

现代农业科技专著大系



细胞学 与 遗传学

[印] 萨米特拉·森

Sumitra Sen

迪帕克·库玛·卡

Dipak Kumar Kar

编 著

潘家驹 刘 康 周宝良 译

Cytology
and
Genetics

013048894

Q2
29



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

现代农业科技专著大系

细胞学与遗传学

Cytology and Genetics

[印] 萨米特拉·森

Sumitra Sen

编 著

迪帕克·库玛·卡

Dipak Kumar Kar

潘家驹 刘 康 周宝良 译

图书在版编目 (CIP) 数据

细胞学与遗传学/ (印) 森 (Sen, S.), (印) 卡
(Kar, K. D.) 编著; 潘家驹, 刘康, 周宝良译. —北京:
中国农业出版社, 2012. 12
(现代农业科技专著大系)
ISBN 978-7-109-17186-2

I. ①细… II. ①森…②卡…③潘…④刘…⑤周…
III. ①细胞学②遗传学 IV. ①Q2②Q3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 220576 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)

策划编辑 舒 薇 赵立山 杨金妹 贺志清

文字编辑 郭 科

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2012 年 12 月第 1 版 2012 年 12 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 19.75

字数: 450 千字

定价: 120.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

Originally Published in English as

CYTOLOGY AND GENETICS

©2005 Narosa Publishing House, New Delhi - 110 002

All Rights Reserved.

本书中文版由 NAROSA PUBLISHING HOUSE 授权中国农业出版社独家出版发行。本书内容的任何部分，事先未经出版者书面许可，不得以任何方式或手段刊载。

著作权合同登记号：图字 01 - 2008 - 2934 号

前 言

遗传学是关于遗传的科学，是包括宇宙所有生物在内的关于生物学的统一学科。遗传规律具有普遍性。对染色体的研究是遗传学研究的基础，因为它是基因的载体、遗传的媒介。从细胞到分子水平对染色体进行最详尽的分析，揭示遗传物质的位点及其行为是遗传学必不可少的研究。因此，细胞学科或细胞学，包括染色体和细胞器，是研究遗传学的前提。这两种学科，细胞学和遗传学，即细胞遗传学，揭示了遗传物质、遗传行为和传递的完整图像。与此同时，彼此互不相同的生物的进化，主要是通过基因的数量或结构的改变而得来的。因此，本书包括三门学科，即细胞学、遗传学和进化。

遗传学学科的起源应归功于孟德尔遗传规律的发现以及 19 世纪后半期 Baranetsky 提出的染色体的概念。遗传学学科的真正构成是在 20 世纪初期形成的。而关于基因确切的化学属性知识及其表达机制方面的突破，是在于 1953 年 Watson 和 Crick 发现的 DNA 双螺旋结构，这一结构可以解释基因的所有属性。这之后的一系列发明和创造，导致遗传语言的确立。解释基因的核酸语言翻译成为蛋白质的氨基酸语言的机制的密码概念是一个重大的发展。一旦基因和遗传密码的属性得到认识，技术上的惊人发展将会导致这样的事实，基因可以被分离、合成、分析，并且可以被改造，被从一种有机体直接转移到另一种有机体上。这种培育转基因作物的新技术，结合传统的作物改良方法，如通过突变、染色体变异和杂交等所产生的影响，简直难以估量。

同时，作为遗传物质或基因的载体，需要用精细方法进行染色体的结构分析。这些研究已经导致在显微水平上对染色体基因进行精确定位，进而使其进行调控成为可能。这些染色体和基因知识相结合，通过细胞及分子的方法，已经大量应用于工业、农业和医药领域。在过去的 50 年特别是近 20 年间，这一学科的发展已经使遗传学置身于所有学科的前沿。科学家现在既可以应用传统的突变和育种方法，又可以通过遗传工程方法直接调控基因来改良生物。这些基础知识的增加，也导致对进化本质的理解。对达尔文理论中有关进化体制以及物种起源的概念，现在有了更加全面的理解。

本书试图提供学生关于细胞学和遗传学基础、应遵循的定律，孟德尔遗传学理论及其以后的发展以及应用的策略。

无论通过传统方法还是现代遗传工程方法所取得的进展，包括成就和范围，已经清楚地介绍给读者了。关于进化的原理，已由不同作者根据不同学说及目前情况加以阐述，并在本书最后加以讨论。如果本书不仅能够满足现代课程对学生的要求，而且还能激发学生们对这些学科产生兴趣，那么就成功实现了作者的用意。

Sumitra Sen

Dipak Kumar Kar

目 录

前言

第一章 导论 1

一、细胞学 1

二、遗传学 1

三、细胞遗传学 1

第二章 细胞 4

一、原核细胞与真核细胞 4

二、植物细胞与动物细胞 5

三、细胞的构造 6

(一) 细胞壁 6

1. 结构 6

2. 超微结构 7

3. 起源 7

4. 功能 8

(二) 细胞膜 8

1. 组成 8

2. 结构 8

3. 功能 9

(三) 原生质体 9

(四) 内质网 9

1. 结构 9

2. 功能 10

(五) 高尔基复合体 10

1. 结构 10

2. 起源 11

3. 功能 12

(六) 核糖体 12

1. 结构 12

2. 生物发生 14

3. 功能 15

(七) 线粒体 15

1. 结构 15

2. 起源 17

3. 功能 17

4. 半自主性 17

(八) 质体 18

(九) 绿色质体 18

1. 结构 18

2. 起源 20

3. 功能 20

4. 半自主性 20

(十) 溶酶体 21

1. 结构 21

2. 功能 22

(十一) 微体 22

1. 结构 22

2. 功能 22

(十二) 微管 22

1. 结构 23

2. 功能 23

(十三) 中心体 23

1. 结构 23

2. 功能 23

(十四) 液泡 23

(十五) 细胞核 24

1. 结构 24

2. 功能 26

小结 26

第三章 染色体 27

一、染色体的数目和大小 27

二、染色体的结构与形态	28	2. DNA 复制的机理	53
1. 染色线和染色粒	28	(五) DNA 作为遗传物质的	
2. 染色单体	28	证据	56
3. 初级及次级缢痕	28	1. 转化试验	57
4. 着丝粒	29	2. Hershey-Chase 试验	57
5. 次级缢痕和随体	30	(六) DNA 含量和 C 值矛盾	61
6. 端粒	31	(七) 独特 DNA 与重复 DNA	61
7. 染色质——异染色质及常		二、核糖核酸 (RNA)	62
染色质	31	(一) 信使 RNA (mRNA)	63
三、核型和核型模式图	34	1. 结构	63
四、染色体的化学组成	34	2. 转录与加工	63
五、染色体的分子组织	34	3. 功能	64
1. 折叠纤维模式	35	(二) 核糖体 RNA (rRNA)	64
2. 核小体模式	35	1. 类型	64
3. 螺旋管模型	37	2. 转录与加工	64
六、染色体的特殊模式	39	3. 功能	64
(一) 副染色体	39	(三) 转移 RNA (tRNA)	65
(二) 灯刷染色体	40	1. 结构	65
(三) 多线染色体	40	2. 转录与加工	66
(四) 性染色体	41	3. 功能	66
小结	41	小结	67
第四章 核酸	43	第五章 细胞周期	68
一、脱氧核糖核酸 (DNA)	43	一、细胞周期的时期	68
(一) DNA 的成分	43	(一) 中间期	68
1. 磷酸	43	(二) 分裂期	68
2. 糖分子	43	二、细胞周期的调控	69
3. 有机碱	43	三、有丝分裂	72
(二) DNA 的分子结构 (Watson		1. 前期	72
和 Crick 模型)	45	2. 中期	72
1. 核苷	45	3. 后期	72
2. 核苷酸	45	4. 末期	72
3. 多聚核苷酸	45	5. 胞质分裂	73
4. 双螺旋	45	四、减数分裂	73
(三) DNA 的构型	48	(一) 减数分裂 I	73
(四) DNA 复制	49	1. 前期 I	73
1. 半保留复制的证据	51	2. 中期 I	75

3. 后期 I	75	3. 条件性致死	95
4. 末期 I	75	4. 平衡致死	95
(二) 减数分裂 II	75	5. 配子致死	95
(三) 减数分裂 I 和减数分裂 II 的 重要性	75	6. 半致死基因	95
(四) 联会丝复合体	76	五、复等位基因	95
(五) 减数分裂的意义	77	六、同等位基因	96
小结	78	七、简单互作—— $9:3:3:1$	96
第六章 孟德尔遗传	80	八、互补因子—— $9:7$	97
一、乔治·约翰·孟德尔	80	九、上位性	97
(一) 孟德尔的试验材料豌豆	80	1. 隐性上位性—— $9:3:4$ 或 补加因子	99
(二) 孟德尔选择的豌豆植株的 性状	80	2. 显性上位性—— $12:3:1$	99
二、孟德尔的试验	82	十、抑制因子—— $13:3$	99
(一) 单基因杂种杂交	82	十一、具有部分显性的抑制 因子—— $7:6:3$	100
1. 孟德尔假设	82	十二、多态基因—— $9:6:1$	101
2. 孟德尔结论	83	十三、重复基因—— $15:1$	102
(二) 双基因杂种杂交	84	十四、具有显性修饰作用的重复 基因—— $11:5$	102
1. 双基因杂种杂交的解释	84	十五、多因子—— $1:4:6:4:$ $1/1:6:15:20:15:$ $6:1$	103
2. 孟德尔结论	87	小结	105
(三) 三基因杂种杂交	87	第八章 连锁、交换及基因 作图	106
(四) 多基因杂种杂交	87	一、相引和相斥假设	106
三、和孟德尔遗传有关的词语	87	二、连锁	107
(一) 回交和测交	88	1. 连锁群	107
(二) 庞纳特方格	89	2. 完全连锁	109
四、孟德尔定律的染色体基础	89	3. 不完全连锁	109
小结	91	三、交换	109
第七章 基因的表达和互作	92	交换的主要特点	110
一、不完全显性或混合遗传 —— $1:2:1$	93	四、交换的细胞学基础	111
二、共显性	93	1. Stern 的果蝇试验	111
三、超显性	93		
四、致死因子—— $2:1$	94		
1. 隐性致死	94		
2. 显性致死	95		

2. Creighton 和 McClintock 的 玉米试验	111
3. 影响交换的因素	114
五、交换和交叉形成之间的 关系	114
1. 传统学说 (交叉双面 学说)	114
2. 交叉类型学说	114
3. 交换的 (分子) 机制	114
六、三点测交法基因作图	120
七、干扰与并发	123
八、细胞学图谱与遗传图谱	123
小结	127
第九章 性别决定与性连锁 遗传	128
一、性别决定	128
(一) 染色体的性别决定	128
1. 雌性 XX 和雄性 XY 型	129
2. 雌性 XY 和雄性 XX 类型	129
3. 雌性 XX 和雄性 XO 类型	130
4. 雌性 XO 和雄性 XX 类型	130
5. 雌性 XO 和雄性 XY_1Y_2 类型	130
6. 雌性二倍体和雄性单倍体 类型	130
(二) 基因的性别决定	131
(三) 激素的性别决定	132
(四) 环境的性别决定	132
二、性连锁遗传	133
(一) 性连锁性状	133
1. X 染色体连锁遗传	133
2. Y 染色体连锁遗传	135
3. X-Y 染色体连锁遗传	136
(二) 性别影响性状	137
(三) 性别限制性状	139
小结	140

第十章 细胞质遗传 (母性 遗传)

一、核外基因与核基因控制 性状的区别	141
1. 正反交差异	141
2. 缺少分离、无规律分离、 体细胞分离	142
3. 缺乏染色体定位	142
4. 与细胞器 DNA 的联系	142
5. 通过回交转移核基因组 (染色体组)	142
二、和细胞器有关的细胞质 遗传	142
1. 质体遗传	142
2. 植物中的雄性不育	144
3. 小菌落脉孢菌	144
三、母性效应	146
四、与感染遗传颗粒有关的 母性遗传	147
小结	149

第十一章 染色体的数量变异 与结构变异

一、染色体的数量变异	150
(一) 非整倍性	150
1. 单体性	151
2. 缺体性	152
3. 三体性	152
4. 四体性	152
5. 非整倍性的重要性	152
(二) 整倍体	154
1. 整倍体的类型	154
2. 多倍体的起源	161
3. 多倍性的诱导	161
4. 多倍体的外部特性和 生理学变化	162

5. 多倍体的重要性	164	1. 自发突变的机制	187
二、染色体的结构改变——		2. 诱致突变的机制	189
染色体的变异	165	四、DNA 修复	196
1. 缺失	166	1. 光复活作用	196
2. 重复	168	2. 烷基转移酶	196
3. 倒位	170	3. 切割修复	196
4. 易位	172	4. 错配修复	196
5. 染色体结构改变的效应	175	5. SOS 修复	196
6. 其他的染色体变异	176	五、突变的检测	197
三、染色体畸变的重要性	179	六、突变的重要性	197
1. 在进化上的作用	179	小结	198
2. 遗传分析上的作用	179		
3. 植物育种中的作用	179	第十三章 遗传密码	199
四、染色体片段及其畸变的		一、遗传密码的特征	199
鉴定	179	1. 三联体密码子	199
1. 染色体显带	180	2. 密码子无重叠	201
2. 原位杂交	181	3. 密码子的简并	202
小结	182	4. 密码子无逗号	203
第十二章 突变	184	5. 密码子无歧义	203
一、突变的类型	184	6. 密码子的通用性	203
1. 形态学突变	184	二、破译密码子：密码子	
2. 致死突变	184	注释	204
3. 生物化学突变	184	1. 同聚物技术（多聚 U	
4. 抵抗突变	184	试验）	204
5. 条件突变	184	2. 共聚物技术	204
6. 体细胞生殖细胞突变	184	3. 结合技术	204
7. 错义突变	185	4. 重复序列共聚物	204
8. 无意义突变	185	三、密码子字典	205
9. 沉默突变	185	1. 起始密码子	206
10. 抑制突变	185	2. 终止密码子	206
二、自发突变与诱致突变	185	3. 摇摆假说	206
三、突变的分子基础	186	小结	206
（一）突变产生的方式	186	第十四章 基因的现代概念	208
1. 碱基对替换	186	一、基因的性质	208
2. 移码突变	187	二、基因和酶的关系	209
（二）突变机制	187	1. 一个基因一个酶假说	209

2. 人类的证据	210	2. 操纵子模型	237
3. 一个基因一个多肽概念	211	(二) 真核生物	241
三、基因的再分(基因的细微结构)	212	1. 转录的调控	241
四、断裂基因: 外显子和内含子	213	2. 激素调控基因的表达	241
五、重叠基因和内含基因	215	小结	241
六、移动基因	216	第十六章 生物技术与遗传工程	243
1. 插入序列	216	一、遗传工程(重组 DNA 技术)	244
2. 转座子	217	1. 相关的酶	245
七、拟等位基因	219	2. 克隆载体	247
八、假基因	220	3. 克隆技术	248
九、自在基因	220	4. 菌落杂交技术	250
小结	220	5. 印迹杂交	252
第十五章 蛋白质合成及其调控	222	二、基因组与 cDNA 文库	254
一、中心法则	222	1. 基因组 DNA 文库	254
二、转录	222	2. 从 mRNA 构建互补 DNA (cDNA) 文库	254
(一) 原核生物的转录	222	三、DNA 限制性片段长度多态性	255
1. 起始	222	四、聚合酶链式反应	255
2. 延长	223	五、DNA 测序	257
3. 终止	225	六、DNA 指纹图谱	258
(二) 真核生物的转录	226	七、组织培养技术	259
1. RNA 的加工	226	1. 全能性	259
2. RNA 的编辑	229	2. 胚培养	259
三、翻译	229	3. 单倍体培养	259
1. 转移核糖核酸的作用	229	4. 体细胞克隆变异	260
2. 氨基酸的激活及其与 tRNA 的结合	230	5. 悬浮液培养	260
3. 多肽合成的启动	230	6. 原生质体培养	260
4. 多肽的延长	232	7. 微繁殖	260
5. 多肽的终止	234	8. 人工种子	260
6. 多肽释放后的修饰	234	八、细胞融合技术	260
四、蛋白质合成的调控	237	九、转基因技术	261
(一) 原核生物的调控	237	1. 载体	261
1. 诱导和阻遏系统	237	2. 方法	261

3. 转基因的验证	263	三、处理.....	277
4. 转基因作物	263	1. 包埋处理和超薄切片	278
十、在农业、卫生和工业上的		2. 压片法	278
生物技术	265	3. 涂片法	279
1. 生物能量生产的微繁殖	265	四、染色.....	279
2. 生产无病、抗病、抗虫、		1. 常用染色剂	279
抗除草剂的植物	265	2. 常用染料的准备和染色	
3. 突变体的引导和选择	265	程序	279
4. 体细胞杂种的产生	265	五、制片.....	281
5. 转基因植物的产生	266	1. 结晶紫染色后切片和涂片的	
6. 工业生物技术和微生物、		制片法	281
植物、动物及人类有关的		2. 醋酸地衣红、醋酸洋红和	
一类过程和技术在商业上		孚尔根染色的压片和涂片	
的应用	266	制片法	281
十一、未来的发展	267	六、有丝分裂染色体研究	282
小结	269	1. 根尖压片技术	282
第十七章 进化及群体遗传	271	2. 叶尖压片技术	282
一、进化的学说.....	271	3. 根尖切片技术	283
1. 拉马克学说	271	七、有丝分裂指数和中期分裂	
2. 达尔文学说	271	相频率的确定	283
3. 突变学说	272	八、根尖细胞和叶尖细胞的	
4. 合成学说	272	核型分析	283
二、物种的进化——目前		1. 方法	283
情况.....	273	2. 一些常用的材料	284
三、群体遗传学.....	274	九、减数分裂染色体的研究	287
1. 等位基因频率的测定	274	1. 临时涂片法（醋酸洋红	
2. Hardy - Weinberg 平衡	274	染色）	287
3. 影响基因频率的因素	275	2. 永久涂片法（结晶紫	
4. 等位基因频率的估测	275	染色）	288
小结	275	3. 一些常用的材料	288
第十八章 染色体技术	276	习题	291
一、预处理	276	词汇	297
二、固定.....	277	鸣谢	301

水平起源的遗传行为的表现,直到表现型显示的顶点,都在细胞遗传学的范围之内。染色体的详细研究,如在生物繁衍、生殖、器官发育以及物种进化中染色体的行为,都包含在细胞遗传学学科的范围之内。基因组的起源与分析,如在染色体水平上所推断的,及其在杂种和突变体行为的特征,也在细胞遗传学的范围之内。通过细胞学和遗传学方法,鉴定在染色体水平上的基因序列,也形成细胞遗传学的一个重要成分。细胞遗传学由于处于重叠的学科领域,经常很难去划定遗传学和细胞遗传学的界限。实际上,细胞遗传学考虑到细胞行为的所有方面,特别是关于染色体、细胞周期分化、繁殖、杂交及进化。

表 1-1 列出的是 1665—2002 年关于细胞学和遗传学方面发生的主要事件。

表 1-1 主要事件的编年史

年份	调查研究者/等	事 件
1665	Robert Hook	发现细胞
1831	Robert Brown	叙述细胞中存在细胞核
1838	Shleiden M J 及 Schwann T S	提出细胞学说
1861	Schultze	提出原生质学说
1866	Gregor Johann Mendel	系统地阐述遗传的定律
1870	Meischer F	分离核蛋白
1879	Flemming W	叙述细胞核中的染色体
1882	Flemming W	叙述细胞分裂(有丝分裂)
1883	Schimper	给叶绿体定名
1885	Hertwig D 及 Stras-burger E	提出遗传中细胞核的作用
1888	Waldeyer W E	叙述染色体
1898	Benda C	给线粒体定名
1898	Golgi C	描述高尔基复合体
1902	McClung C E	发现性染色性
1903	Sutton W E	提出染色体学说
1905	Farmer J B 及 Moore J E	创造减数分裂(meiosis)这一名词
1910	Morgan T H	发现连锁
1913	Strutrant A H	构建第一张染色体图
1927	Muller H J	利用 X 射线辐射诱导突变
1931	Stern C, Creighlon H 及 McClintock B	用细胞学论证交换
1937	Blakeslee A E	用秋水仙素诱导多倍性
1941	Beadle G W 及 Tatum E L	提出一个基因一个酶的学说
1949	Pauling L	论证蛋白质结构受基因控制
1950	McClintock B	提出跳跃基因概念
1952	Chase M 及 Hershey A D	指出基因是 DNA
1953	Watson J D 及 Crick F C	证实 DNA 的双螺旋模型

(续)

年份	调查研究者/等	事 件
1955	Kornberg A 及 Ochoa S	核酸的体外合成
1957	Seymour Benzyer	提出顺反子、重组子和突变子的概念
1958	Meselson M S 及 Stahl F W	以试验证实 DNA 的半保留复制
1958	Crick F H C	提出分子生物学的中心法则
1961	Crick F H C	证明遗传密码的三联体性质
1961	Nirenberg M W 及 Mathaei J H	译解遗传密码
1961	Jacob F 及 Monod J	提出操纵子概念
1970	Khomna H	从 DNA 核苷酸合成一个人工基因
1970	Temin H 及 Baltimore D	发现逆转录作用
1972	Paul Berg	利用限制性内切酶产生 DNA 重组
1973	Stanley Cohen 及 Herberd Boyer	遗传工程
1974	Claude A 及 Palade G	细胞的超微结构
1974	Kornberg T	提出染色体中核小体模式 (染色质中直径约 10nm 的粒子)
1975	Southern E M	DNA 印迹法 (Southern blotting, 一项用于杂交测试的基因操作法)
1976	Clarke Carbon	cDNA 文库
1977	Maxam A M, Gilbert W, Sanger Frederick F 及 Coulson	DNA 的测序
1979	Alwine	RNA 印迹 (Northern blotting) (指任何采用 RNA 样本的印迹, 然后与放射性 DNA 杂交, 与 Southern blotting 相对)
1980	Zambryski VanMontagu 及 Schell	转基因植物的发育 (农杆菌介导法)
1981	Harbes, Jahner 及 Jaenisch	转基因鼠的发育
1983	Zimmerman 等	借电穿孔直接转移 DNA
1997	Clayton 等	单细胞有机体 (酵母菌) 的完整基因组序列
2000	拟南芥基因组计划	拟南芥基因组序列
2001	Craig Venter (人类基因组计划)	人类基因组的完全测序
2002	Goff 等, Yu 等	水稻基因组测序

第二章 细 胞

细胞是生物基本的结构和功能单位，可以进行生命所必需的所有活动。1865 年，Robert Hook 用光学显微镜观察到软木塞薄片中有空腔，他把这些空腔命名为细胞。1838 年，Schleiden 和 Schwann 发现所有生物的组织都由细胞组成，这就是细胞学说。

一、原核细胞与真核细胞

已知有两种类型的细胞，即原核细胞和真核细胞。原核细胞的细胞核没有膜包被（图 2-1），如细菌、蓝绿藻等。真核细胞的细胞核由膜包被，如大多数植物和动物细胞。原核生物与真核生物有着根本的区别（表 2-1）。

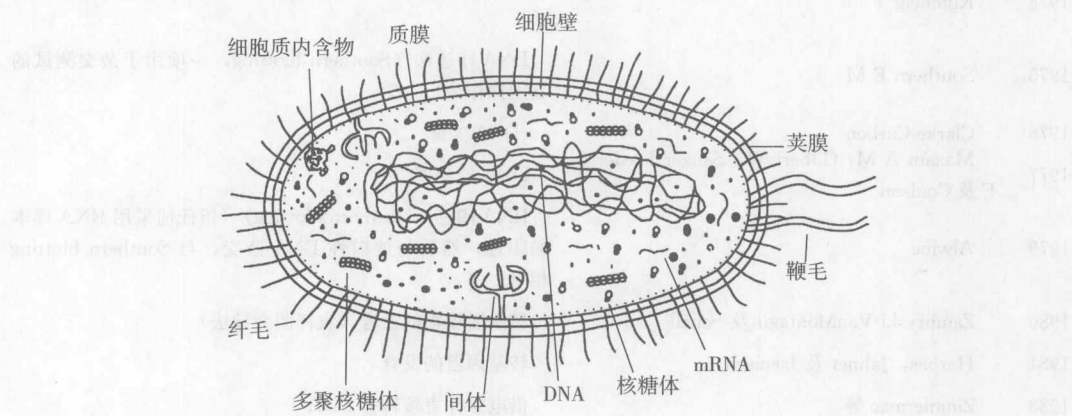


图 2-1 典型的原核生物——细菌的细胞结构
(引自 Duibey 和 Maheshwari, 1999)

表 2-1 原核细胞和真核细胞的区别

特 征	原核细胞	真核细胞
1. 细胞大小	多数 $1\sim 10\mu\text{m}$	多数 $10\sim 100\mu\text{m}$
2. 组织状态	单细胞，少数多细胞	多细胞，少数单细胞
3. 细胞壁	多数但不是都有细胞壁；有肽聚糖	植物、真菌有细胞壁，无肽聚糖
4. 细胞核	无	有
(1) 核膜	无	有
(2) 核仁	无	有
(3) 染色质与组蛋白	无	有

(续)

特 征	原核细胞	真核细胞
(4) 遗传物质	环状或者线状双链 DNA, 基因不被内含子分隔	线状双链 DNA; 基因常被内含子分隔
(5) 有丝分裂装置	无	有
5. 细胞器	无膜	除内质网以外都有膜
(1) 线粒体	无	有
(2) 内质网	无	有
(3) 溶酶体	无	有
(4) 叶绿体	无	有 (仅限于植物)
(5) 中心体	无	有 (仅限于动物)
(6) 核糖体	有 (70S——50S+30S)	有 (80S——60S+40S)
(7) 微管	无	有
6. 液泡	无	有
7. 鞭毛	由鞭毛蛋白组成的简单结构	由微管蛋白和其他蛋白质组成的 9+2 复合体

二、植物细胞与动物细胞

植物细胞与动物细胞在很多方面存在着差异 (表 2-2、图 2-2、图 2-3)。

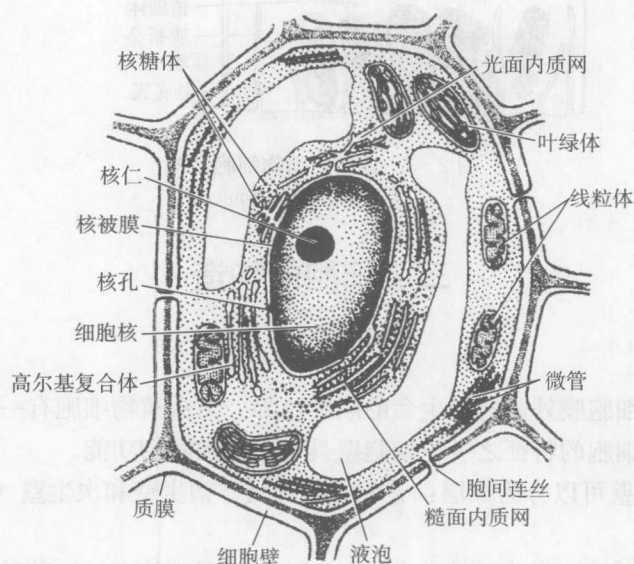


图 2-2 典型的植物细胞结构

(引自 Gupta P K, 1999)