



面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

分子遗传学

杨业华 主编

中 国 农 业 出 版 社

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century.

分子遗传学

杨业华 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

分子遗传学/杨业华主编. —北京: 中国农业出版社,
2000.11

面向 21 世纪课程教材

ISBN 7-109-06635-5

I. 分... II. 杨... III. 分子遗传学-高等学校-
教材 IV. Q75

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 53550 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 100026)

出版人: 沈镇昭

责任编辑 江社平

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2001 年 1 月第 1 版 2001 年 1 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×960mm 1/16 印张: 34.75 插页 1

字数: 627 千字 印数: 1~10 000 册

定价: 45.70 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

遗传学是生物科学的基础学科，它发展迅速，包容知识面广，理论性强且又与实际应用联系密切。遗传学课程是高等农林院校动物、植物和微生物类各专业重要的专业基础课程，为了使遗传学教学更好地适应本学科的迅速发展和密切配合相关的专业课程教学，亟须编写出一套能系统阐述遗传学基本原理、反映现代遗传学水平、追踪学科发展前沿的遗传学教材。

根据教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革”精神并结合高等农林院校生物类各学科特点，我们编写了《普通遗传学》和《分子遗传学》两本教材，以期将遗传学分成两个教学板块，分层次、按专业特点和要求教学。这里所说的“普通遗传学”实为基础遗传学，它讲述除分子遗传学内容以外的遗传学各分支学科的一般原理及常规分析方法，适合为生物类各专业本科学生奠定遗传学基础。第二板块“分子遗传学”讲授第一板块中除数量性状遗传和群体遗传以外的各分支学科的深层次内容，重点在基因的结构、功能、调节表达、基因突变、遗传信息复制以及基因操作等内容，适合对遗传学知识要求较全面的专业及部分对遗传学有特殊兴趣的学生进一步学习。《普通遗传学》由高等教育出版社出版。

在编写思想上，我们力求本系列教材便于学生自学、有利于调动学生学习自主性、有利于培养学生自我获取知识的能力、有利于启发学生的创造性思维。

在编写内容上，《普通遗传学》除了系统阐述遗传学的经典理论和基本原理外，还全面充实了植物、动物和微生物方面遗传分析方法学内容，以拓展学生知识面和加强学生分析问题和解决问题基本能力的培养。《分子遗传学》重点论述基因的特征、调节表达机理以及基因操作的基本原理，引进了遗传学和分子生物学研究的新成果和新概念，使学生在修完本课程后，能够把握各类生物遗传信息表达的共性和特点，把握学科发展的总体趋势，为进一步自学奠定较全面的理论基础。

《分子遗传学》分九章。第一章介绍 DNA 和 RNA 作为遗传物质的特征和



遗传物质损伤的修复机制，以及遗传信息表达的基本过程。第二章介绍基因的特征，包括基因的结构特征、基因的组织、基因突变与重组的分子基础、转座因子及其转座的遗传效应。第三章介绍原核生物基因组的复制、基因转录与翻译调节。第四章介绍真核生物基因组的组织及基因的调节表达，包括染色体的特征、DNA复制、基因转录和翻译起始调节、转录子和蛋白质的加工，发育阶段及环境信号对基因表达的调节等。第五章介绍真核生物细胞器线粒体和叶绿体基因组的特征，基因的调节表达，细胞器基因组与核基因组的互作等内容。第六章主要介绍各种生物代表性病毒基因组的结构特征、DNA复制和基因表达的策略以及病毒侵染对宿主细胞的影响。第七章介绍脊椎动物免疫的基因控制，重点介绍抗体基因重组与抗体多样性的分子基础。第八章介绍病毒、细菌和真核生物中模式生物的基因对发育和细胞分裂和生长的控制。第九章介绍基因操作的基本原理及其应用，包括各类载体的基本特征及基因重组的方法，动植物遗传转化方法及其原理，细菌、病毒表达系统在工农业、商业、医学方面的应用等内容。

《分子遗传学》按80学时编写，生物类各专业可根据本专业特点和教学时数，对讲授内容作适当取舍。本书每章之后都有内容小结和习题，便于学生复习、巩固和把握重点。

本教材是教育部“高等农林院校面向21世纪生物系列课程教学内容和课程体系改革”项目成果之一，亦得到中华农业科教基金部分资助。华中农业大学杨业华编写第一至第五章，毕丁仁编写第六、七章，赵书红编写第八章，中国农业大学王国英和湖北大学金山编写第九章，南京农业大学张红生编写了第八章部分内容。限于我们的水平，书中舛误之处在所难免，特别是在本教材的内容选取方面，是否切合21世纪农林专门人才培养的需要，尚有待时间检验，诚望遗传学家和广大读者批评指正。

本书初稿完成后，由中国农业大学陈永福教授主审全书，西南农业大学裴炎教授亦审阅了全书，在此致以诚挚感谢。

编 者

1999年12月

主 编 杨业华（华中农业大学）
副 主 编 毕丁仁（华中农业大学）
 王国英（中国农业大学）
参编人员 金 山（湖北大学）
 张红生（南京农业大学）
 赵书红（华中农业大学）

主 审 陈永福（中国农业大学）
参 审 裴 炎（西南农业大学）

内容简介

本书系统阐述了遗传信息的复制，基因的结构、功能和调节表达机理，基因突变与重组，基因对发育的控制以及基因操作及其应用的原理。全书分九章，包括遗传物质 DNA 和 RNA 的特性、基因的特征、原核生物基因组及其表达、真核生物细胞核基因组及其表达、线粒体和植物叶绿体基因组及其表达、病毒基因组及其表达、脊椎动物免疫的分子基础、基因对发育和细胞周期的控制、基因操作及其应用。为便于读者学习，每章之后编有提要 and 复习题，书末编有中、英文索引和主要参考书。

本书是教育部“面向 21 世纪课程教材”之一，可作为高等农林院校生物类专业本科生的遗传学基础课教材，亦可作为综合性大学和高等师范院校生物类有关专业本科生教材或教学参考书以及供有关专业的研究生和科技工作者参考。

前 言

第一章 遗传物质 DNA 和 RNA	1
第一节 DNA 分子的结构与复制	1
一、遗传物质 DNA 的发现与证明	1
二、DNA 分子的结构	4
三、DNA 分子的功能单位	9
四、DNA 分子的复制	10
五、DNA 序列组成	13
第二节 RNA 的结构与功能	15
一、RNA 分子的结构	15
二、RNA 合成与病毒 RNA 遗传信息传递	16
三、细胞中主要的 RNA	18
第三节 三联体密码与蛋白质合成	22
一、三联体密码	22
二、翻译	25
三、中心法则及其发展	28
第四节 DNA 损伤及其修复	29
一、DNA 变异	30
二、DNA 损伤的修复机制	32
小结	39
复习题	40
第二章 基因的特征	42
第一节 基因的结构特征	42
一、基因的一般结构	42
二、基因的变异类型	46



第二节 基因的组织	51
一、操纵元	51
二、重复基因与基因家族	53
三、重叠基因	56
第三节 基因突变与重组	57
一、基因突变	57
二、基因重组	68
三、基因转变	73
第四节 转座子	76
一、转座子的遗传特征	76
二、细菌中主要的转座子	77
三、植物转座子	81
四、酵母的转座子	83
五、无脊椎动物的转座子	85
六、转座子转座与基因突变	88
小结	94
复习题	96
第三章 原核生物基因组及其表达	100
第一节 细菌基因组及其复制	100
一、细胞中的拟核	100
二、细菌 DNA 复制的主要酶类	102
三、细菌 DNA 复制的模型	107
四、质粒的一般特征及其复制调节	112
第二节 细菌基因组的转录与翻译	114
一、与转录有关的酶	114
二、转录起始、延长与终止	116
三、翻译起始	123
第三节 操纵元的调节表达	129
一、操纵元调节表达的一般模型	129
二、乳糖操纵元的负控制和正控制诱导表达	131
三、色氨酸操纵元与弱化反应	133
四、核糖体蛋白操纵元与翻译自动调节	136
五、转录的总体控制	139
六、热激蛋白的合成	140
小结	141



复习题	144
第四章 真核生物细胞核基因组及其表达	146
第一节 DNA 与染色体	146
一、组蛋白与染色质	146
二、着丝粒与卫星 DNA	149
三、端粒	150
四、分散的高度重复 DNA	151
五、细胞分裂中期的骨架	152
第二节 细胞核 DNA 复制	152
一、复制子及复制起始区	152
二、DNA 复制的蛋白质或酶类	154
三、细胞核 DNA 复制模型	156
四、染色体端粒 DNA 的合成	158
五、有选择的 DNA 复制与基因扩增	158
第三节 基因的转录与蛋白质合成	162
一、转录酶	162
二、转录的控制信号	163
三、转录起始及转录因子	169
四、mRNA 的加工	181
五、蛋白质合成的起始	187
六、翻译延长和终止	190
第四节 细胞核基因表达的控制	191
一、基因表达在转录和转录后水平上的控制	191
二、基因表达在翻译水平上的调节	197
三、基因表达的翻译后调节	201
第五节 发育阶段对基因表达的调节	207
一、基因表达的细胞、组织和器官特异性	207
二、脊椎动物珠蛋白基因表达的发育阶段调节	209
三、性别对基因表达的调节	210
第六节 环境信号对基因表达的调节	214
一、半乳糖对酵母基因表达的调节	214
二、外源激素对基因表达的调节	216
三、热激效应对基因表达的调节	217
四、光照对植物基因表达的调节	219
五、缺氧对植物基因表达的调节	220



小结	221
复习题	226
第五章 线粒体和叶绿体基因组的组织及表达	228
第一节 线粒体基因组	228
一、线粒体 DNA 的复杂性	228
二、哺乳动物线粒体基因组	230
三、酵母线粒体基因组	231
四、植物线粒体基因组	233
五、原动物线粒体基因组	236
六、线粒体基因密码的不通用性	237
七、线粒体基因组的复制	238
第二节 线粒体基因的转录与翻译	238
一、线粒体基因的转录和转录控制	238
二、线粒体转录子的加工	239
三、RNA 编辑	242
四、线粒体 mRNA 的翻译和翻译控制	245
第三节 植物质体基因组的组织及表达	247
一、质体基因组的组织和结构	247
二、质体基因的表达	251
第四节 线粒体和质体基因组与细胞核基因组的互作	255
一、细胞器的生物发生与核基因组的关系	255
二、细胞溶质蛋白向细胞器的运输	256
三、细胞器基因与核基因表达的协调性	260
四、植物线粒体与细胞质雄性不育性	261
小结	262
复习题	263
第六章 病毒基因组的表达及病毒感染对宿主细胞的遗传效应	265
第一节 病毒基因组的组织	265
一、双链 DNA 噬菌体基因组	265
二、哺乳动物双链 DNA 病毒基因组	270
三、植物双链 DNA 病毒基因组	273
四、单链 DNA 病毒基因组	273
五、RNA 病毒基因组	275



六、逆转录病毒基因组	281
七、植物类病毒和拟病毒基因组	284
第二节 病毒基因组的复制	284
一、线状双链 DNA 病毒基因组的复制	284
二、环状双链 DNA 病毒基因组的复制	287
三、单链 DNA 病毒基因组的复制	290
四、单链 RNA 病毒基因组的复制	293
五、逆转录病毒基因组的复制	293
第三节 病毒基因的转录及蛋白质合成	298
一、病毒基因的转录起始信号	298
二、病毒基因的转录终止信号	306
三、RNA 病毒蛋白质合成的策略	308
第四节 病毒与肿瘤	311
一、肿瘤及癌的一般生物学概念	311
二、动物及人体的致癌因子	312
三、癌基因、抑癌基因及肿瘤转移调节基因	316
四、DNA 肿瘤病毒与癌	323
五、RNA 病毒与肿瘤	327
第五节 病毒感染与宿主干扰素的合成	329
一、干扰素	329
二、干扰素基因	331
三、干扰素合成	333
四、干扰素的抗病毒活性	334
小结	336
复习题	338
第七章 脊椎动物免疫的基因控制	339
第一节 脊椎动物的免疫反应	339
一、免疫的概念	339
二、免疫系统与免疫反应	341
三、抗原及抗原性	343
第二节 B 细胞免疫反应	345
一、抗体、单克隆抗体及其基因工程抗体	345
二、抗体基因及其重组	350
三、抗体基因重排与抗体多样性	355
第三节 T 细胞免疫反应	361
一、T 细胞的类型及对外源抗原的识别	361
二、T 细胞受体基因	363



三、TCR 基因的重排及其多样性产生的机制	366
第四节 主要组织相容性复合体	367
一、小鼠主要组织相容性复合体	367
二、人类 MHC-HLA 复合体	369
三、MHC 的生物学意义	371
小结	373
复习题	376
 第八章 基因对发育和细胞分化的控制	 378
第一节 基因控制发育的方式	378
一、发育阶段的时间决定	378
二、基因控制发育的方式	381
三、Wnt 基因家族与发育	382
第二节 λ 噬菌体的发育调节	387
一、 λ 噬菌体生长概况	387
二、C I 抑制子和 Cro 蛋白的作用机制	391
三、C II 蛋白与噬菌体发育	392
四、整合酶基因表达的逆调节	393
五、N 和 Q 蛋白的反终止作用对 λ 噬菌体发育的正控制	394
六、噬菌体 DNA 复制的特殊启动因子	399
七、单位 λ 基因组的形成	400
八、 λ 噬菌体裂解周期的诱导	400
第三节 细菌发育的基因控制	400
一、细菌芽胞形成的基因控制	400
二、鼠沙门氏杆菌表面抗原的转换	403
第四节 酵母交配型的转换	404
一、酵母的生活周期	404
二、酵母的快速性转变	405
三、酵母交配型盖合转换的调节	407
四、mat a 和 mat α 基因编码控制蛋白	409
五、外激素与单倍体细胞的交配感受性	411
第五节 锥虫表面抗原转换的基因控制	411
一、锥虫生活史及表面抗原转换现象	411
二、锥虫表面抗原转换的机理	413
第六节 高等真核生物发育阶段的基因控制	417
一、果蝇中编码体型决定因子的基因	417
二、果蝇的 toll 基因与形态发生梯度	422
三、果蝇器官分化的同源异型基因	422



四、分化的反式决定	426
五、细胞质因子	429
六、植物花芽分化的同源异型基因	431
第七节 基因对细胞周期的控制	433
一、细胞周期事件与基因表达	433
二、细胞生长的控制	440
三、细胞程序死亡	445
小结	446
复习题	449
第九章 基因操作技术及其应用	451
第一节 DNA 重组的基本技术	451
一、核酸酶和限制性核酸内切酶与 DNA 分子的体外切割	452
二、限制性片段长度多态性	455
三、限制片段作图	456
四、限制性片段的连接与克隆	459
五、DNA 序列分析	468
六、聚合酶链式反应	472
第二节 基因操作的载体系统	474
一、质粒载体	474
二、单链噬菌体克隆载体	476
三、噬菌粒——含有丝状噬菌体复制起始位点的质粒	477
四、双链噬菌体载体	478
五、黏粒载体	480
六、酵母人工染色体和细菌人工染色体	481
七、表达载体	483
第三节 酵母的遗传工程	486
一、酵母载体	486
二、酵母载体的应用	488
第四节 植物的遗传转化	492
一、转基因植物	492
二、植物基因操作的研究方向与重要基因的鉴定	497
第五节 动物的遗传转化	504
一、动物转基因的方法	505
二、转化体的鉴定和分析	505
三、重组 DNA 分子导入受体细胞	505



四、动物基因工程的发展前景	506
五、动物体细胞克隆技术	507
第六节 重组 DNA 技术在医学上的应用	508
一、基因治疗	508
二、爱滋病的治疗	510
三、生物技术新药	512
四、基因工程与疫苗生产	513
五、重组 DNA 探针与遗传病诊断	516
小结	518
复习题	521
中文索引	522
英文索引	531
主要参考书	540

第一章

遗传物质 DNA 和 RNA

作为传递遗传信息的物质，它首先必须能够保证物种的连续性和适应进化的需要，因此遗传物质必须含有生物学上有用的信息，这些信息必须能够稳定复制和稳定传递。其次，遗传物质必须能够自我表达，产生其他一些生物分子乃至细胞和生物体，也就是说，必须要有某种机制将遗传物质中所含信息翻译成产品。此外，遗传物质还必须能够发生变异，因为生物进化要求遗传物质能够变异。自从埃弗里（Avery, 1944）证明脱氧核糖核酸（deoxyribonucleic acid, DNA）是一种能够将遗传信息从一个细菌细胞传递到另一个细菌细胞的物质以后，又发现某些病毒中核糖核酸（ribonucleic acid, RNA）也是遗传信息的载体。经过大量深入研究，现在人们对 DNA 和 RNA 分子的生物学特征已有了充分认识。DNA 和 RNA 分子的结构非常有规律，非常适合贮存遗传信息，细胞内有关的酶能够对贮存的信息进行复制、修复和阅读，所以 DNA 和 RNA 具备遗传信息载体的所有特征。

第一节 DNA 分子的结构与复制

一、遗传物质 DNA 的发现与证明

（一）细菌的转化

研究遗传物质的实验可以追溯到 1928 年格里菲斯（Griffith, F.）利用肺炎双球菌（*Diplococcus pneumoniae* 或 *Pneumococcus*）感染家鼠的试验。肺炎双球菌有两种类型，一种是光滑型（S 型），被一层荚膜多糖所保护，具有毒性，在培养基上形成光滑菌落。另一种为粗糙型（R 型），无荚膜和毒性，在培养基上形成粗糙型菌落。S 型和 R 型还可按血清免疫反应不同，分成许多抗原型，如 SI、SII、SIII、RI、RII 等。

S 型细菌感染家鼠后可使家鼠患肺炎而死亡。这种致病性是由其细胞外层的荚膜多糖（capsular polysaccharide）决定的，因为这种多糖可使细菌免遭宿



主细胞的破坏。S 型细菌经热处理（65℃）被杀死后就丧失感染动物的能力，但是将高温杀死的 S 型细菌与无毒的活的 R 型细菌混在一起注射到家鼠体内后，可使家鼠患肺炎而死亡（图 1-1），而从家鼠尸体中回收到的细菌又是有

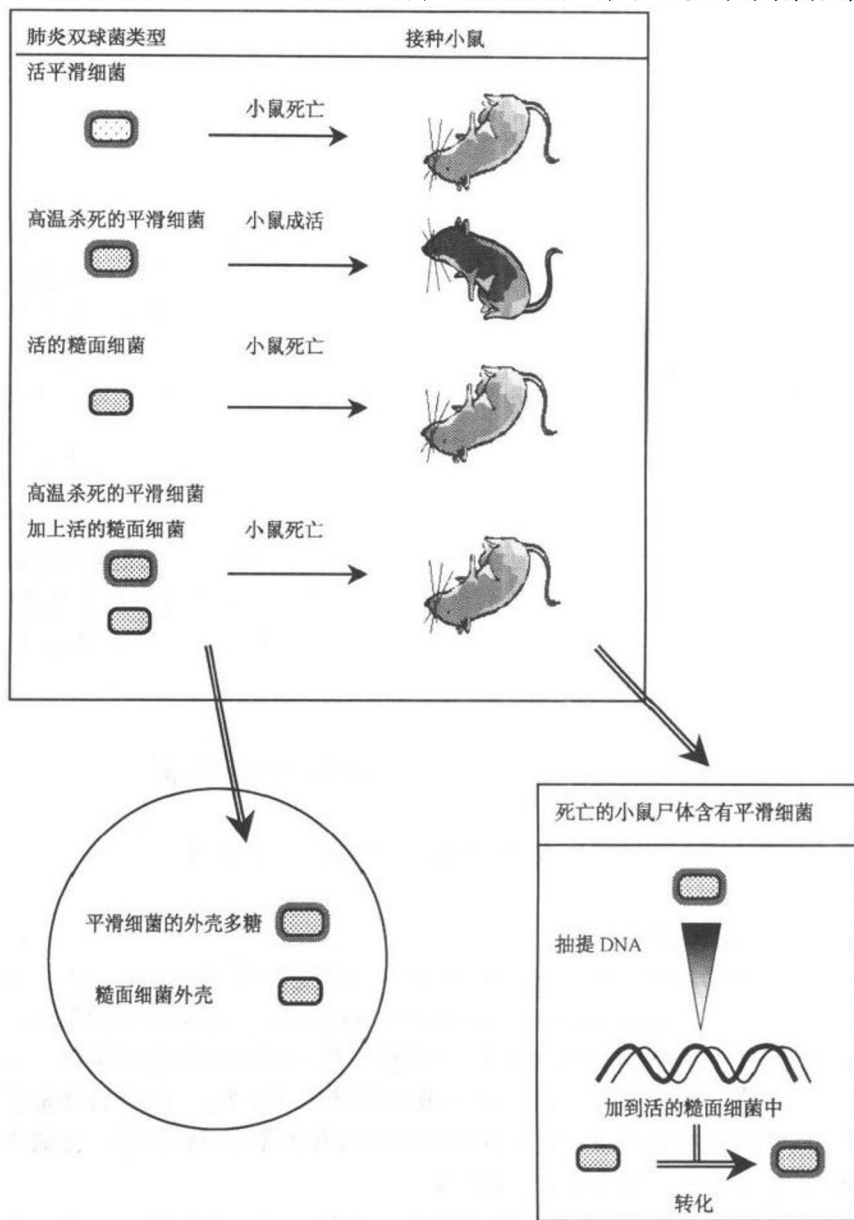


图 1-1 肺炎双球菌感染家鼠的实验