

高等医学院校教材

MOLECULAR BIOLOGY
IN MEDICINE

医学分子生物学

主编 张钦宪 何丽娅 李平法

郑州大学出版社

高等医学院校教材

医学分子生物学

MOLECULAR BIOLOGY IN MEDICINE

主 编 张钦宪 何丽娅 李平法

郑州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

医学分子生物学/张钦宪,何丽娅,李平法主编. —郑州:郑州大学出版社,2002.12

ISBN 7-81048-673-X

I. 分… II. ①张…②何…③李… III. 医药学:分子生物学-医学院校-教材 IV. R318

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 084124 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人:谷振清

全国新华书店经销

郑州文华印刷厂印制

开本:787 mm × 1 092 mm

印张:18.375

字数:420 千字

版次:2003 年 1 月第 1 版

邮政编码:450052

发行部电话:0371-6966070

1/16

印次:2003 年 1 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-81048-673-X/R·540

定价:28.00 元

本书如有印装质量问题,由承印厂负责调换

《医学分子生物学》作者名单

主 编 张钦宪 何丽娅 李平法

副主编 丁 一 邢文英 李晓文

编 委 (以姓氏笔画为序)

丁 一 邢文英 成彩莲

朱晓燕 李平法 李志春

李晓文 杨继要 何丽娅

张钦宪 金 辉 陈 勇

赵国强 程晓丽

内容提要

全书十七章,约40万字。阐述了基因组的结构与功能、DNA的损伤与修复、基因表达调控、细胞通讯和信号转导、细胞周期及其调控、细胞凋亡、工具酶及其应用、基因工程的常用载体、基因文库的构建与筛选、基因诊断、基因治疗、转基因动物、癌基因与抑癌基因、PCR技术及其应用、分子杂交技术、DNA序列测定、DNA芯片等内容。

全书的主要特点是:着重介绍了现代医学分子生物学的基本理论、基本概念,既注意到学科的系统性,又突出了医学实用性,并介绍了当代常用的分子生物学技术和方法。

本书适用于高等医学院校本科生、七年制学生和研究生使用,也可供从事分子生物学教学和科研工作的专业技术人员参考。

前 言

医学分子生物学是生命科学的前沿科学,从分子水平认识生命现象是近 30 年来医学研究领域的重要成就。分子生物学理论与技术已渗透到医学科学的各个领域,带动了基础医学和临床医学的全面发展。不少大专院校已将医学分子生物学作为硕士研究生和博士研究生的必修课程和本科生的选修课程。目前医学分子生物学研究进展迅速,过去的一些概念已经或正在进行着更新,过去的一些结论也面临着一些新的实验结果的挑战。因此为了满足医学院校教学和科研的需要,郑州大学医学院、武汉科技大学医学院和新乡医学院的专家教授,根据多年的教学经验,结合该领域的研究进展,编写了这本《医学分子生物学》,供本科生、研究生和从事分子生物学研究的专业人员学习和参考。

本书注重医学分子生物学基本理论和基本概念,力求反映学科前沿内容和新进展。既注意到学科的系统性,又突出了医学实用性,对常用的分子生物学技术和方法也分别在各章节进行了简要描述。全书共分十七章,包括:基因组的结构与功能、DNA 的损伤与修复、基因表达调控、细胞通讯和信号转导、细胞周期及其调控、细胞凋亡、工具酶及其应用、基因工程的常用载体、基因文库的构建与筛选、基因诊断、基因治疗、转基因动物、癌基因与抑癌基因、PCR 技术及其应用、分子杂交技术、DNA 序列测定、DNA 芯片等。书中配有插图 128 幅,以帮助读者阅读和理解。

本书的编写和出版得到了郑州大学出版社的大力支持和帮助,在此表示感谢!

由于作者水平有限,加之时间仓促,缺点错误在所难免,诚请读者和国内同行提出批评和改进意见。

张钦宪

2002 年 10 月

目 录

第一章 基因组的结构与功能	1
第一节 病毒基因组	3
一、病毒基因组核酸的主要类型	3
二、病毒基因组结构与功能的特点	4
三、典型病毒基因组介绍	5
第二节 原核生物基因组	11
一、原核生物基因组结构与功能的特点	11
二、大肠杆菌基因组	12
三、质粒	12
四、转位因子	13
第三节 真核生物基因组	16
一、真核生物基因组结构与功能的特点	16
二、真核生物基因组的结构	17
三、人类基因组的组织结构特征	22
四、基因组学与人类基因组计划简介	26
第二章 DNA 的损伤与修复	33
第一节 DNA 的损伤	33
一、DNA 的自发性损伤	33
二、DNA 的诱发损伤	35
第二节 DNA 损伤的修复	39
一、光复活修复	39
二、切除修复	40
三、错配修复	41
四、重组修复	42
第三章 基因表达调控	44
第一节 概述	44
一、基因表达的概念及方式	44
二、基因表达调控的概念及意义	44
第二节 原核生物基因表达的调控	45
一、原核生物基因表达及其调控的特点	45
二、原核生物基因表达调控的基本要素	46
三、原核生物基因表达调控的机制	49

第三节 真核生物基因表达的调控	57
一、真核生物基因表达及其调控的特点	58
二、真核生物基因表达调控的基本要素	58
三、真核生物基因表达调控的机制	65
第四章 细胞通讯和信号转导	76
第一节 细胞通讯的方式和机制	76
一、信息分子	76
二、细胞间的通讯方式	77
三、受体	78
第二节 细胞信号转导途径及其作用机制	81
一、膜受体 - cAMP - 蛋白激酶 A 信息传递途径	81
二、膜受体 - IP_3 - 钙调蛋白激酶信息传递途径	83
三、膜受体 - cGMP 信息传递途径	85
四、膜受体 - 酪氨酸蛋白激酶传递途径	85
五、胞内受体介导的信息传递途径	86
第三节 信号转导的基本规律	87
第四节 细胞信号转导障碍与疾病	89
第五章 细胞周期及其调控	91
第一节 细胞周期	91
一、细胞周期的概念和细胞类群	91
二、细胞周期时相及其特征	92
第二节 细胞周期的调控	93
一、细胞周期的调控点	93
二、细胞周期蛋白	94
三、细胞周期蛋白依赖性激酶类	96
四、生长因子、原癌基因和抑癌基因	99
第三节 细胞周期与肿瘤	101
一、肿瘤细胞周期的特点	101
二、肿瘤细胞周期失控的分子基础	102
三、细胞周期与肿瘤化疗	103
第六章 细胞凋亡	105
第一节 概述	105
第二节 细胞凋亡的形态和生化特征	106
一、形态学特征	106
二、生物化学特征	107
第三节 细胞凋亡的过程	108
一、凋亡信号转导	108
二、凋亡基因激活	108

三、细胞凋亡的执行	108
四、凋亡细胞的清除	108
第四节 细胞凋亡的信号传递	109
一、钙	109
二、蛋白激酶	109
第五节 凋亡相关基因	110
一、ced 基因	110
二、Bcl - 2	110
三、c - myc	111
四、fas	111
五、p53	111
六、白细胞介素转化酶基因	112
第六节 细胞凋亡与疾病	113
一、细胞凋亡与肿瘤	113
二、细胞凋亡与病毒感染	113
三、细胞凋亡与神经元退行性疾病	114
四、细胞凋亡与心血管疾病	114
第七节 细胞凋亡在疾病防治中的意义	115
一、合理利用凋亡相关因素	115
二、干预凋亡信号转导	115
三、调节凋亡相关基因	116
四、控制凋亡相关的酶学机制	116
第七章 工具酶及其应用	117
第一节 限制性核酸内切酶	118
一、限制性内切酶的发现和生物功能	118
二、限制性内切酶的命名	119
三、限制性内切酶的分类	119
四、限制性内切酶的活性及其影响因素	122
第二节 DNA 连接酶	124
第三节 逆转录酶	125
第四节 DNA 聚合酶	127
一、大肠杆菌 DNA 聚合酶 I	127
二、Klenow 大片段酶	129
三、T4 DNA 聚合酶	129
第五节 DNA 及 RNA 修饰酶	130
一、末端脱氧核苷酸转移酶	130
二、T4 多核苷酸激酶	130
三、碱性磷酸酶	131

MAG 5/16

第六节 核酸酶	131
第八章 基因工程的常用载体	132
第一节 常用的克隆载体	132
一、质粒载体	132
二、噬菌体载体	135
第二节 表达载体	137
一、核表达载体	137
二、真核表达系统	139
第九章 基因文库的构建与筛选	143
第一节 基因组文库	143
一、载体和宿主选择	143
二、克隆插入片段的预期大小	144
三、“难于克隆”序列的耐受性	144
四、起始材料的数量和复杂性	145
五、基因组克隆的应用前景	146
六、完全与部分酶切文库的对比	146
七、完全酶切文库	146
八、部分酶切文库	146
九、随机切割文库	148
十、具体方法步骤	148
十一、评述	149
第二节 cDNA 文库	150
一、mRNA 纯化	151
二、cDNA 合成和克隆	151
三、克隆 cDNA 序列的理论分析	153
四、载体选择的原则:表达与非表达文库	154
五、具体方法步骤	156
第三节 cDNA 文库筛选	158
一、载体和宿主选择	158
二、文库大小和状态	159
三、必须筛选的重组子数	159
四、根据序列同源性筛选	159
五、根据抗原性筛选	161
六、根据功能筛选	162
七、所需 cDNA 插入片段的亚克隆	162
八、具体方法步骤	163
第十章 基因诊断	170
第一节 概述	170

一、基因诊断的定义	170
二、基因诊断的原理	170
三、基因诊断的特点	171
第二节 基因诊断的途径	171
一、基因突变的检测	171
二、基因连锁分析	172
三、mRNA 的检测	172
第三节 基因诊断的常用技术	172
一、核酸分子杂交	172
二、聚合酶链反应	174
三、DNA 多态性连锁分析	176
四、基因芯片技术	178
第十一章 基因治疗	179
第一节 概述	179
一、概念	179
二、历史回顾	179
三、基因治疗的途径	179
四、基因治疗的策略	180
五、基因治疗的基本条件	180
第二节 基因治疗的方法步骤	181
一、治疗基因	181
二、靶细胞	181
第三节 反义核酸技术	184
第四节 基因治疗的临床研究	185
第十二章 转基因动物	187
第一节 转基因构件的制备、动物的饲养和受精卵的获得	187
一、转基因构件的制备	187
二、动物的种类与饲养	188
三、超排卵和取卵	189
第二节 基因转移	190
一、显微注射法	190
二、逆转录病毒转染法	193
三、胚胎干细胞技术	193
四、体细胞核移植技术	194
第三节 转基因动物的筛选及转基因动物的建系	194
第四节 转基因动物的应用	195
一、改良动物品种,提高生产性能	195
二、生产药用蛋白	195

三、生产可用于人体器官移植的动物器官	196
四、建立诊断、治疗人类疾病及新药筛选的动物模型	197
第十三章 癌基因与抑癌基因	199
第一节 癌基因	199
一、病毒癌基因	199
二、细胞癌基因	202
三、癌基因产物及其致癌机制	207
第二节 抑癌基因	211
一、抑癌基因的概念	211
二、抑癌基因存在的证据	212
三、常见的抑癌基因及其功能	213
第十四章 PCR 技术及其应用	218
第一节 PCR 技术的发明、原理及特点	218
一、PCR 的发明	218
二、PCR 的工作原理	219
三、PCR 技术的特点	220
第二节 PCR 扩增体系的构成及反应条件的优化	220
一、PCR 扩增体系的构成	220
二、PCR 反应条件的优化	222
第三节 PCR 技术的类型及应用	223
一、几种常见的 PCR 技术及应用	223
二、其他核酸体外扩增技术	227
第十五章 分子杂交技术	230
第一节 核酸杂交的基本原理	230
一、核酸的变性	231
二、核酸的复性	233
三、核酸的杂交及影响杂交的因素	234
第二节 核酸分子杂交技术	235
一、固相分子杂交	235
二、液相杂交	243
第三节 核酸探针	244
一、核酸探针的类型	244
二、标记物	245
三、标记方法	246
第十六章 DNA 序列测定	253
第一节 DNA 测序的经典方法	253
一、化学法测序	253
二、双脱氧链终止法	255

第二节 DNA 自动测序技术	257
一、基于双脱氧链终止法的 DNA 自动测序	257
二、DNA 测序的新方法	258
第三节 长 DNA 片段的测序方法	260
一、随机法	260
二、引物步移法	261
三、外切酶制造缺失片段法	261
第四节 DNA 测序与基因组计划	262
第十七章 DNA 芯片	263
第一节 概述	263
一、研究背景	263
二、DNA 芯片的基本概念	264
三、DNA 芯片的主要类型	264
第二节 DNA 芯片的基本原理及制备方法	264
一、DNA 芯片的原理	264
二、DNA 芯片的制备方法	265
第三节 DNA 芯片的应用	274
一、杂交测序分析	274
二、基因表达水平检测	274
三、基因诊断分析	275
四、基因组研究及发现新基因	275
五、基因点突变及多态性检测	276
六、遗传作图	276
七、药物研究	276
八、其他应用	277
参考文献	278

第一章 基因组的结构与功能

基因(gene)原称为遗传因子,以一定符号来代表。1909年 Johanssen 将之称为基因。Morgan 的基因论证明基因是位于染色体上呈直线排列的遗传单位。1941年, Beadle 和 Tatum 对红色链孢霉的营养缺陷型分析表明,基因的功能是控制酶的合成,提出了“一个基因一种酶”的学说。1944年, Avery 等对肺炎球菌的研究证明基因的化学成分是 DNA。1953年, Watson 和 Crick 提出了 DNA 分子的双螺旋结构模型,阐明了 DNA 的自我复制和 DNA 分子中的碱基顺序蕴藏着遗传信息,经过转录和翻译控制蛋白质的合成。1957年, Benzer 对 T4 噬菌体 rII 突变型 A、B 亚区两个顺反子(cistron)的分析表明,顺反子是功能单位,即基因,它编码一种多肽链。A 亚区有 a、b 两种突变,当这两种突变为顺式(cis-)时,可有基因产物而引起细菌裂解;反式(trans-)则无基因产物,不能引起细菌裂解。所以 a、b 只是突变单位,称为突变子(muton)。突变子之间可发生重组,重组子(recon)代表一个空间单位,最小可为一个核苷酸。最小的突变子也是一个核苷酸。1965年 Nirenberg 和 Matthai 破译了三联体遗传密码。1975年 Khorana 合成了第一个有活性基因。1978年, Gilbert 发现割(断)裂基因;Sharp 和 Brown 等证明真核生物的基因多为割裂基因,为此他们二人获得了 1993 年度诺贝尔医学生理学奖。这样基因的本质才逐渐为人们所认识。现在从分子水平上讲,基因是能表达而形成有功能产物(蛋白质或 RNA)的 DNA 序列(在一些病毒内为 RNA)。按照这个定义,一个基因不仅包括编码蛋白质肽链或 RNA 的核酸序列,还包括保证转录所必需的调控序列及位于编码区 5'端上游的非编码序列、内含子和位于编码区 3'端下游的非编码序列。从简单的病毒到复杂的高等动植物细胞, RNA 和蛋白质的结构信息都是以基因的形式贮存在 DNA(部分病毒是 RNA)中的。基因的功能有 4 种,即携带遗传信息、自我复制、决定性状和基因可发生突变。按照基因表达产物的类别,可将基因分为蛋白质基因和 RNA 基因(rRNA 基因和 tRNA 基因)两大类;根据产物的功能可以分为结构基因(为酶和结构蛋白编码的基因)和调节基因(为阻遏蛋白或激活因子编码的基因)两大类。

细胞或非细胞生物体中,一套完整单倍体的遗传物质(核酸)的总和称为基因组(genome)。病毒和噬菌体这些生物大分子中所含有的全部核酸(包括 DNA 和 RNA)就是它们的基因组。大部分原核生物只有一个染色体,它包含了该生物的全套基因,构成了该生物的基因组。真核生物的情况比较复杂,含有多个染色体,存在于细胞核中的能够体现正常细胞功能的整套染色体(DNA)就是该生物的基因组。人类基因组包含 22 条常染色体和 X、Y 两条性染色体上的全部遗传物质(核基因组)以及细胞质中线粒体上的遗传物质(线粒体基因组)。基因组的结构主要指不同的基因功能区域在核酸分子中的分布和排列情况,基因组的功能是贮存和表达遗传信息。

病毒、原核生物以及真核生物所储存的遗传信息量有着巨大的差别,其基因组的结构

与组织形式上也有着巨大的差别。病毒基因组结构简单,所含结构基因很少;原核生物基因组所含基因数量较多,且有了较为完善的表达调控体系;真核生物基因组所含基因数量巨大(可达上万乃至几个万个基因),表达调节系统也更为精细。不同的基因组虽然差别巨大,却仍有相似之处。一般来说,基因组越大,其进化程度也越高。但也有例外,比如人类的基因组为 3.2×10^9 bp,而进化程度很低的肺鱼的基因组却长达 10^{12} bp。

染色体(DNA)数目根据物种不同而不同。对细胞生物而言,一个细胞所有不同染色体上全部基因和基因间的DNA的总和称为细胞基因组(cellular genome)。每个细胞中的基因数目不等,少则几个,多者数万个。既然在染色体中,DNA以它的碱基排列顺序来储存遗传信息,那么多少个碱基决定一个基因,每个基因组又携带有多少个基因呢?一般认为平均每个基因长约1 000 bp。然而,理论预测的基因数与实验室实际测得的基因数总是有很大的区别。不同生物正常染色体数、碱基对(或碱基)数目及编码的基因数见表1-1。比如说,病毒ΦX174的DNA全长5 386 bp,从理论上讲,它仅能编码5~6个基因,可实际上它编码9个基因。人的基因组全长 3.2×10^9 bp,理论上应编码 3.2×10^6 个基因,但实际上仅有30 000~40 000个基因。这是由于真核生物的基因组中,不仅有编码的外显子,而且还有不编码的内含子,基因与基因之间的间隔序列、调控序列以及大量功能尚不清楚的序列。而在原核生物和病毒的基因组的DNA几乎全部是基因,都可以编码,而且在它们的基因组中还存在有基因重叠现象,这样就大大增加了其可表达的基因数目。

表1-1 部分生物基因组中正常染色体数及基因数

生物	碱基对(或碱基) 数目(bp)	单倍体染色 体数(n)	已知大约基因数
人(<i>Homo sapiens</i>)	3.2×10^9	23	30 000~40 000
小鼠(<i>Mus musculus</i>)	3.2×10^9	20	30 000~40 000
果蝇(<i>Drosophila melanogaster</i>)	8×10^7	4	6 000
秀丽隐杆线虫 (<i>Caenorhabditis elegans</i>)	8×10^7	6	20 000
酵母(<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)	1.4×10^7	17	6 300
脉孢菌属(<i>Neurospora</i>)	6×10^7	7	5 000
大肠杆菌(<i>Escherichia coli</i>)	4.6×10^6	1	3 500
噬菌体 T4(phage T4)	2×10^5	1	150
噬菌体 λ(phage λ)	5×10^4	1	50
噬菌体 MS2(phage MS2)	3×10^3	1	3
乙型肝炎病毒(hepatitis B virus)	3.2×10^3	1	4

第一节 病毒基因组

病毒(virus)是不能单独繁殖的一类最简单的生命形式,遗传信息的延续构成了其生命活动的主要内容。许多病毒的基因组就是一个核酸分子。20世纪70年代以来,随着分子生物学的发展,尤其是基因重组、基因克隆的表达、DNA序列测定、PCR技术等先进技术的建立和应用,病毒基因组研究方面取得了辉煌的成果。病毒基因组的主要功能就是保证基因组的复制及其向子代传递,整套基因组所编码的蛋白质都是与基因复制、病毒颗粒包装以及病毒向其他宿主细胞传递等密切相关的,有些蛋白质可影响宿主细胞基因表达和增殖,通过促进细胞的增殖而有利于病毒复制繁衍。本节从病毒基因组核酸类型、病毒基因组结构与功能的特点等方面的研究进展作一概述,并对一些典型病毒基因组进行介绍。

一、病毒基因组核酸的主要类型

病毒基因组(virus genome)的遗传物质可以是DNA,也可以是RNA;其组织结构可以是单链,也可以是双链。RNA病毒基因组所携带的遗传信息一般都在同一条链上,因而病毒RNA链有正负之分。序列与mRNA相同的为正股(+),与mRNA互补的为负股(-)。在DNA中,不同基因可以不同的链作为转录模板,很难严格地定义为正股或负股。因此,有的病毒DNA有正股和负股之分,有的则没有。

按照核酸的性质、基因组结构及复制的特点,可将病毒基因组分为以下几种类型。

1. 双链DNA 基因组是双链DNA,其基因转录方式类似于细胞基因。DNA病毒中只有小DNA病毒科是单链DNA,其他7个科均为双链DNA。每种病毒依赖宿主细胞代谢系统的程度有所不同,基因组DNA的复制特点也不同。大部分DNA病毒基因组通过DNA复制过程完成基因组的复制,一些由双链DNA组成的病毒基因组,不能直接通过DNA复制过程进行基因组复制,需要先转录出一个RNA中间体(前基因组),再通过逆转录过程才能完成基因组复制,如乙型肝炎病毒。

2. 单链正股DNA 小DNA病毒科属此类,基因组为单链的正股DNA,进入宿主细胞后形成双链,其基因转录方式类似细胞基因。亦通过DNA的复制过程完成基因组的复制。这类病毒其基因组小,无能力编码调控蛋白,因此严格寄生并利用宿主细胞正常功能表达与复制。依赖微小病毒尚需依靠辅助病毒(腺病毒等)重复感染方能完成自己的复制。单链正股DNA病毒包括自主微小病毒(autonomous parvovirus)、依赖微小病毒(depend parvovirus)、噬菌体M13等。

3. 双链RNA 动物RNA病毒有12个科,只有呼肠孤病毒科基因组是双链RNA。基因组为双链RNA,基因转录是以负链RNA为模板转录出mRNA。通过RNA复制完成基因组核酸的复制。

4. 单链负股RNA 基因组为单链负股RNA。病毒颗粒中带有由病毒基因编码的RNA转录酶,该酶能以负股RNA为模板从头合成正股RNA;合成的正股RNA既没有5'帽,也没有3'poly(A)尾。再以该正股RNA作为模板,用同一病毒RNA转录酶复制出负

股 RNA,即为病毒基因组 RNA。这种 RNA 转录酶还能以负股 RNA 为模板,转录出带有5'帽和 3' poly (A) 尾的 mRNA,翻译出蛋白质。单链负股 RNA 病毒包括副黏病毒科 (Paramyxoviridae)、班亚病毒科 (Bunyaviridae)、弹状病毒科 (Rhabdoviridae) 等。

5. 单链正股 RNA 基因组是单链正股 RNA。不同病毒基因组具有不同的复制和基因转录的机制。

(1) 通过 RNA 复制过程完成基因组核酸的复制 病毒可以编码 RNA 复制酶,感染细胞后,以正股 RNA 为模板复制出负股 RNA,又以负股 RNA 为模板复制正股 RNA,正股 RNA 可以作为 mRNA,也可以作为基因组被包装。这类病毒包括黄病毒科 (Flaviviridae)、小 RNA 病毒科 (Picornaviridae)、披膜病毒科 (Togaviridae) 等。

(2) 通过 DNA 中间体完成病毒基因组的复制 即逆转录病毒,其基因组是单链正股 RNA。基因组复制需要由逆转录酶以 RNA 为模板合成出双链 cDNA,cDNA 插入细胞基因组成为前病毒,然后以前病毒为模板,转录出正股 RNA,即为病毒基因组。这是一大组含有逆转录酶的逆转录病毒科 (Retroviridae) 的病毒。

二、病毒基因组结构与功能的特点

1. 病毒与细菌或真核细胞相比,基因组很小,基因数目少。这是因为它们依赖宿主细胞的许多功能来进行复制,所以其所含的遗传信息也相应地少。

2. 病毒基因组大小相差较大。不同的病毒基因组相差甚大。如噬菌体 MS2 的 DNA 为 3 kb,所含信息量较少,只能编码 3 种蛋白质;而痘病毒基因组 DNA 长达 300 kb,可编码几百种蛋白质。

3. 病毒的基因组可以由 DNA 组成,也可由 RNA 组成。病毒基因组的 DNA 或 RNA 可以是单链,也可以是双链;可以是闭合环状分子,也可以是线性分子。如 SV40 病毒基因组为闭环双链 DNA,腺病毒基因组为线性双链 DNA,噬菌体 M13 基因组为单链环状 DNA(其复制型为双链环状 DNA),呼肠孤病毒基因组为双链 RNA,脊髓灰质炎病毒基因组为单链 RNA。

4. 病毒基因组有连续的,也有不连续的。DNA 病毒和多数 RNA 病毒基因组均由连续的 DNA 或 RNA 分子组成;但有些 RNA 病毒则以不连续的核糖核酸链组成。如流感病毒由 8 条单链 RNA 分子构成,而呼肠孤病毒则由 10 条双链 RNA 片段组成。

5. 编码序列大于 90%。病毒基因组的大部分是用来编码蛋白质的,只有很小的一部分不编码蛋白质,包括基因间的间隔区和基因表达的调控序列。

6. 除逆转录病毒基因组有两个拷贝外,其他病毒基因组都是单倍体基因组,每个基因在病毒颗粒中只出现一次。

7. 病毒基因有连续的和间断的。感染细菌的病毒(噬菌体)基因组与细菌基因组结构特征相似,基因是连续的,基因组中无内含子;而感染真核细胞的病毒基因组与真核生物基因组结构特征相似,基因是间断的,有的基因含有内含子。

8. 相关基因丛集。病毒基因组核酸序列中功能上相关的蛋白质基因或 RNA 基因常丛集在基因组的一个或几个特定部位,形成一个功能单位或转录单元。如腺病毒晚期基因编码表达的 12 种外壳蛋白,在晚期基因转录时,是在 1 个启动子作用下生成多顺反子