



全国高等农林院校“十一五”规划教材

细胞遗传学教程

庄南生 王 英 主编

 中国农业出版社

全国高等农林院校“十一五”规划教材

细胞遗传学教程

庄南生 王 英 主编

中 国 农 业 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

细胞遗传学教程/庄南生, 王英主编. —北京: 中国农业出版社, 2008. 8

全国高等农林院校“十一五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 109 - 12758 - 6

I. 细… II. ①庄…②王… III. 细胞遗传学—高等学校—教材 IV. Q343

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 091869 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

责任编辑 姚 红

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月北京第 1 次印刷

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 32.5

字数: 583 千字

定价: 64.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

主 编 庄南生（海南大学农学院）

王 英（海南大学农学院）

参编人员 严学东（海南大学农学院）

冯团诚（海南大学农学院）

高和琼（海南大学农学院）

郑 重 声 明

中国农业出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 65005894, 64194974, 64194971

传 真：(010) 65005926

E - mail: wlxyaya@sohu.com

通信地址：北京市朝阳区农展馆北路 2 号中国农业出版社教材出版中心

邮 编：100125

购书请拨打电话：(010) 64194972, 64195117, 64195127

数码防伪说明：

本图书采用出版物数码防伪系统，用户购书后刮开封底防伪密码涂层，将 16 位防伪密码发送短信至 106695881280，免费查询所购图书真伪，同时您将有机会参加鼓励使用正版图书的抽奖活动，赢取各类奖项，详情请查询中国扫黄打非网 (<http://www.shdf.gov.cn>)。

短信反盗版举报：编辑短信“JB，图书名称，出版社，购买地点”发送至 10669588128

短信防伪客服电话：(010) 58582300/58582301

前 言

目前，国内可供选用的细胞遗传学教材并不多。《细胞遗传学教程》是在编者原为华南热带农业大学（现已合并为海南大学）硕士研究生讲授细胞遗传学课程讲义的基础上，进一步补充与扩展编写而成的。本书可作为农业院校有关专业高年级本科生和研究生教材，也可供有关的科研人员参考。

细胞遗传学是遗传学中形成与发展最早的分支学科，也是生命科学中的基础理论学科。在它所走过的 100 多年历史中，前 50 年是其发展的鼎盛时期，进入 20 世纪 50 年代，由于遗传学研究的热点逐渐向分子遗传学转移，细胞遗传学曾一度受到忽视。但是当分子遗传学与细胞遗传学相互渗透与结合后，人们发现这种渗透与结合有助于将这两个分支学科的研究进一步引向深入，同时也解决了遗传学中的许多悬而未解的问题。而这两个分支学科的结合又使细胞遗传学进入了充满活力的分子细胞遗传学时期。我们认识到，细胞遗传学，特别是经典细胞遗传学在遗传学研究中仍然是不可缺少的，更不能被取代。因此，本书中编者以较大的篇幅介绍经典细胞遗传学的知识，如染色体的特殊类型、连锁交换机制、核型与带型分析、染色体结构与数量变异、无融合生殖、细胞质中的遗传物质的传递方式及其与核基因的相互作用等；同时结合细胞遗传学的发展，在许多章节中融入了分子遗传学、细胞生物学的相关知识，并以专门一章介绍了分子细胞遗传学的相关研究进展。由于本书主要是为农业院校的研究生与本科生编写的，因此书中多数内容引用了植物细胞遗传学的研究成果，其中包括一些热带植物的细胞遗传学资料。

此外，书中插入了较多的图、表，这便于读者的阅读与理解。

本书共分 12 章，编写分工如下：庄南生负责第一、二、三、四、六、七、八章的编写；王英负责第五、十、十一、十二章的编写；严学东负责第九章的编写，并参与了第四章的编写工作；冯团诚参与了第二、三、四章的编写工作；高和琼参与了第六、七、八章的部分图表绘制与整理工作。由于编者本身知识与所能搜集材料的限制，错误、不妥和遗漏之处在所难免。为此，衷心希望读者给予批评与指正。

编 者

2008 年 6 月

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 细胞遗传学的研究对象和任务	1
第二节 细胞遗传学的发展简史	2
一、细胞遗传学形成前时期	2
二、经典细胞遗传学时期	4
三、分子细胞遗传学时期	6
第三节 细胞遗传学的分支学科和实践意义	7
一、细胞遗传学衍生的分支学科	7
二、细胞遗传学的实践意义	8
第二章 染色体的形态特征和结构	9
第一节 染色体的一般形态特征	9
一、染色体数目	9
二、染色体的大小	11
三、着丝粒及其超微结构	14
四、次缢痕、核仁组织区和随体	19
五、染色粒	22
六、染色组	24
七、端粒	25
八、常染色质和异染色质	27
第二节 染色体的化学组成	30
一、DNA	31
二、RNA	32
三、组蛋白	32
四、非组蛋白	33
第三节 染色体的显微结构	34

一、染色体的基本结构单位	34
二、染色体的亚显微结构模型	36
第四节 原核生物和病毒的染色体	39
一、原核生物的染色体	39
二、原核生物染色体结构模型	41
三、病毒的染色体	43
主要参考文献	45
第三章 染色体的特殊类型与行为	48
第一节 多线染色体	48
一、多线染色体的来源	49
二、多线染色体的形态特征与结构特点	50
三、膨突及其作用	54
第二节 灯刷染色体	55
一、灯刷染色体的形态和结构	57
二、遗传及生理功能	58
三、膨突与灯刷环	59
第三节 B染色体	59
一、B染色体的形态、结构特征	60
二、B染色体的起源	63
三、B染色体的遗传方式和行为	68
四、B染色体的生物学效应	72
第四节 性染色体	76
一、性染色体的组成	77
二、性染色体形态结构特征	78
三、性别决定机制	80
四、性染色体上基因的遗传特点——伴性遗传	84
五、性染色体的剂量补偿与失活	85
六、性染色体的演化	88
第五节 环状染色体、等臂染色体及端着丝粒染色体	89
一、环状染色体	89
二、端着丝粒染色体	92
三、等臂染色体	95
主要参考文献	99

第四章 染色体组、核型、带型	105
第一节 染色体组及染色体组分析	105
一、染色体组和染色体基数	105
二、染色体组分析及其应用	107
第二节 核型和核型分析	110
一、核型	110
二、核型分析	115
三、染色体图像自动分析	121
四、自然核型分析	125
五、核型进化	128
第三节 染色体带型分析	132
一、染色体分带技术概述	132
二、染色体分带的主要类型	133
三、分带机制	146
四、植物染色体带型分析	149
五、植物分带技术的应用	152
主要参考文献	157
第五章 连锁与交换	163
第一节 连锁群的测定方法	163
一、系谱分析法	164
二、细胞学方法	165
三、利用标记基因测定连锁群	165
四、利用非整倍体测定新基因所属连锁群	167
五、四分体分析法	168
六、连锁群法	168
七、染色体原位杂交法	169
八、利用分子标记测定连锁群	169
第二节 连锁遗传的细胞学基础	170
一、交换的细胞学证据	171
二、交换发生的时期	173
三、多线交换与最大交换值	177
四、交换与交叉的关系	179

五、交叉干扰与染色单体干扰	181
第三节 特殊的交换	183
第四节 影响交换的因素	184
一、温度和水分	184
二、性别	185
三、年龄	185
四、基因型	186
五、染色体异常的影响	186
六、着丝粒和异染色质	187
七、物理和化学因素的影响	187
第五节 交换的机制	188
一、经典假说——交叉两面说	188
二、部分交叉型假说——交叉一面说	189
三、Belling 假说——拷贝选择假说	191
四、分子水平的解释	192
第六节 交换值的计算	197
一、测交法	197
二、自交法	198
主要参考文献	206
第六章 染色体结构变异	208
第一节 缺失	208
一、缺失的类型	208
二、缺失的发生	210
三、缺失的细胞学鉴定	212
四、缺失的遗传学效应	214
五、缺失的应用	216
第二节 重复	217
一、重复的类型	217
二、重复的产生	218
三、重复的细胞学鉴定	219
四、重复的遗传学效应	220
五、重复与生物演化	223
第三节 倒位	223

一、倒位的类型	223
二、倒位的产生	225
三、倒位的细胞学行为	226
四、倒位的遗传效应	233
五、倒位与物种进化	234
六、倒位的应用	235
第四节 易位	237
一、易位的类型	237
二、易位的产生	240
三、相互易位的细胞学行为	241
四、多对染色体易位的细胞学行为	247
五、易位染色体的鉴别	249
六、易位的遗传学效应	252
七、易位与进化	252
八、易位的应用	256
主要参考文献	259
第七章 染色体的整倍性变异	261
第一节 整倍性变异的类型	261
第二节 单倍体	263
一、单倍体的类型	263
二、单倍体的特征	263
三、单倍体的起源	264
四、单倍体的减数分裂行为	267
五、单倍体的应用	269
第三节 同源多倍体	270
一、同源多倍体的特征	270
二、同源多倍体的形成途径	272
三、同源多倍体的联会和分离	273
第四节 同源四倍体的基因分离	277
一、双减数的概念	277
二、同源四倍体基因分离的理论推断	281
三、根据 α 值计算配子比率	284
四、两对独立基因杂交后代的分离比例	285

第五节 异源多倍体	286
一、异源多倍体的形成途径	286
二、异源多倍体的减数分裂行为	287
三、异源四倍体基因分离的理论推断	289
第六节 多倍体的应用	291
一、克服远缘杂交的不孕性	291
二、克服远缘杂种不实性	291
三、创造远缘杂交育种的中间亲本	291
四、育成作物新类型	292
主要参考文献	293
第八章 染色体的非整倍性变异	296
第一节 三体	297
一、三体的类型	297
二、初级三体	299
三、次级三体	313
四、端体三体	315
五、三级三体	317
六、补偿三体	320
第二节 单体	321
一、单体的类型	321
二、单体的来源	323
三、单体的形态特征	324
四、单体的减数分裂行为	325
五、单体的传递及其在后代的表现	326
第三节 缺体和四体	327
一、缺体	327
二、四体	330
第四节 非整倍体的应用	331
一、基因定位	331
二、利用三级三体繁殖核不育系	337
三、染色体附加与代换	339
主要参考文献	348

第九章 染色体的异常细胞遗传学行为	351
第一节 细胞有丝分裂染色体的异常行为	351
一、细胞联会和体细胞交换	351
二、染色体消减及其应用	357
三、内源有丝分裂	359
四、多次有丝分裂	360
第二节 细胞减数分裂染色体的异常行为	361
一、减数分裂联会变异	361
二、不减数配子现象	365
第三节 染色体的其他异常行为	375
一、染色体的不均等传递	375
二、染色体在运动中的异常行为	377
主要参考文献	380
第十章 核外遗传学	384
第一节 线粒体遗传	385
一、线粒体遗传的表现	385
二、线粒体基因组	388
第二节 叶绿体遗传	393
一、叶绿体遗传的表现	393
二、叶绿体基因组	395
三、叶绿体遗传重组	398
第三节 共生体和质粒决定的核外遗传	398
一、共生体的遗传	398
二、质粒的遗传	403
第四节 核外基因与核基因的关系	404
一、细胞核基因与核外基因的特性比较	404
二、核外基因和细胞核基因之间的关系	405
第五节 高等植物的雄性不育	407
一、雄性不育和类别	407
二、雄性不育的遗传特征	408
三、雄性不育性的发生机理	411
四、雄性不育性的利用	413

主要参考文献	415
第十一章 无融合生殖的遗传	416
第一节 无融合生殖的类型	416
一、无孢子生殖	418
二、二倍性孢子生殖	418
三、不定胚生殖	418
四、单性生殖	418
五、无融合体	419
第二节 无融合生殖机制	423
一、无孢子生殖机制	423
二、二倍性孢子生殖机制	423
三、不定胚生殖机制	425
四、单性无融合生殖机制	426
第三节 无融合生殖的遗传	427
一、无孢子生殖的遗传	427
二、二倍性孢子生殖的遗传	429
三、不定胚生殖的遗传	430
四、单性无融合生殖的遗传	431
第四节 无融合生殖的鉴别	432
一、无融合生殖单倍体的鉴别	432
二、无融合生殖二倍体的鉴别	433
第五节 无融合生殖在植物育种中的应用	437
一、单倍体育种（以单倍体作为中间材料）	438
二、固定杂种优势和优良基因型	441
三、我国水稻无融合生殖研究概况	443
第六节 无融合生殖今后的研究趋势	445
主要参考文献	447
第十二章 分子细胞遗传学概论	450
第一节 名词术语与研究方法	450
一、名词术语	450
二、研究方法	452
第二节 核基因组大小及组分	460

一、基因组大小	460
二、DNA 的组分	461
第三节 染色体结构序列及人造染色体	463
一、端粒	464
二、着丝粒	467
三、复制起始点	468
四、核基质结合序列	470
五、酵母人造染色体	471
第四节 重复序列在染色体上的分布	472
一、串联重复的物理组织	473
二、散布重复序列的物理组织	473
第五节 基因在染色体上的物理排列	474
一、多拷贝基因的物理图谱	475
二、低拷贝基因的物理图谱	476
三、遗传图谱与物理图谱的比较	479
第六节 分子细胞遗传进化	481
一、染色体组分析	481
二、基因组比较作图	482
第七节 分子细胞遗传学在作物遗传育种中的应用	484
一、分子标记辅助育种	485
二、基因定位和构建基因图谱	486
三、外源染色质的检测	488
四、杂种优势预测	490
主要参考文献	490
附录 I 甘蔗染色体荧光原位杂交 (FISH) 技术	493
附录 II 甘蔗染色体直接法 in situ PCR (ISPCR) 体系的建立	497
附录 III 国内外已构建的作物遗传图谱	500

第一章 绪 论

第一节 细胞遗传学的研究对象和任务

细胞遗传学 (cytogenetics) 是遗传学 (genetics) 和细胞学 (cytology) 相结合的一个遗传学的分支学科。它是用细胞学和遗传学的方法阐明生物的遗传和变异现象及其表观规律, 是遗传学中最先发展起来的学科, 也是最基本的学科。

细胞遗传学研究的生物主要是真核生物, 一般以高等动植物为主, 其中果蝇 (*Drosophila melanogaster*) 和玉米是细胞遗传学研究中最常用、也是研究最为深入的两种生物。早期细胞遗传学领域中许多重要的概念和发现, 大都是从对这两种生物的研究中得来的。例如, 玉米的粗线期染色体和果蝇的唾腺染色体的发现, 有力地促进了细胞遗传学的发展。从研究方便考虑, 凡是生活周期短、容易培养、染色体数目少、染色体较大、有突出的形态特征、繁殖子代多的生物, 都是细胞遗传学研究的好材料。玉米和果蝇不仅具备这些优点, 而且还积累了丰富多采的遗传资料。在生物细胞中, 染色体是细胞核最重要的组成部分, 是遗传物质的主要载体, 细胞遗传学始终把染色体列为其主要的研究对象, 其研究任务就是要揭示染色体与生物遗传、变异和进化的关系, 具体包括研究染色体的数目、形态、结构、功能与运动等特征以及这些特征的各类变异对遗传传递、重组、表达与调控的作用和影响。

细胞遗传学的研究内容是在不断发展的。在学科建立的初期, 主要侧重于研究遗传现象与遗传物质的关系, 探讨基因的分离、重组以及连锁和交换的细胞学基础。在证实了染色体是遗传物质的基础之后, 细胞遗传学家就开始转向对染色体进行操作, 诱发染色体的结构变异和数量变异, 探索这些变异的发生和传递的规律, 以及它们的遗传效应。其他有关研究领域还包括各种无融合生殖的发生及其细胞学基础, 细胞质中遗传物质的传递方式及其与核基因的相互作用等。随着科学技术的发展, 研究的内容也不断深入, 从如染色体的形态特征进入到染色体的细微结构、基因突变和交换机制、基因的调控等方面。特别重要的是, 在研究生物遗传物质基础的过程中, 许多学科和遗传学的结合与交