核的主要結構,它是由蛋白质与核酸这二种具有无穷变化的多聚物所組成的核蛋白。这就为生物的变异和进化带来了无限的可能性,使得这些生物在一定的环境条件影响下产生一批又一批具有新的适应能力的类型。

大量实验資料証明,遗传性的主要物质基础是去氧核糖核酸。核酸的分子結構以及核酸組成中的原子的空間排列也已經被肯定了。这些发现使我們有可能指出,与生命现象的主要特性之一——遗传性有关系的究竟是細胞內哪一些物质,这是现代自然科学与辯証唯物主义的伟大胜利。

揭示了細胞內遗传基础的理化性质,絕不能說生物界与无机界之間沒有本质上的差別。恰恰相反,和无机物质比較起来,生命现象的特征是在一定的生物体制条件下以一定物质的新的相互作用为基础所表现出来的新性质。在遗传现象方面,这种体制首先便是以細胞核結構(染色体)作为代表的。所以,遗传理論在今天所面临的主要任务就是要闡明細胞核的基本結構的生物学构型的性质,而核酸与蛋白质分子的相互作用就是这类构型的基础。輻射遗传学的方法在解决这一問題时可以起不少的作用。遗传結構的自体复制(自体加倍)与这个問題有关,不解决这个問題就无法理解遗传现象的本身,也无法理解其系統发育。遗传变异(突变)向下一代的传递也同样依赖于新的遗传結構类型的自我复制。这与輻射突变也完全是有关关系的。

在今天,由于应用电子显微镜分析染色体获得成功以后,已經很清楚地認識到:核的遗传結構的生物学构型之謎就在于組成染色体的基本微絲的特性上。这些微絲的宽度平均为150~200

埃($\text{\AA}$)(1 埃 = 10^{-8} 厘米)。看来, 它們的结构和病毒微粒的结构非常相似, 因为在这些病毒微粒中, 蛋白质分子构成了病毒微粒的圆柱形外套, 套子里面是核酸的纖維。如烟草花叶病病毒的宽度为 150 埃, 长度为 3000 埃。

由于电离辐射而带入細胞的能量, 导致带电粒子——离子的形成, 这种带电粒子能够通过放射化学过程而使这些或那些細胞成分发生分子上的变化。

組成染色体的基本微絲是这样一种分子结构, 而辐射的遗传效应就反映在这些分子结构的变化上面。很明显, 只有在弄清遗传结构的原子与分子构型以后, 才有可能来揭露电离辐射的生物学作用以及原始机制的性质。沒有这种分析也就不可能解决辐射遗传学的基本問題。另一方面, 在分析遗传结构的物质与由辐射带入細胞的能量之間的相互作用时, 也需要考虑到各种不同的电离辐射的特点, 它們的相同点与不同点, 以及不同剂量与强度的作用等。极其重要的是: 象紫外光或可见光这样的非电离辐射, 它的量子能量是非常小的, 但是这种量子却也能引起遗传效应。这种情况使我們有可能对闊波段顆粒辐射与电磁辐射在遗传结构上的作用进行比较分析。

組成染色体遗传物质的分子所发生的化学变化乃是突变的原因。如果在辐射作用下組成染色体的分子被直接电离(結果使染色体结构发生化学变化), 那末我們所研究的就是辐射对遗传物质的直接效应, 要是被电离的分子不是染色体的組成中的分子而是組成染色体周围环境的物质分子时, 則在染色体外部便会发生复杂的放射化学过程反应鏈。这些过程仅仅只在最后才能引起作为突变分子基础的染色体发生化学变化。这时, 我們所研究的便是辐射的非直接(間接)效应。

由此可见, 要研究辐射对遗传性作用的原发机制的性质, 便需要分析由辐射带入細胞的能量与細胞物质之間的相互作用的物理学过程(在直接作用的情况下要分析的是能量与染色体分子間的相互作用, 而在間接作用的情况下要分析的則是与水分子及其他

一些組成細胞質分子之間的相互作用)。

导致染色体分子結構改变的化学过程，乃是遗传結構发生輻射变异的第二个阶段。要研究这些过程就需要先分析所有主要的放射化学过程(在电离輻射作用下进行的)，光化学过程(在紫外光作用下进行的)和光动力学过程(在可见光作用下进行的)，因为这些过程都会使得遗传結構的分子基础发生变化。

輻射遗传学方面的研究在我們今天已經具有很大的实践意义。这是因为：由于原子核物理学的发展以及原子能的和平利用，輻射遗传学在今天已經拥有很多有效的方法来培育植物、微生物和动物的有价值的类型。目前，这一完整的新科学部門已經定型了，而且被命名为輻射育种学。

研究由于生物圈受到放射性污染而造成的輻射本底异常化增高的后果也是輻射遗传学中的一个十分重要的課題。今天已經毫無疑問的是：輻射本底的显著增高对人类的遗传性來說必然会帶來严重的危害。

大气层核爆炸所形成的放射性裂解产物向地球表面沉降、累积，因而形成了某种浓度的放射性。在这种情况下象銩-37、鋇-90和碳-14 这样一些长寿的同位素就有着突出的作用。当这些示踪元素通过生物鏈(土壤—植物—动物—食品)进入人体以后，便形成了人体内經常性的內照射。

應該指出，与核酸代謝有关的細胞核器的損伤是机体的一般輻射損伤中的一个重要因素。研究防护遗传性和整个有机体免受輻射損伤(这类損伤往往会引起放射病)的方法同样也与分析輻射遗传效应的原发机制的性质有关。

这里还有一个所謂体細胞效应完整的范畴，亦即由于遗传結構損伤而使受射人体的組織和器官受到破坏。其中恶性肿瘤，特别是白血病占有特殊的地位。

輻射遗传学問題与宇宙生物学中的一系列重要問題有着密切的联系。

由于苏联的第二个卫星式宇宙飞船的飞行成功，現在已經奠

定了研究宇宙飞行中的各种因素,首先是宇宙輻射对动物、植物和微生物的遺传性影响的基础。

1961年4月12日,第一个宇宙航行員开辟了人类征服宇宙的新紀元。今后,人們还将飞向月球及太阳系的其他行星。在这种情况下,闡明在长期宇宙飞行中的遺传危險的問題便有着很大意义。應該了解,在体細胞突变方面,这种飞行对宇宙航行員本身有什么危險,并且怎样才能預防宇宙射綫对生殖細胞的有害作用。

已經很清楚的是:在未来的长期宇宙航行中,为了保証宇宙飞船中全体乘員的生命安全,将有必要利用許多生物体来形成所謂密封的生态系统。这些能呼出氧气和吸收碳酸气并能完成其他职能的微生物應該具有很高的繁殖速度,因而能够迅速地进行世代交替。如果宇宙輻射能使它們发生很多的突变,这将会使这些迅速发生的变异有可能导致它們的品质变坏。因此有必要預先查明这类变异的性质,并寻找防止这种变化的方法。这里提出的全部任务是如何保証将来在建立卫星式飞船的生物綜合群时,对要采用的所有微生物及动植物群体进行遺传控制。

最后,当人类在其他星球上碰到生命现象,或在要把地球上的生物体帶到其他宇宙体系中去的时候,遺传学方法便具有莫大的意义。

所有这一切都表明輻射遺传学問題对宇宙生物学來說是具有极其重要意义的。

当我們再回到原来所討論的輻射遺传学課題时,可以說,探討控制植物、动物、微生物和病毒遺传性的新方法以培育人們所需要的有用类型,乃是这門现代生物学学科的本旨,而这一門学科已經把遺传学、細胞学、物理学和化学的各种方法都联合在一起。为了闡明整个生物圈的进化过程,并在輻射本底增高的情况下对它們进行控制,确定輻射对各类有机体的遺传影响的性质与大小同样是一个重要的課題,而估計人类生活环境中的輻射本底增高所引起的遺传学效应,以及制定防护人类的遺传性免受輻射作用損害的有效方法則更是一项重要的任务。

第 1 章

遗传性的结构、物理和化学的基础

§ 1 細胞是遗传和发育的基础； § 2 細胞的有絲分裂； § 3 减数分裂；
§ 4 受精和遗传性； § 5 遗传结构变化的基本类型； § 6 染色体的构型，
由輻射作用所引起的染色体畸变的基本类型和性质； § 7 在遗传结构构型
中的不連續性和連續性。

§ 1 細胞是遗传和发育的基础

如果不从本质上去分析輻射和細胞内作为遗传的物质基础的那些物质之間的相互作用,就无法理解輻射对遗传性影响的实质。此外,这种影响也取决于細胞内染色体周围的物质的特征,这些物质能够随着外界条件的变化而改变。因之,为了解决輻射遗传学的问题,就不仅需要知道遗传性的结构、物理和化学的基础,而且还要知道它們在細胞内所处的环境,以及整个細胞的本性。

目前已毋庸置疑,即对现存的一切生命形式而言,細胞是结构的单位和基础。唯有病毒例外,然而它們在宿主細胞体外也同样不能行使功能。

細胞的结构是如此复杂,而决定其生命活动过程的生化基础又調整得如此之好,因此,为了要产生新的細胞,唯一的途径,就是原来的細胞一分为两个子細胞。

核和細胞质是任何細胞的基本部分，它們的继承性对于从母細胞到子細胞来說是必不可少的。細胞的整体称为原生质体，外面包有細胞壁或細胞膜。

核的结构組成在于：它是由各种不同的成分組成的，这些成分的数量和类型代表着每一种有机体的特征。这些成分因为能被碱性染料强烈地染色，因而被称为染色体，也即能染上顏色的小体。染色体在其形态和质的特性方面是有严格的个体性的。

核的结构的特点在于：每一个染色体的組成一般是重复两次的。这是因为父本和母本的性細胞(配子)的核融合而使得受精卵得到两套染色体的緣故。在这种双倍体的核里有着成对的染色体，其中的一条来自母本，而另一条則来自父本。必須指出，随着有机体的发育，在許多已經分化的細胞中，核有时会成为多倍体的核，即其双元的染色体又再增加了几倍。通常在用显微鏡来进行观察时，可以看到分裂細胞中的染色体——这是染色很深的小体；但是，在某些情形下它們可以发展成巨大的染色体，在这种巨大染色体上可以看到它們結構上的許多細節。图 1 就是果蝇神經細胞的染色体組，其中包括三对长形的染色体和一对微小染色体。無論是动物、植物乃至原生动物的染色体都具有共同的特点，并都是深度染色的小体，其形状为杆状、发針状或点状。图 1 所示的就是果蝇唾腺細胞里的一条点状的微小染色体。当这种細胞分化时，染色体就可获得巨大的多倍性，以致在显微形态学上成为长而大的染色体。其余三对染色体也相应地变大(见后面)。

染色体被染上顏色的能力取决于其中核蛋白存在的情况，因为核蛋白能与洋紅、苏木精、地衣紅、結晶紫、甲基綠和碱性复紅等染料結合而成为复合物。

在研究染色体的历史上，以碱性复紅来染染色体曾起了特殊的作用，这种染色方法也被称为核反应或孚尔根反应。这一反应在化学上是十分专一的，因为碱性复紅能同水解的去氧核糖核酸(DNA)的醛基相結合。用这一反应所获得的資料已經充分証明去氧核糖核酸乃是染色体的組成成分。

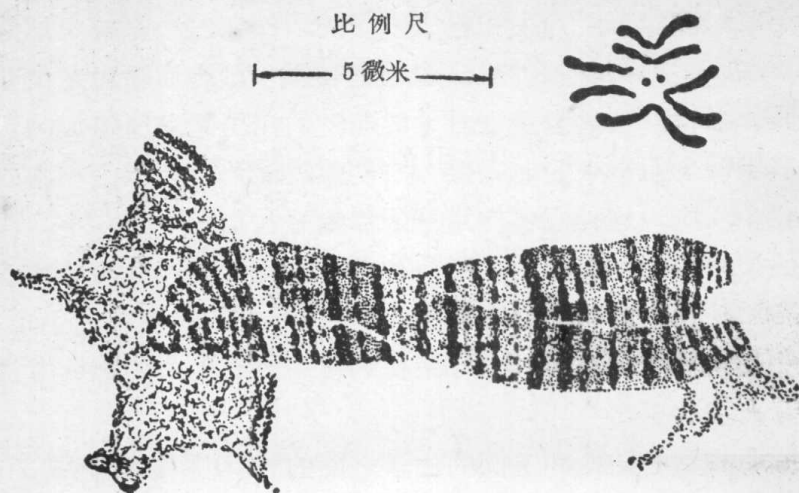


图 1 果蝇的细胞核

上——体细胞染色体的中期图象,在中央可以看到微小染色体;下——唾腺中联会的微小染色体

在细胞生活的各个时期,染色体的形态是有规律地在变化着。在间期,也就是两次分裂之间,整个核的外形多半呈圆球形小体,外面包着一层膜。这里除了染色体之外,还有核仁和未染色的核汁(也称核液)。在这个时期,大部分染色体都呈由极细的丝所组成的网。此外,在核内通常能见到一个或几个核仁(图 2)。用染料来研究核仁的反应表明,核仁是由低分子的蛋白质——组蛋白——和核糖核酸(RNA)所组成的。在被分离出来的核内已经发现有許多酶系存在。去氧核糖核酸乃是一种独特的化学物质,它在活细胞内几乎总是与细胞核相关,更确切些说,它总是与染色体密切相关的。

在动物和低等植物的细胞中,核的旁边有一种特殊的结构——中心体,它在细胞分裂过程中起着重要的作用。在不分裂的细胞里,中心体是细胞质内的一个发亮部分,其中包含着能够深度染色的颗粒——中心粒。当细胞分裂时,中心粒就分配到两极,成为形成分裂纺锤体的中心。在高等植物中,极帽执行着中心体的作用。

细胞质乃是一种胶体系统,化学上和结构上都非常复杂。水为细胞质的分散介质,碳水化合物、无机盐和氨基酸在这一系统中